



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Πολυτεχνείο Κρήτης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΥΕΛΙΞΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ”**

ΑΣΤΕΡΟΥ ΒΑΡΒΑΡΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Τσουρβελούδης

ΧΑΝΙΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023

"Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης".



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Πολυτεχνείο Κρήτης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΥΕΛΙΞΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ”**

ΑΣΤΕΡΟΥ ΒΑΡΒΑΡΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων: Τσουρβελούδης Νικόλαος

Πρώτο μέλος επιτροπής: Ιωαννίδης Ευστράτιος

Δεύτερο μέλος επιτροπής: Νικολός Ιωάννης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Δρ. Νικόλαο Τσουρβελούδη, για την επιστημονική καθοδήγηση του και την άψογη συνεργασία μας. Επιπλέον, ευχαριστώ τον καθηγητή μου, Δρ. Ευστράτιο Ιωαννίδη, για την πολύτιμη βοήθεια του.

Εκ βαθέων ευχαριστώ τους γονείς μου και τον αδερφό μου για την στήριξη και την παντοτινή αγάπη τους. Τέλος, ευχαριστώ όλους τους φίλους μου για τις όμορφες στιγμές, που με έκαναν να συνεχίζω.

Η εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου και στον Μάνθο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παραγωγικό περιβάλλον διαχρονικά καλείται να αντιμετωπίσει αναπάντεχες προκλήσεις και να προσαρμοστεί σε νέα δεδομένα, με αποτέλεσμα η έννοια της ευελιξίας και η σχέση της με τις παραμέτρους παραγωγής να κεντρίζει συνεχώς το ενδιαφέρον των επιχειρήσεων. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επιρροή της βιομηχανικής ευελιξίας σε ποικίλες παραμέτρους των συστημάτων παραγωγής σε συνθήκες αβεβαιότητας και ελλιπούς γνώσης. Μεθοδολογικά χρησιμοποιούνται απλές σχεδιαστικές απεικονίσεις των βασικών λειτουργιών των παραγωγικών συστημάτων, όπως η εν σειρά κατεργασία/αποθήκευση, η συναρμολόγηση/συγκέντρωση και η αποσυναρμολόγηση/διανομή υποπροϊόντων, ώστε να διευκολυνθεί η σύνθεση, μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων ρεαλιστικού μεγέθους. Παρουσιάζονται ψηφιακά δίδυμα και μοντέλα προσομοίωσης συστημάτων με διαφορετικά επίπεδα ευελιξίας με την βοήθεια της εργαλειοθήκης ασαφούς λογικής του λογισμικού Matlab/Simulink. Εξετάζονται συνθήκες βλαβών, χρησιμοποίησης πόρων, οργανωτικών/επιχειρησιακών επιλογών για διαφορά σενάρια λειτουργίας, πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας των εμπλεκόμενων παραμέτρων και εξάγονται συμπεράσματα.

ABSTRACT

The productive environment over time is called to face unexpected challenges and adapt to new circumstances, with the result that the concept of flexibility and its relationship with production parameters constantly stimulates the interest of businesses. The present paper examines the influence of industrial flexibility on various parameters of production systems in conditions of uncertainty and lack of knowledge. Methodologically, simple design representations of the basic functions of the production systems are used, such as in-line processing/storage, assembly/concentration and disassembly/distribution of by-products to facilitate the synthesis, modeling and simulation of realistic-sized systems. Digital twins and system simulation models with different levels of flexibility are presented with the aid of the Fuzzy Logic toolbox of Matlab/Simulink software. Conditions of failures, resource use, organizational / business options for different operating scenarios are examined, sensitivity analysis of the parameters involved is performed and conclusions are drawn.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Περιεχόμενα.....	7
Κατάλογος Σχημάτων.....	9
Κατάλογος Πινάκων.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	13
1.1 Ευελιξία και ευέλικτα συστήματα παραγωγής.....	13
1.2 Η συγκριτικής μέτρηση ευελιξίας μηχανής F_M	16
1.3 Η απόδοση συστήματος παραγωγής.....	17
1.4 Ασαφής λογική και ασαφείς ελεγκτές.....	18
1.5 Ψηφιακά δίδυμα.....	20
1.6 Ανακεφαλαίωση.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΡΑΜΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	22
2.1 Εισαγωγή.....	22
2.2 Μοντέλο γραμμής παραγωγής.....	22
2.3 Υποσύστημα μηχανής παραγωγής.....	25
2.4 Υποσύστημα παραγωγής κατάστασης της μηχανής.....	26
2.5 Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου επισκευής/ευελιξίας.....	29
2.6 Ασαφείς ελεγκτές μηχανών γραμμής παραγωγής.....	30
2.7 Ανακεφαλαίωση.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	38
3.1 Εισαγωγή.....	38
3.2 Μοντέλο δικτύου παραγωγής.....	38
3.2.1 Μηχανή αποσυναρμολόγησης 'Mach O3'.....	40
3.2.2 Μηχανή συναρμολόγησης 'Mach C1'.....	40
3.3 Υποσύστημα απλής μηχανής παραγωγής.....	41
3.4 Υποσύστημα μηχανής αποσυναρμολόγησης.....	42
3.5 Υποσύστημα μηχανής συναρμολόγησης.....	43
3.6 Υποσύστημα διαγνωστικών μέσων 'Diagnostics Subsystem'.....	44
3.7 Ασαφείς ελεγκτές μηχανών δικτύου παραγωγής.....	46
3.7.1 Ασαφής ελεγκτής μηχανής αποσυναρμολόγησης disassemblyO3.fis'.....	45
3.7.2 Ασαφής ελεγκτής μηχανής συναρμολόγησης 'assemblyC1.fis'.....	51
3.8 Ανακεφαλαίωση.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	58
4.1 Παράμετροι προσομοίωσης γραμμής παραγωγής.....	58
4.2 Σύγκριση γραμμών παραγωγής με διαφορετικά επίπεδα ευελιξίας.....	58
4.3 Μελέτη επίδρασης θέσης λιγότερο ευέλικτης μηχανής εντός γραμμής παραγωγής.....	65

4.4 Ανακεφαλαίωση.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΟΥ	
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	72
5.1 Παράμετροι προσομοίωσης δικτύου παραγωγής.....	72
5.2 Μελέτη επίδρασης θέσης λιγότερο ευέλικτης μηχανής εντός δικτύου παραγωγής.....	72
5.3 Ανακεφαλαίωση.....	84
5.4 Προτάσεις ερευνητικής επέκτασης.....	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1.1 Αρχιτεκτονική ασαφούς ελεγκτή.....	19
Εικόνα 2.1 Μοντέλο προσομοίωσης γραμμής παραγωγής.....	23
Εικόνα 2.2 Μηχανές γραμμής παραγωγής.....	23
Εικόνα 2.3 Υποσύστημα μηχανής 1 “Mach 1”.....	25
Εικόνα 2.4 Υποσύστημα παραγωγής κατάστασης μηχανής “M1”.....	27
Εικόνα 2.5. Παράθυρο διαλόγου του block “Uniform Random Number”.....	28
Εικόνα 2.6 Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου επισκευής/ευελιξίας.....	29
Εικόνα 2.7 Παράθυρο διαλόγου σχεδιαστή ασαφούς ελεγκτή.....	31
Εικόνα 2.8 Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_i	31
Εικόνα 2.9 Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_{i+1}	32
Εικόνα 2.10 Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή flag.....	33
Εικόνα 2.11 Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή Surplus.....	34
Εικόνα 2.12 Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή R_i	35
Εικόνα 3.1 Μοντέλο δικτύου παραγωγής.....	39
Εικόνα 3.2 Αποσυναρμολόγηση δικτύου.....	39
Εικόνα 3.3 Συναρμολόγηση δικτύου.....	39
Εικόνα 3.4 Μηχανή αποσυναρμολόγησης ‘Mach O3’.....	40
Εικόνα 3.5 Μηχανή συναρμολόγησης ‘Mach C1’.....	41
Εικόνα 3.6 Υποσύστημα απλής μηχανής παραγωγής.....	41
Εικόνα 3.7 Υποσύστημα μηχανής αποσυναρμολόγησης ‘Mach O3’.....	42
Εικόνα 3.8 Υποσύστημα μηχανής συναρμολόγησης ‘Mach C1’.....	43
Εικόνα 3.9 Υποσύστημα προβολής διαγνωστικών.....	44
Εικόνα 3.10 Χώροι εναπόθεσης πριν και μετά τη μηχανή αποσυναρμολόγησης O3.....	45
Εικόνα 3.11 Παράθυρο διαλόγου σχεδιαστή ασαφούς ελεγκτή μηχανής αποσυναρμολόγησης.....	46
Εικόνα 3.12 Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_i	46
Εικόνα 3.13 Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_{i+1}	47
Εικόνα 3.14 Χώροι εναπόθεσης πριν και μετά τη μηχανή συναρμολόγησης C1.....	51
Εικόνα 3.15 Παράθυρο διαλόγου σχεδιαστή ασαφούς ελεγκτή μηχανής συναρμολόγησης.....	52
Εικόνα 3.16 Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_1	52
Εικόνα 3.17 Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_{i+1}	53
Εικόνα 4a Παράθυρο διαλόγου παραμέτρων προσομοίωσης.....	58
Εικόνα 4.1.1 Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης A1.....	61

Εικόνα 4.1.2 Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης B1.....	61
Εικόνα 4.1.3 Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης Γ1.....	61
Εικόνα 4.1.4 Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης Δ1.....	61
Εικόνα 4.2.1 WIP προσομοίωσης A1.....	61
Εικόνα 4.2.2 WIP προσομοίωσης B1.....	61
Εικόνα 4.2.3 WIP προσομοίωσης Γ1.....	62
Εικόνα 4.2.4 WIP προσομοίωσης Δ1.....	62
Εικόνα 4.3.1 Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης A1.....	62
Εικόνα 4.3.2 Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης B1.....	62
Εικόνα 4.3.3 Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης Γ1.....	62
Εικόνα 4.3.4 Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης Δ1.....	62
Εικόνα 4.4.1 Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης A1.....	63
Εικόνα 4.4.2 Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης B1.....	63
Εικόνα 4.4.3 Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης Γ1.....	63
Εικόνα 4.4.4 Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης Δ1.....	63
Εικόνα 4.5.1 Ευελιξίες μηχανών προσομοίωσης A1.....	67
Εικόνα 4.5.2 Ευελιξίες μηχανών προσομοίωσης B1.....	67
Εικόνα 4.5.3 Ευελιξίες μηχανών προσομοίωσης Γ1.....	67
Εικόνα 4.5.4 Ευελιξίες μηχανών προσομοίωσης Δ1.....	67
Εικόνα 4.6.1 Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης A1.....	67
Εικόνα 4.6.2 Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης B1.....	67
Εικόνα 4.6.3 Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης Γ1.....	68
Εικόνα 4.6.4 Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης Δ1.....	68
Εικόνα 4.7.1 WIP προσομοίωσης A1.....	68
Εικόνα 4.7.2 WIP προσομοίωσης B1.....	68
Εικόνα 4.7.3 WIP προσομοίωσης Γ1.....	68
Εικόνα 4.7.4 WIP προσομοίωσης Δ1.....	68
Εικόνα 4.8.1 Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης A1.....	69
Εικόνα 4.8.2 Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης B1.....	69
Εικόνα 4.8.3 Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης Γ1.....	69
Εικόνα 4.8.4 Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης Δ1.....	69
Εικόνα 4.9.1 Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης A1.....	69
Εικόνα 4.9.2 Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης B1.....	69
Εικόνα 4.9.3 Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης Γ1.....	70
Εικόνα 4.9.4 Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης Δ1.....	70
Εικόνα 5.1 Παράμετροι προσομοίωσης δικτύου παραγωγής.....	72
Εικόνα 5.2.1 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης O3a και O3b υπόθεσης A.....	79
Εικόνα 5.2.2 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A1 και B1 υπόθεσης A.....	79
Εικόνα 5.2.3 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A2 και B2 υπόθεσης A.....	80
Εικόνα 5.2.4 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A3 και B3 υπόθεσης A.....	80
Εικόνα 5.3 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης γραμμής A και B στην υπόθεση A.....	80

Εικόνα 5.4.1 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης O3a και O3b υπόθεσης Β.....	81
Εικόνα 5.4.2 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης Α1 και Β1 υπόθεσης Β.....	81
Εικόνα 5.4.3 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης Α2 και Β2 υπόθεσης Β.....	81
Εικόνα 5.4.4 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης Α3 και Β3 υπόθεσης Β.....	81
Εικόνα 5.5 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης γραμμής Α και Β στην υπόθεση Β.....	81
Εικόνα 5.6.1 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης O3a και O3b υπόθεσης.....	82
Εικόνα 5.6.2 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης Α1 και Β1 υπόθεσης Γ.....	82
Εικόνα 5.6.3 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης Α2 και Β2 υπόθεσης Γ.....	82
Εικόνα 5.6.4 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης Α3 και Β3 υπόθεσης Γ.....	82
Εικόνα 5.7 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης γραμμής Α και Β στην υπόθεση Γ.....	83
Εικόνα 5.8.1 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης O3a και O3b υπόθεσης Δ.....	83
Εικόνα 5.8.2 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης Α1 και Β1 υπόθεσης Δ.....	83
Εικόνα 5.8.3 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης Α2 και Β2 υπόθεσης Δ.....	84
Εικόνα 5.8.4 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης Α3 και Β3 υπόθεσης Δ.....	84
Εικόνα 5.9 Επίπεδα χώρων εναπόθεσης γραμμής Α και Β στην υπόθεση Δ.....	84

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Πληροφορίες για τις λεκτικές τιμές της μεταβλητής BFL_i	32
Πίνακας 2.2 Πληροφορίες για τις λεκτικές τιμές της μεταβλητής BFL_{i+1}	33
Πίνακας 2.3 Πληροφορίες για τις λεκτικές τιμές της μεταβλητής $flag$	34
Πίνακας 2.4 Πληροφορίες για τις λεκτικές τιμές της μεταβλητής $Surplus$	34
Πίνακας 2.5 Πληροφορίες για τις λεκτικές τιμές της μεταβλητής εξόδου R_i	35
Πίνακας 3.1 Πληροφορίες λεκτικών τιμών για την μεταβλητή BFL_i του ασαφούς ελεγκτή της μηχανής αποσυναρμολόγησης.....	47
Πίνακας 3.2 Πληροφορίες λεκτικών τιμών για την μεταβλητή BFL_{i+1} του ασαφούς ελεγκτή της μηχανής αποσυναρμολόγησης.....	48
Πίνακας 3.3 Πληροφορίες λεκτικών τιμών για την μεταβλητή BFL_{i1} του ασαφούς ελεγκτή της μηχανής συναρμολόγησης.....	53
Πίνακας 3.4 Πληροφορίες λεκτικών τιμών για την μεταβλητή BFL_{i+1} του ασαφούς ελεγκτή της μηχανής συναρμολόγησης.....	54
Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα τεσσάρων προσομοιώσεων των υποθέσεων για την σύγκριση γραμμών.....	60
Πίνακας 4.2 Αποτελέσματα τεσσάρων υποθέσεων για σύγκριση διαφορετικών τοποθετήσεων της λιγότερο ευέλικτης μηχανής.....	66
Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα 1ης προσομοίωσης για κάθε υπόθεση.....	74
Πίνακας 5.2 Αποτελέσματα 2 ^{ης} προσομοίωσης για κάθε υπόθεση.....	75
Πίνακας 5.3 Αποτελέσματα 3 ^{ης} προσομοίωσης για κάθε υπόθεση.....	76
Πίνακας 5.4 Μέσος όρος αποτελεσμάτων προσομοιώσεων των υποθέσεων για τη μελέτη δικτύου παραγωγής.....	77
Πίνακας 5.5 Μέσος όρος αποτελεσμάτων προσομοιώσεων της υπόθεσης Α για το μέσο ποσοστό επιπέδου κάθε χώρου εναπόθεσης.....	79
Πίνακας 5.6 Μέσος όρος αποτελεσμάτων προσομοιώσεων της υπόθεσης Β για το μέσο ποσοστό επιπέδου κάθε χώρου εναπόθεσης.....	80
Πίνακας 5.7 Μέσος όρος αποτελεσμάτων προσομοιώσεων της υπόθεσης Γ για το μέσο ποσοστό επιπέδου κάθε χώρου εναπόθεσης.....	82
Πίνακας 5.8 Μέσος όρος αποτελεσμάτων προσομοιώσεων της υπόθεσης Δ για το μέσο ποσοστό επιπέδου κάθε χώρου εναπόθεσης.....	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

1.1 ΕΥΕΛΙΞΙΑ ΚΑΙ ΕΥΕΛΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Με την 3^η βιομηχανική επανάσταση ριζικές αλλαγές συνέβησαν στις αγορές, αλλά και στις παραγωγικές μονάδες. Οι νέες τεχνολογίες, ο ανταγωνισμός και η μείωση των κύκλων ζωής των προϊόντων, εισήγαγαν την έννοια της αυτοματοποίησης και ύστερα την έννοια των ευέλικτων συστημάτων παραγωγής στα τέλη του 20^{ου} αιώνα. Από τότε έως και σήμερα οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες της αγοράς δημιουργούν ένα περιβάλλον με πιεστικές απαιτήσεις, ανταγωνιστικότητα, αβεβαιότητα και ετερογένεια που καλείται να αντιμετωπίσει αναπάντεχες αλλαγές σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το περιβάλλον αυτό εμπεριέχει την έννοια της ευελιξίας ενός συστήματος, δηλαδή της ικανότητας ενός συστήματος παραγωγής να προσαρμόζεται δυναμικά στις αλλαγές των αναγκών της αγοράς, αλλά και στα όποια εσωτερικά προβλήματα προκύπτουν, χωρίς να μειώνεται η απόδοση του. Η ικανότητα αυτή αφορά ποικίλα τμήματα και λειτουργίες του συστήματος για αυτό η ευελιξία είναι μια πολυδιάστατη έννοια.

Οι μεταβολές που παρατηρούνται σε ένα σύστημα παραγωγής μπορεί να οφείλονται σε ενδογενείς ή εξωγενείς παράγοντες. Μερικοί ενδογενείς παράγοντες είναι οι βλάβες των μηχανών, ανθρώπινα σφάλματα, αλλαγές σε πρωτόκολλα και διαδικασίες, καθώς και η εισαγωγή ενός νέου προϊόντος στην παραγωγή. Από την άλλη, μερικοί εξωγενείς παράγοντες είναι οι εξωτερικές κρίσεις (πόλεμοι, πανδημίες κ.α.), οι τάσεις των αγορών (ζήτηση), η εξέλιξη της τεχνολογίας, η βελτίωση κάποιου προϊόντος (αλλαγή στα χαρακτηριστικά του, χρήση άλλου υλικού) αλλά και η εισαγωγή ενός νέου προϊόντος στην αγορά. Όλα τα προαναφερθέντα είναι σημαντικοί λόγοι που η επιρροή της ευελιξίας στην απόδοση του συστήματος παραγωγής κεντρίζει το ενδιαφέρον των επιχειρήσεων.

Δεκάδες ορισμοί και τρόποι κατηγοριοποίησης έχουν αποδοθεί για την ευελιξία από συγγραφείς, ανάλογα με τις ανάγκες προσέγγισης ενός συστήματος. Κατηγοριοποίηση των τύπων της ευελιξίας παρουσιάζεται ακολούθως [1].

Ευελιξία μηχανής: Η ικανότητα μηχανής να πραγματοποιεί διαφορετικές κατεργασίες, απαιτώντας ελάχιστο χρόνο προετοιμασίας για κάθε μια από αυτές.

Η ευελιξία μηχανής F_M αποτελεί τον πιο σημαντικό και θεμελιώδη τύπο ευελιξίας, καθώς άλλοι τύποι ευελιξίας βασίζονται και επηρεάζονται από αυτόν [10]. Με βάση τον παραπάνω ορισμό έχει άμεση σχέση με το χρόνο προετοιμασίας της μηχανής, την

πολυμέρεια της, και την προσαρμοστικότητα της. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τρεις σχετικοί παράγοντες αναλυτικά.

Χρόνος προετοιμασίας μηχανής: Πρόκειται για το χρονικό διάστημα που χρειάζεται η μηχανή για να προσαρμοστεί στις αλλαγές, ώστε να είναι έτοιμη για λειτουργία. Συγκεκριμένα, στο παραπάνω χρονικό διάστημα περιλαμβάνονται ο χρόνος που απαιτείται για την απομάκρυνση και την τοποθέτηση ενός νέου εργαλείου, ο χρόνος επισκευής της μηχανής, ο χρόνος φόρτωσης - εκφόρτωσης εξαρτημάτων και ο χρόνος αλλαγής λογισμικού. Ο χρόνος προετοιμασίας μηχανής είναι επιθυμητό να είναι χαμηλός, διότι έτσι παρέχει υψηλή ευελιξία, επιτρέπει στο σύστημα να παράγει μικρότερου μεγέθους παρτίδες, να κρατά χαμηλά τα επίπεδα των χώρων αποθήκευσης και να ανταποκρίνεται γρηγορότερα στη ζήτηση.

Πολυμέρεια μηχανής: Ο αριθμός εργασιών που επιτελεί η μηχανή συμπεριλαμβανομένων και των επαναλαμβανόμενων κατεργασιών διαφορετικής μορφής (πλάγια ή εσωτερική τórνευση, διάτρηση διαφορετικής διαμέτρου κλπ. Η πολυμέρεια σχετίζεται με φυσικά χαρακτηριστικά, όπως η ισχύς της μηχανής, ο αριθμός των αξόνων ελέγχου, ή η ακρίβεια που η μηχανή επιτυγχάνει. Η υψηλή πολυμέρεια είναι επιθυμητή, διότι επιτρέπει την παραγωγή πολλών διαφορετικών τύπων προϊόντων.

Προσαρμοστικότητα μηχανής: Ο διαθέσιμος χώρος εργασίας εντός της εργαλειομηχανής. Η υψηλή προσαρμοστικότητα είναι επιθυμητή, αφού επιτρέπει την κατεργασία τεμαχίων διαφόρων μεγεθών και την κίνηση των αξόνων για την κάλυψη των κινήσεων κατεργασίας του τεμαχίου.

Ευελιξία δρομολόγησης: Η ικανότητα του συστήματος να χρησιμοποιούνται εναλλακτικές δρομολογήσεις για την παραγωγή ενός προϊόντος.

Η ευελιξία δρομολόγησης F_R είναι άλλη μία σημαντική κατηγορία που απασχολεί τους ερευνητές, διότι αφορά την ταχεία ανταπόκριση σε βλάβες ή σε αλλαγή του πλάνου παραγωγής. Κατά επέκταση η ταχεία ανταπόκριση συμβάλλει στο να μην επηρεάζεται ο συνολικός χρόνος εργασίας, εξαιτίας των διακοπών λειτουργίας. Για να υφίσταται η έννοια της ευελιξίας δρομολόγησης απαιτείται να υπάρχουν πλεονάζουσες ή πολυμερείς μηχανές, σύστημα διαχείρισης υλικών και σύστημα ελέγχου πραγματικού χρόνου.

Ευελιξία διαχείρισης υλικών: Η ικανότητα του συστήματος να μετακινεί ταχύτατα για αποθήκευση ή επεξεργασία διαφορετικούς τύπους προϊόντων.

Ευελιξία προϊόντος: Η ευκολία με την οποία ένα σύστημα μπορεί να παράγει νέα προϊόντα.

Ευελιξία διαδικασίας: Η ικανότητα του συστήματος να παράγει ένα σύνολο προϊόντων χρησιμοποιώντας διαφορετικά υλικά και μεθόδους.

Ευελιξία κατεργασίας: Η ικανότητα μεταβολής της σειράς κατεργασίας που απαιτούνται για την παραγωγή κάθε τύπου προϊόντος.

Ευελιξία βαθμού: Η ικανότητα να λειτουργεί κερδοφόρα ασχέτως μεταβολών στους όγκους παραγωγής των προϊόντων.

Ευελιξία επέκτασης: Η ευκολία με την οποία ένα σύστημα αυξάνει την ικανότητα παραγωγής ταχύτητα και με ελάχιστο κόστος.

Ευελιξίας παραγωγής: Το σύνολο των προϊόντων που μπορεί να παράγει το σύστημα χωρίς περαιτέρω αύξηση του εξοπλισμού.

Ως ευέλικτα συστήματα παραγωγής ορίζονται τα αυτοματοποιημένα συστήματα όπου αποτελούνται από μια ομάδα σταθμών εργασίας αλληλοσυνδεόμενων μέσω ενός συστήματος διαχείρισης και αποθήκευσης υλικών και ελεγχόμενων από ένα ενσωματωμένο ψηφιακό σύστημα ελέγχου. Ειδικότερα, τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής [1]:

1. Σταθμούς εργασίας αποτελούμενους από αριθμητικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές με αυτόματη αλλαγή εργαλείων, οι οποίοι ελέγχονται από κεντρικό υπολογιστικό σύστημα.
2. Ένα σύστημα διαχείρισης και αποθήκευσης υλικών το οποίο διαθέτει αυτόματα οδηγούμενα οχήματα, ρομπότ κ.α. και μπορεί και επικοινωνεί με τους σταθμούς εργασίας.
3. Ένα ψηφιακό σύστημα ελέγχου στο οποίο περιέχεται ένας κεντρικός ηλεκτρονικός υπολογιστής, αλλά και ηλεκτρονικοί υπολογιστές ελέγχου επιμέρους τμημάτων.

Συνοπτικά, κάποια από τα πλεονεκτήματα ενός ευέλικτου συστήματος παραγωγής είναι:

- Ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εργασίας (makespan minimization).
- Υψηλότερη παραγωγικότητα εξοπλισμού (Higher machine utilization).
- Μείωση των προϊόντων υπό επεξεργασία (Reduced Work In Process-WIP).
- Καλύτερος διοικητικός έλεγχος.
- Μειωμένο απόθεμα (Reduced inventory).

- Μείωση κόστους παραγωγής.
- Γρηγορότερη ανταπόκριση σε αλλαγές.

1.2 Η ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΥΕΛΙΞΙΑΣ ΜΗΧΑΝΗΣ F_M

Όπως προαναφέρθηκε, στη βιβλιογραφία ποικίλοι και πολυεπίπεδοι ορισμοί έχουν αποδοθεί για την έννοια της ευελιξίας, καθώς αυτή αφορά ένα ευρύ φάσμα του παραγωγικού περιβάλλοντος. Το παραπάνω σε συνδυασμό με την συνεχή αστάθεια που επικρατεί λόγω των νέων δεδομένων και των απρόβλεπτων αλλαγών δημιουργεί δυσκολία στην σύνθεση ενός ορισμού συνολικής ευελιξίας και κατά επέκταση στην δυσκολία ύπαρξης ενός καθολικού μετρικού συστήματος για αυτήν. Επιπλέον, ένας τύπος ευελιξίας μπορεί να μην επηρεάζεται από μόνο ένα, αλλά να σχετίζεται με διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Για κάποιους τύπους ευελιξίας απαιτούνται δεδομένα μέτρησης, τα οποία όμως δεν μπορούν να αποτυπωθούν με αριθμούς ή η αριθμητική αποτύπωση τους να έχει μεγάλο ποσοστό εμφάνισης σφάλματος. Προβλήματα που εγείρονται από όλα τα παραπάνω είναι η αδυναμία στον προσδιορισμό των μετρήσιμων παραμέτρων, στον τρόπο μέτρησης και εκτίμησης τους.

Η δυσκολία αποτύπωσης της ευελιξίας ωστόσο δεν αποτέλεσε τροχοπέδη για την ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων μέτρησης της. Πολλές μέθοδοι που λαμβάνουν υπόψιν αλγεβρικές προσεγγίσεις, αλγορίθμους, οικονομικές επιπτώσεις, λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος κ.α. ποσοτικοποιούν τις επιμέρους ευελιξίες και συνθέτουν μία συνολική εικόνα που επιτρέπει την εν μέρει εξέταση ενός συστήματος.

Στην παρούσα εργασία για την σύγκριση μηχανών εντός ενός συστήματος, θα χρησιμοποιηθεί μαθηματική σχέση υπολογισμού ευελιξίας. Στον μαθηματικό τύπο περιλαμβάνονται οι τρεις παράγοντες που προαναφέρθηκαν, αλλά έμφαση θα δοθεί στον χρόνο προετοιμασίας της μηχανής s_i , ο οποίος στην παρούσα θεώρηση θα περιλαμβάνει τον χρόνο επισκευής της μηχανής ύστερα από βλάβη. Αν $M=\{1, \dots, m\}$ το σύνολο των εξεταζόμενων μηχανών, τότε η ευελιξία F_{M_i} της μηχανής i αποδίδεται από τη σχέση:

$$F_{M_i} = W_s \frac{\min s_j}{s_i} + W_v \frac{v_i}{\max v_j} + W_r \frac{r_i}{\max r_j}, \quad i, j \in M \quad (1)$$

Όπου:

s_i : ο χρόνος προετοιμασίας της μηχανής i

v_i : ο αριθμός κατεργασιών της μηχανής i

r_i : το εύρος του χώρου εργασίας της μηχανής i

W : τα βάρη σπουδαιότητας των παραμέτρων

Ισχύει ότι $W_s + W_v + W_r = 1$

1.3 Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η διοίκηση μιας παραγωγικής μονάδας απαιτεί την λήψη στρατηγικών αποφάσεων από πλήθος διευθύνσεων που θα ικανοποιούν στόχους για την βελτιστοποίηση του συστήματος και θα βαδίζουν παράλληλα με τις ανάγκες της παγκόσμιας αγοράς. Η ποιότητα προϊόντων, ο ρυθμός παραγωγής, το χαμηλό κόστος, η παραγωγικότητα, η αξιοπιστία και η ευελιξία του συστήματος είναι μόνο μερικοί από τους πολυάριθμους παράγοντες που θα ορίσουν την επιτυχία της παραγωγικής διαδικασίας και την συνολική απόδοση του συστήματος.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει εξέταση και αξιολόγηση συγκεκριμένων μετρήσεων παραγωγής που θα αποτελέσουν την απόδοση του εκάστοτε παραγωγικού μοντέλου. Κύριο εργαλείο για την εκπόνηση της εργασίας θα είναι το περιβάλλον γραφικού προγραμματισμού *Simulink* της MATLAB, το οποίο παρέχει δυνατότητα μετρήσεων και παρατηρήσεων σε διάφορα στάδια. Οι μετρήσεις για την απόδοση του συστήματος θα αφορούν τα παρακάτω στοιχεία.

- **Προϊόντα υπό επεξεργασία (Work-in-process):** Μετριέται από τον συνολικό αριθμό προϊόντων που βρίσκονται στους αποθηκευτικούς χώρους μεταξύ των μηχανών. Είναι αναγκαίο το *WIP* να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, καθώς η επένδυση χρημάτων για τα αποθέματα δεν προσδίδει κανένα κέρδος. Ο επιπλέον χώρος που χρησιμοποιείται και το σύστημα διαχείρισης των υλικών που απαιτούνται, αυξάνουν το κόστος λειτουργίας. Τα υψηλά αποθεματικά επίπεδα αυξάνουν τον χρόνο παραγωγής και κατά συνέπεια αυξάνουν τον χρόνο ανταπόκρισης στη ζήτηση. Τέλος, η παραμονή ημιτελών προϊόντων σε αποθηκευτικούς χώρους μπορεί να αλλοιώσει την ποιότητα τους, λόγω της πιθανότητας να εκτεθούν σε κάποια ζημία. Τα προϊόντα υπό επεξεργασία σχετίζονται άμεσα με παραμέτρους του συστήματος, όπως το πλήθος των μηχανών, τον ρυθμό επεξεργασίας των μηχανών, την χωρητικότητα των ενδιάμεσων σταθμών και τις πιθανότητες εμφάνισης βλάβης και επισκευής.
- **Ποσοστό χρόνου λειτουργίας των μηχανών (Utilization):** Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας των μηχανών του συστήματος εκφρασμένος σε ποσοστό.

- **Συνολική παραγωγή και συνολική ζήτηση:** Η ικανοποίηση της ζήτησης από την συνολική παραγωγή.

1.4 ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΑΦΕΙΣ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

Η ασαφής λογική αποτελεί μια γενικευμένη έκφραση της θεωρίας ασαφών συνόλων και προσδιορίζει έννοιες που περιέχουν αβεβαιότητα μέσω λεκτικών μεταβλητών. Οι ασαφείς ελεγκτές αποτελούν το μέσο προσδιορισμού του βαθμού που μια συνθήκη ικανοποιεί μια αόριστη περιγραφή. Παρακάτω παρουσιάζονται βασικές έννοιες της θεωρίας.

Έστω ένα σύνολο A που αποτελείται από στοιχεία που παρίστανται με x και ορίζεται σε χώρο ορισμού X .

$$A = \{ [\mu_A(x), x] \mid \mu_A(x) \in [0, 1] \} , x \in X$$

Όπου:

$\mu_A(x)$: Η συνάρτηση συμμετοχής του x στο A . Μπορεί να είναι διακριτή ή συνεχής και εκφράζει τον βαθμό με τον οποίο το στοιχείο x ανήκει στο σύνολο A . Η τιμές που λαμβάνει είναι μεταξύ 0 και 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή στο 1 τόσο πιο πολύ το x συμμετέχει στο σύνολο A . Υπάρχουν συναρτήσεις συμμετοχής που αποτελούν διαστήματα με όριο, δηλαδή $\mu_A(x) = [\alpha, \beta]$. Οι λεκτικές μεταβλητές δέχονται τιμές λέξεις και συμβολίζονται με:

$$[V, LV, \mu_{LV}, X]$$

όπου με V συμβολίζεται το όνομα της μεταβλητής, με LV το σύνολο των λεκτικών τιμών της μεταβλητής, με μ_{LV} οι συναρτήσεις συμμετοχής των λεκτικών τιμών και με X το σύνολο ορισμού των αριθμητικών τιμών που σχετίζονται με τη μεταβλητή.

Οι ασαφείς κανόνες που θα δηλώνονται είναι της μορφής <<ΕΑΝ το X είναι A , ΤΟΤΕ το Y είναι B >> ή συμβολικά $(A \rightarrow B)$ με A και B να είναι οι τιμές των λεκτικών μεταβλητών X και Y αντίστοιχα.

Ένας ασαφής ελεγκτής έχει τέσσερα βασικά μέρη [8].

- 1) Κανόνες ελέγχου: Εμπεριέχουν την γνώση, σε μορφή κανόνων, για τον βέλτιστο έλεγχο του συστήματος.
- 2) Μηχανισμός συμπερασμού: Μηχανισμός που εκτιμά ποιοι κανόνες ελέγχου σχετίζονται την τρέχουσα χρονική στιγμή και στη συνέχεια επιλέγει ποιες πρέπει να είναι οι μεταβλητές εισόδου του συστήματος.

- 3) Ασαφοποιητής: Τροποποιεί τις μεταβλητές εισόδου, ώστε να ερμηνεύονται και να συγκρίνονται στους κανόνες ελέγχου.
- 4) Αποασαφοποιητής: Μετατρέπει τα συμπεράσματα από τον μηχανισμό συμπερασμού για την μετάδοση της δράσης ελέγχου στο σύστημα.



Εικόνα 1.1: Αρχιτεκτονική ασαφούς ελεγκτή.

Στην παρούσα εργασία, ασαφείς ελεγκτές θα χρησιμοποιηθούν εντός κάθε μηχανής για τον έλεγχο του ρυθμού παραγωγής της μηχανής σε κάθε στάδιο, ώστε να ελαχιστοποιηθούν ακραία γεγονότα που προκαλούν αδράνεια στη μηχανή εξαιτίας αποκλεισμού ή αποστέρησης της. Παράλληλα, η πολιτική ελέγχου του ρυθμού παραγωγής θα είναι τέτοια, ώστε να ικανοποιείται η ζήτηση, το πλεόνασμα να είναι κοντά στο μηδέν και ταυτόχρονα τα προϊόντα υπό επεξεργασία στο σύστημα παραγωγής να παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα.

Γεγονότα που προκαλούν αδράνεια της μηχανής είναι οι τυχαίες βλάβες, οι αποκλεισμοί και οι αποστερήσεις των ενδιάμεσων χώρων αποθήκευσης. Ένας ενδιάμεσος χώρος αποθήκευσης θεωρείται αποστερημένος, όταν η προηγούμενη μηχανή είναι είτε υπό επισκευή, είτε παράγει με μικρότερο ρυθμό από ότι η επόμενη μηχανή. Παρόμοια, ένας ενδιάμεσος χώρος αποθήκευσης θεωρείται αποκλεισμένος, όταν η επόμενη μηχανή βρίσκεται υπό επισκευή, είτε όταν παράγει με μικρότερο ρυθμό από ότι η προηγούμενη μηχανή. Οι ελεγκτές διατηρούν τους χώρους εναπόθεσης προϊόντων σε φυσιολογικά επίπεδα προσαρμόζοντας τον ρυθμό παραγωγής των μηχανών. Όταν ένας χώρος αποθήκευσης τείνει να αποκλειστεί, ο ελεγκτής αυξάνει το ρυθμό παραγωγής της επόμενης και ελαττώνει τον αριθμό της προηγούμενης μηχανής. Με τον ίδιο τρόπο, όταν ένας χώρος εναπόθεσης τείνει να αποστερηθεί, ο ελεγκτής αυξάνει το ρυθμό παραγωγής της προηγούμενης μηχανής και ελαττώνει τον αριθμό της επόμενης μηχανής.

1.5 ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ

Με την γέννηση της βιομηχανίας 4.0, η επαναστατική ιδέα των ψηφιακών διδύμων γίνεται πράξη σε ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις. Ψηφιακά δίδυμα ονομάζονται τα ψηφιακά μοντέλα φυσικών αντικειμένων, διαδικασιών ή και ολόκληρων συστημάτων. Μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών αναπαριστούν ψηφιακά κινήσεις, δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις που στοιχεία ενός συστήματος εκτελούν στον πραγματικό κόσμο. Εξετάζουν κυρίως δεδομένα που λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο από διαδικασίες αυτοματισμού και αναπαραστάσεις των πραγματικών αντικειμένων που μελετάμε. Σκοπός είναι να εξετάζεται εάν ένα σύστημα κινείται στα σωστά περιθώρια και μας βοηθά να έχουμε την εικόνα του μικροσκοπικά και μακροσκοπικά. Έτσι, μπορούν να εντοπιστούν έγκαιρα προβλήματα, ώστε οι επιβλέποντες να επέμβουν και να προλάβουν τον επηρεασμό ολόκληρου του συστήματος από ένα ανεπιθύμητο γεγονός. Για την λειτουργία τους απαιτούνται στοιχεία του παρελθόντος, του παρόντος και του μέλλοντος. Η γνώση του παρελθόντος μέσω παλαιότερων δεδομένων επιτρέπει την ανάπτυξη σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών του συστήματος, αλλά και την δημιουργία αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Η γνώση του παρόντος, δηλαδή η παρακολούθηση των τρεχουσών στοιχείων μέσω αισθητήρων, βελτιώνει την απόδοση και την εγκυρότητα του μοντέλου. Η γνώση του μέλλοντος, γίνεται μέσω μοντέλων προβλέψεων που έχουν προσαρμοστεί από τα συνολικά δεδομένα και δίνει το πλεονέκτημα της πρόληψης μελλοντικών ανεπιθύμητων καταστάσεων. Μερικά πλεονεκτήματα σε ένα σύστημα παραγωγής συνοψίζονται παρακάτω.

- Μέσω της παρακολούθησης, της προσομοίωσης και του ελέγχου ολόκληρης της διαδικασίας αυξάνεται η αξιοπιστία, αλλά και η απόδοση του συστήματος. Η γνώση της απόδοσης του εξοπλισμού και η άμεση δυνατότητα προσαρμογής στις απαιτήσεις παραγωγής διασφαλίζει την ποιότητα των προϊόντων και βελτιώνει την παραγωγή.
- Η ικανότητα πρόβλεψης προβλημάτων πριν από την εμφάνιση επιτρέπει την έγκαιρη δράση με αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος παραγωγής και συντήρησης. Για παράδειγμα η πρόβλεψη βλάβης μιας μηχανής επιτρέπει τον έγκαιρο προγραμματισμό συντήρησης, αλλά και την αποτελεσματική αλλαγή στο πλάνο παραγωγής. Έτσι, είτε η μηχανή θα επισκευαστεί πριν τεθεί εκτός λειτουργίας, είτε θα γίνει η απαραίτητη δρομολόγηση των προϊόντων σε άλλες μηχανές ,χωρίς να υπάρχει αντίκτυπος στην απόδοση του συστήματος.
- Μέσω της ψηφιακής αποτύπωσης δίνεται η ευκαιρία μελέτης εισαγωγής νέων προϊόντων και νέων τεχνολογιών. Εξετάζονται αλλαγές στο πλάνο παραγωγής για

την εισαγωγή ή αλλαγή ενός προϊόντος χωρίς το ρίσκο αποτυχίας, αφού το πραγματικό σύστημα μένει στην ουσία ανεπηρέαστο.

Η παρούσα εργασία αποτελεί το πρώτο βήμα για τη δημιουργία ενός ψηφιακού διδύμου, που αφορά την δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου.

1.6 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάστηκε το θεωρητικό υπόβαθρο που σχετίζεται η διπλωματική εργασία. Αναλύθηκαν τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής και τα πλεονεκτήματά τους, που παραθέτουν βελτιωμένα τα μέτρα απόδοσης τα οποία ορίστηκαν στο υποκεφάλαιο 1.4. Αναπτύχθηκε η θεωρία ασαφούς λογικής και ασαφών ελεγκτών που θα χρησιμοποιηθεί ως μέσο επίτευξης κατάλληλων ρυθμίσεων για την λειτουργία των μοντέλων. Τέλος, παρουσιάστηκε η επαναστατική ιδέα των ψηφιακών διδύμων και τα πλεονεκτήματά της, που ένα μέρος της αποτελούν τα μοντέλα που θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΡΑΜΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

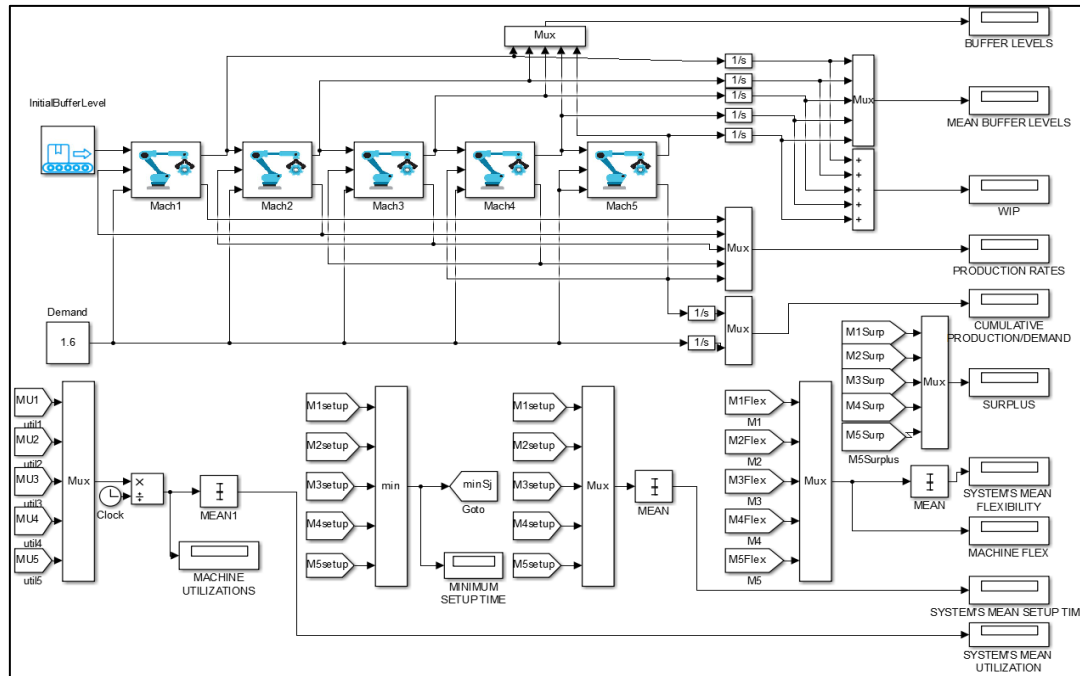
Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το μοντέλο της γραμμής παραγωγής, τα υποσυστήματα που το απαρτίζουν και οι ασαφείς ελεγκτές των μηχανών παραγωγής λεπτομερώς που δημιουργήθηκαν στο *Simulink*. Θα αναλυθούν όλες οι παράμετροι και τα χαρακτηριστικά των παραπάνω που θα συντελέσουν στην εύρυθμη λειτουργία του. Το μοντέλο γραμμής παραγωγής για τους σπόρους εκκίνησης των προσομοιώσεων βρίσκεται στα αρχεία 'Prod_Line_seeds1.slx', 'Prod_Line_seeds2.slx', 'Prod_Line_seeds3.slx', 'Prod_Line_seeds4.slx'.

2.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

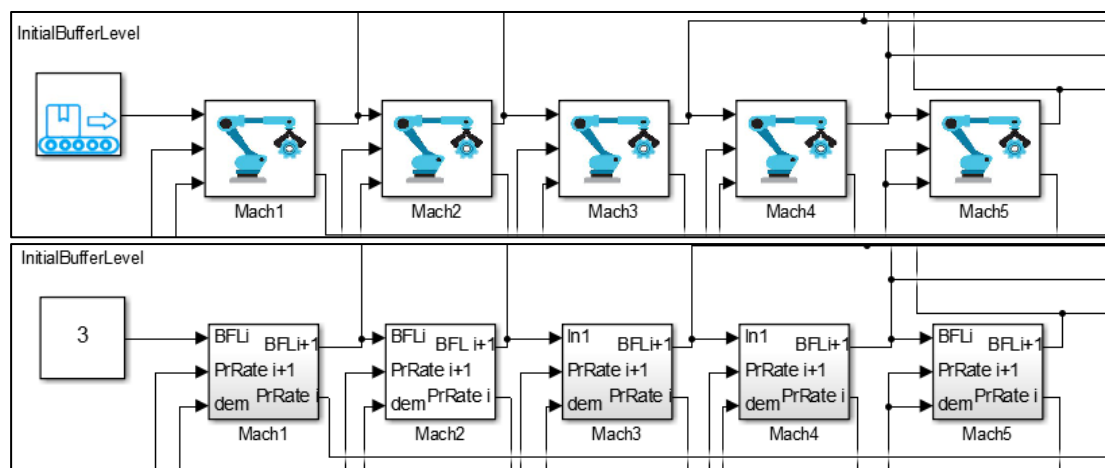
Το μοντέλο γραμμής παραγωγής που κατασκευάστηκε αποτελείται από 5 αριθμητικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές που συνδέονται σε σειρά μέσω ταινιοδρόμου και 4 ενδιάμεσους χώρους εναπόθεσης. Όλες οι μηχανές έχουν τον ίδιο τρόπο λειτουργίας και αποτελούνται από υποσυστήματα και ασαφείς ελεγκτές. Για την εκτέλεση διεργασιών χρησιμοποιούνται blocks της βιβλιοθήκης του λογισμικού *Simulink* όπως *Scope*, *Mux*, *Sum*, *Constant*, *Integrator*, *Divide*, *From Tag*, *Clock*, *Mean* και *MinMax*. Η προσομοίωση της γραμμής παραγωγής είναι βασισμένη σε υποθέσεις που έχουν ως εξής:

1. Πρώτος χώρος εναπόθεσης είναι συνεχής πηγή πρώτης ύλη και δεν θεωρείται ποτέ αποστερημένος, ενώ ο τελευταίος χώρος εναπόθεσης θεωρείται άπειρης χωρητικότητας.
2. Όλες οι μηχανές παράγουν με γνωστούς ρυθμούς παραγωγής που καθορίζονται από τον ασαφή ελεγκτή τους και δεν είναι απαραίτητα ίσοι μεταξύ τους.
3. Οι ενδιάμεσοι χώροι εναπόθεσης μεταξύ δύο μηχανών M_i και M_j έχουν γνωστή χωρητικότητα BC_i . Συγκεκριμένα, στο παράδειγμα που εξετάζουμε στη συνέχεια, ισούνται με $BC_1=6$, $BC_2=6$, $BC_3=8$, $BC_4=6$.
4. Οι μηχανές παρουσιάζουν βλάβες τυχαία με πιθανότητα $p_i = \frac{r_i}{c_0}$ όπου r_i ο ρυθμός επεξεργασίας της μηχανής και c_0 μία σταθερά. Επίσης, επισκευάζονται τυχαία με πιθανότητα r_i .
5. Οι χρόνοι μέχρι την βλάβη και την επισκευή είναι γεωμετρικά κατανομημένοι.

6. Οι χρόνοι μεταφοράς, αλλαγής παρτίδας και αλλαγής εργαλείου θεωρούνται αμελητέοι ή εμπεριέχονται στον ρυθμό επεξεργασίας.
7. Κάθε μηχανή έχει σταθερή πολυμέρεια και εύρος προσαρμοστικότητας. Συνεπώς, η ευελιξία μηχανής καθορίζεται από τον χρόνο επισκευής-προετοιμασίας της.



Εικόνα 2.1: Μοντέλο προσομοίωσης γραμμής παραγωγής.



Εικόνα 2.2: Μηχανές γραμμής παραγωγής.

Η λειτουργία κάθε μηχανής του συστήματος στηρίζεται σε 3 μεταβλητές εισόδου και 2 μεταβλητές εξόδου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2 και αναλύονται παρακάτω.

Μεταβλητή εισόδου 1: Στάθμη του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης BFL_i από την μηχανή M_i .

- Μεταβλητή εισόδου 2: Ρυθμός παραγωγής R_{i+1} της επόμενης μηχανής M_{i+1} .

- Μεταβλητή εισόδου 3: Ζήτηση dem .
- Μεταβλητή εξόδου 1: Στάθμη του επόμενου χώρου εναπόθεσης BFL_{i+1} από την μηχανή M_i .
- Μεταβλητή εξόδου 2: Ρυθμός παραγωγής R_i παρούσας μηχανής M_i .

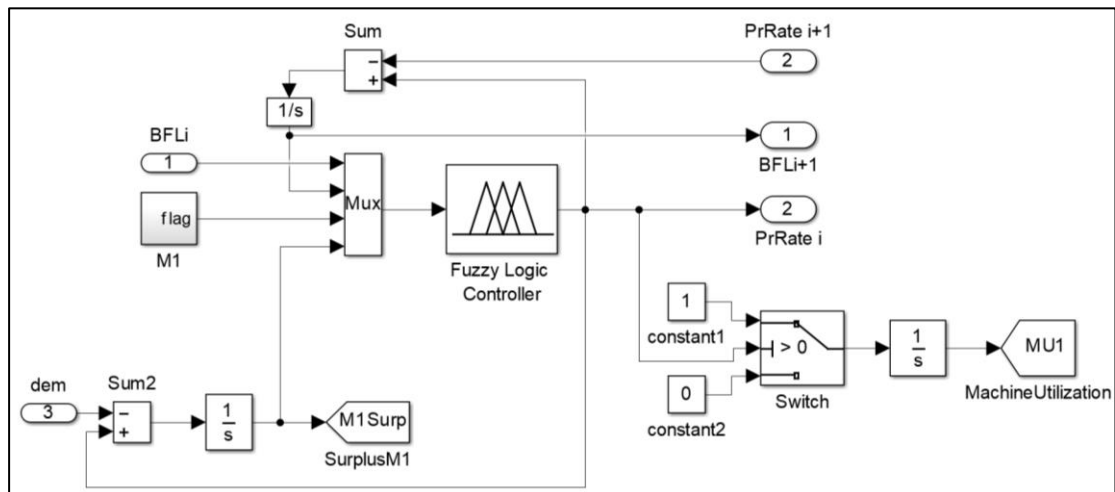
Λειτουργίες που φαίνονται στην Εικόνα 2.1 είναι:

- Στάθμη κάθε χώρου εναπόθεσης. Μέσω της μεταβλητής εξόδου 1 λαμβάνονται οι τιμές της χωρητικότητας των ενδιάμεσων χώρου εναπόθεσης και του τελευταίου και οδηγούνται στο block Mux. Εκεί τα μονόμετρα μεγέθη συνδυάζονται σε διάνυσμα και καταλήγουν στο Scope με όνομα BUFFER LEVELS.
- Μέσο επίπεδα χώρων εναπόθεσης. Οι τιμές της μεταβλητής εξόδου 1 ολοκληρώνονται, μέσω του block Integrator, και οδηγούνται στο Scope MEAN BUFFER LEVELS για την προβολή της μέσης στάθμης κάθε χώρου αποθήκευσης την κάθε στιγμή της προσομοίωσης.
- Προϊόντα υπό επεξεργασία (WIP). Οι τιμές των μέσων επιπέδων των χώρων εναπόθεσης αθροίζονται με την βοήθεια του block Sum και οδηγούνται στο Scope WIP για την προβολή του πλήθους των προϊόντων υπό επεξεργασία.
- Ρυθμοί παραγωγής. Η μεταβλητή εξόδου 2 κάθε μηχανής οδηγείται σε block Mux και ύστερα στο Scope PRODUCTION RATES και επιτρέπει την προβολή των ρυθμών παραγωγής κάθε στιγμή της προσομοίωσης. Επιπλέον, η μεταβλητή εξόδου 2 οδηγείται στην μεταβλητή εισόδου 2 της προηγούμενης μηχανής.
- Αθροιστική παραγωγή και ζήτηση. Μέσω ολοκλήρωσης του ρυθμού παραγωγής της τελευταίας μηχανής προβάλλεται στο Scope CUMULATIVE PRODUCTION DEMAND το σύνολο των τεμαχίων που παράγονται. Παράλληλα, εμφανίζεται στο Scope και η ζήτηση ανά τον χρόνο. Έτσι, είναι εφικτό να εξεταστεί αν η παραγωγή ικανοποιεί την ζήτηση.
- Πλεόνασμα προϊόντων. Η διαφορά των παραγόμενων τεμαχίων κάθε μηχανής με την ζήτηση, που γίνεται εντός υποσυστήματος που θα εξεταστεί μετέπειτα, καταλήγει μέσω block From στο Scope SURPLUS.
- Η ευελιξία κάθε μηχανής που βασίζεται στον χρόνο επισκευής κάθε μηχανής υπολογίζεται σε υποσύστημα που θα εξεταστεί μετέπειτα και μέσω του block From M1Flex παρουσιάζεται στο Scope MACHINE FLEX.
- Μέσος χρόνος που το σύστημα βρίσκεται σε προετοιμασία-επισκευή. Ο υπολογισμός γίνεται σε κατώτερο υποσύστημα και μέσω του block From M1setup οδηγείται στο Scope SYSTEM'S MEAN SETUP TIME.

- Μέσος χρόνος που το σύστημα βρίσκεται σε λειτουργία εκφρασμένος σε ποσοστό. Ο υπολογισμός του χρόνου λειτουργίας κάθε μηχανής γίνεται σε κατώτερο υποσύστημα και οδηγείται σε block Mux. Στη συνέχεια γίνεται διαίρεση με τον χρόνο προσομοίωσης με χρήση των block Clock και Divide και λαμβάνεται η μέση τιμή με το block MEAN. Τα αποτελέσματα λαμβάνονται στο Scope SYSTEM'S MEAN UTILIZATION.

2.3 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι εργαλειομηχανές εκτελούν παραγωγικές διεργασίες και ως εκ τούτου οι δυνατότητες των παραγωγικών διεργασιών εξαρτώνται από τον σχεδιασμό και την λειτουργία τους. Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο αναφέρθηκαν οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου, που μέσω αυτών θα γίνουν οι απαραίτητες διεργασίες στο υποσύστημα μηχανής. Εντός του υποσυστήματος μηχανής περιέχεται ο ασαφής ελεγκτής (Fuzzy Logic Controller) και το υποσύστημα παραγωγής της κατάστασης της μηχανής M1, που θα αναλυθούν εκτενώς στο επόμενο υποκεφάλαιο. Πρόσθετο εργαλείο της βιβλιοθήκης *Simulink* που θα χρησιμοποιηθεί είναι το block Switch, που έχει τη λειτουργία ενός διακόπτη και θα μας δίνει αναλόγως τις επιθυμητές τιμές. Στην Εικόνα 2.3 παρουσιάζεται το υποσύστημα της μηχανής 1, το οποίο δεν διαφέρει στην λειτουργία του από των υπολοίπων μηχανών.



Εικόνα 2.3: Υποσύστημα μηχανής 1 "Mach 1".

Λειτουργίες που αποτυπώνονται στην Εικόνα 2.3 είναι:

- Ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής εξάγεται από τον ασαφή ελεγκτή και οδηγείται σε τέσσερις κατευθύνσεις. Η πρώτη κατεύθυνση είναι στην μεταβλητή εξόδου 2. Στη δεύτερη κατεύθυνση, από τον ρυθμό παραγωγής αφαιρείται η μεταβλητή

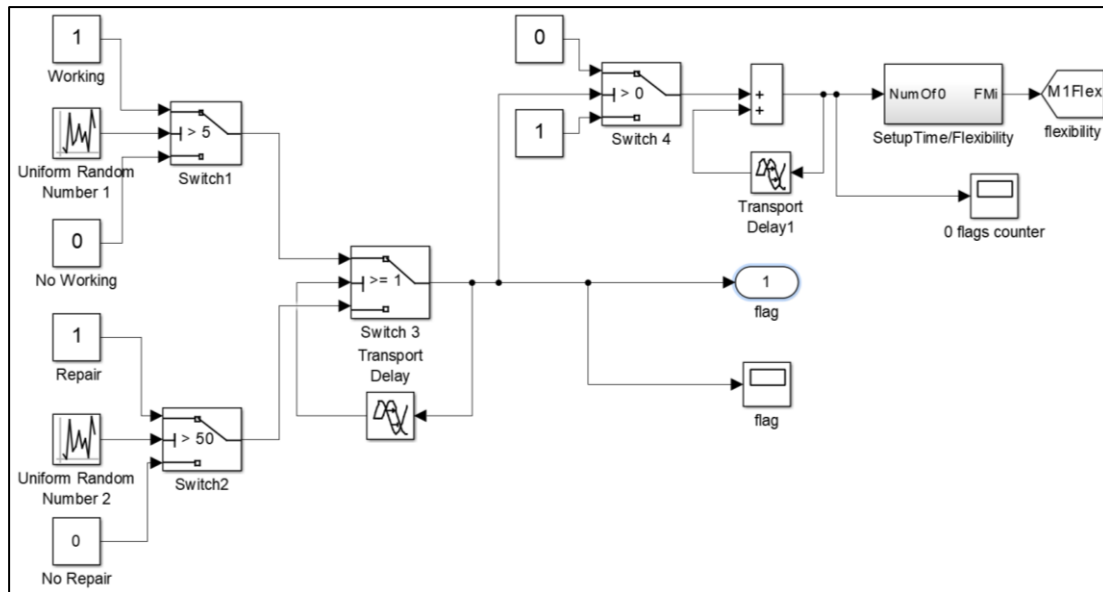
εισόδου 2, που αφορά τον ρυθμό παραγωγής της επόμενης μηχανής, και το αποτέλεσμα της αφαίρεσης ολοκληρώνεται μέσω block Integrator. Το αποτέλεσμα εξάγει την στάθμη του επόμενου χώρου εναπόθεσης BFL_{i+1} (μεταβλητή εξόδου 1) που αποτελεί και την δεύτερη είσοδο του ασαφούς ελεγκτή. Στη τρίτη κατεύθυνση, αφαιρείται η ζήτηση (μεταβλητή εισόδου 3) από τον ρυθμό παραγωγής και το αποτέλεσμα ολοκληρώνεται, ώστε να εξαχθεί το πλεόνασμα προς το block Goto SurplusM1, αλλά και στην τέταρτη είσοδο του ελεγκτή. Η τέταρτη κατεύθυνση οδηγεί στο block Switch. Εκεί, εξετάζεται εάν ο ρυθμός είναι θετικός. Αν ισχύει η συνθήκη, τότε το αποτέλεσμα είναι ο αριθμός 1, διαφορετικά ο αριθμός 0. Στη συνέχεια με ολοκλήρωση εξάγεται το ποσοστό του χρόνου που βρισκόταν σε λειτουργία η μηχανή στο block Machine Utilization.

- Η στάθμη του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης BFL_i (Μεταβλητή εισόδου 1) αποτελεί την πρώτη είσοδο του ασαφούς ελεγκτή.
- Το υποσύστημα παραγωγής της κατάστασης της μηχανής εξάγει την μεταβλητή *flag* προς την τρίτη είσοδο του ελεγκτή.

2.4 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Στο παραγωγικό περιβάλλον είναι σύνηθες να υπάρχουν ενδεχόμενες βλάβες των μηχανών, οι οποίες είτε προλαμβάνονται με την συντήρησή τους, είτε επισκευάζονται. Με την αύξηση του ρυθμού επεξεργασίας οι πιθανότητες βλάβης αυξάνονται.

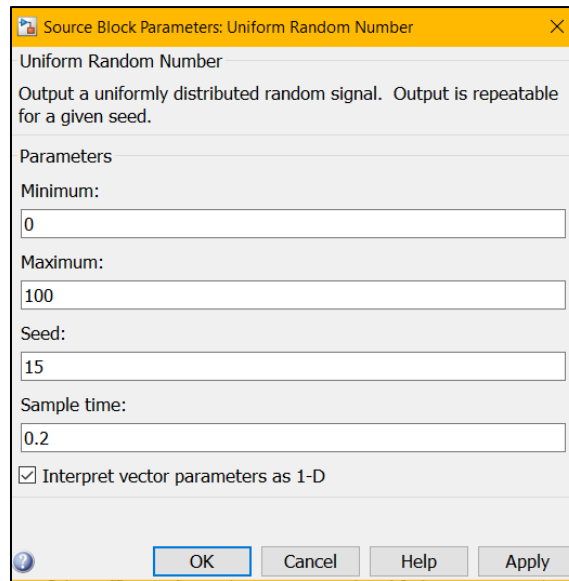
Στο παρόν υποσύστημα δημιουργήθηκαν δύο γεννήτριες τυχαίων αριθμών. Η πρώτη γεννήτρια χρησιμοποιείται για την παραγωγή των βλαβών, ενώ η δεύτερη για την παραγωγή επισκευών, όταν η μηχανή θεωρείται εκτός λειτουργίας. Εν τέλει εξάγεται η τελική κατάσταση της μηχανής. Σύμφωνα με τις θεωρήσεις του μοντέλου που έγιναν οι πιθανότητα βλάβης ισούται με $p_i = \frac{r_i}{c_0}$, όπου r_i ο ρυθμός επεξεργασίας της μηχανής και c_0 μία σταθερά. Επίσης, επισκευάζονται τυχαία με πιθανότητα r_i . Οι χρόνοι μέχρι την βλάβη και την επισκευή ακολουθούν την γεωμετρική κατανομή που εκφράζει το πλήθος των προσπαθειών μέχρι να πάρουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επιπρόσθετα, διατίθενται ένας μετρητής του πλήθους βλαβών χωρίς επισκευή. Εντός του παρόντος υποσυστήματος περιέχεται το υποσύστημα υπολογισμού χρόνου προετοιμασίας-ευελιξίας που θα αναλυθεί στο επόμενο υποκεφάλαιο. Πρόσθετο εργαλείο της βιβλιοθήκης *Simulink* που χρησιμοποιείται είναι το block Transport Delay που εφαρμόζει μία συγκεκριμένη χρονική καθυστέρηση στην είσοδο που δέχεται και το block Uniform Random Number.



Εικόνα 2.4: Υποσύστημα παραγωγής κατάστασης μηχανής “M1”.

Λειτουργίες του υποσυστήματος έχουν ως εξής:

- Η γεννήτρια “Uniform Random Number 1” παράγει ομοιόμορφα κατανομημένους τυχαίους αριθμούς από το 0 έως το 100 με ένα τυχαίο αριθμό εκκίνησης του αλγορίθμου που συμπληρώνεται στο πεδίο “Seed”. Για κάθε γεννήτρια του μοντέλου γραμμής παραγωγής ο αριθμός εκκίνησης είναι διαφορετικός, ώστε να διασφαλίζεται η τυχαιότητα των αποτελεσμάτων. Το αποτέλεσμα της γεννήτριας οδηγείται στο block Switch1. Εκεί εξετάζεται εάν ο παραγόμενος αριθμός είναι μεγαλύτερος από ένα ορισμένο κατώφλι. Το κατώφλι αφορά την πιθανότητα βλάβης. Εάν ο αριθμός είναι μεγαλύτερος από το κατώφλι, τότε εξάγεται ο αριθμός 1 και η μηχανή θεωρείται λειτουργική. Εάν ο αριθμός είναι μικρότερος ή ίσος του κατωφλίου, τότε η μηχανή θεωρείται μη λειτουργική, δηλαδή έχει παρουσιάσει βλάβη και περνά από τον διακόπτη ο αριθμός 0.



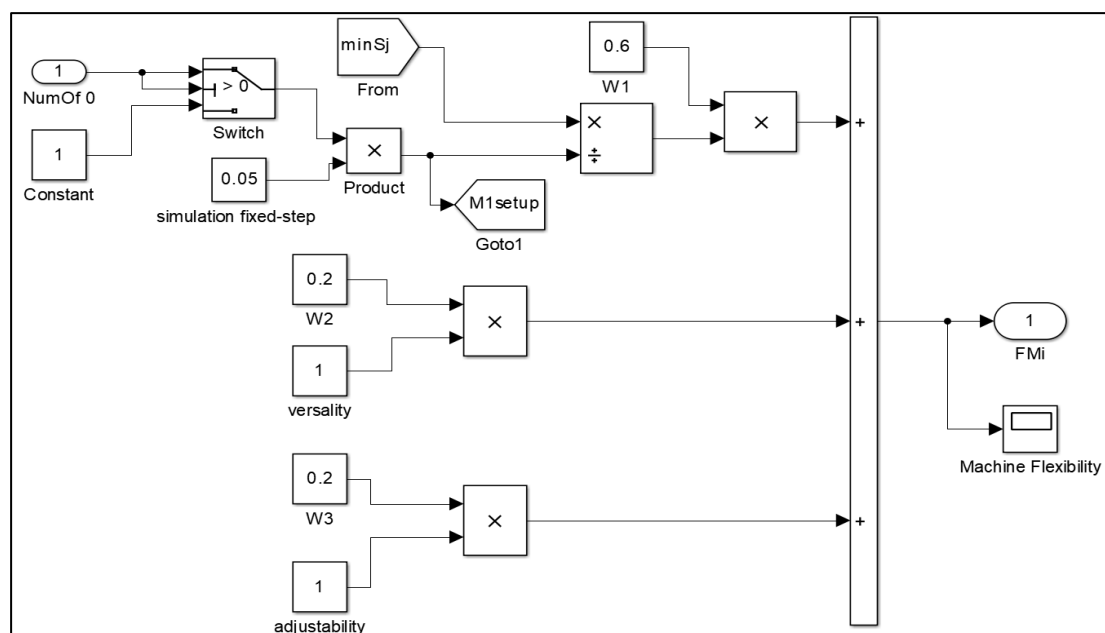
Εικόνα 2.5: Παράθυρο διαλόγου του block “Uniform Random Number”.

- Παρομοίως λειτουργεί και η γεννήτρια επισκευών “Uniform Random Number 2”. Ο παραγόμενος αριθμός οδηγείται στο block Switch 2. Εκεί εξετάζεται εάν ξεπερνά το ορισμένο κατώφλι, που εκφράζει την πιθανότητα μη επισκευής. Εάν ο παραγόμενος αριθμός είναι μεγαλύτερος από το κατώφλι, τότε εξάγεται η τιμή 1 και θεωρείται ότι έχουμε επισκευή. Διαφορετικά, εξάγεται από τον διακόπτη η τιμή 0 και θεωρείται ότι η μηχανή δεν επισκευάζεται.
- Στη συνέχεια τα αποτελέσματα των δύο γεννητριών μεταφέρονται στο block Switch 3. Η γεννήτρια βλαβών συνδέεται με την πρώτη είσοδο του διακόπτη, ενώ η γεννήτρια επισκευών με την τρίτη είσοδο του διακόπτη. Η έξοδος του διακόπτη είναι συνδεδεμένη με το block Transport Delay και η έξοδος του block Transport Delay με την δεύτερη είσοδο του διακόπτη. Ο διακόπτης επιστρέφει την τελική κατάσταση της μηχανής. Εάν η κατάσταση της μηχανής την προηγούμενη χρονική στιγμή, που δίνεται από το block Transport Delay, είναι 1 (λειτουργική), τότε η παρούσα κατάσταση δίνεται από την πρώτη είσοδο του block Switch 3, δηλαδή την γεννήτρια βλαβών. Εάν η κατάσταση της μηχανής την προηγούμενη χρονική στιγμή είναι 0 (μη λειτουργική), τότε η παρούσα κατάσταση εξάγεται από την τρίτη είσοδο του block Switch 3, δηλαδή την γεννήτρια επισκευών. Δίνεται η τιμή 1 (επισκευή), είτε η τιμή 0 (όχι επισκευή).
- Η τελική κατάσταση της μηχανής εξάγεται στην μεταβλητή εξόδου 1 “flag” και αποτελεί την τρίτη είσοδο του ασαφούς ελεγκτή.
- Στο block Switch 4 εξάγεται η τιμή 1 εάν η μηχανή έχει υποστεί βλάβη και δεν έχει επισκευαστεί και η τιμή 0, εάν η μηχανή είναι λειτουργική. Τα αποτελέσματα σε

κάθε βήμα προσομοίωσης αθροίζονται και εξάγεται το πλήθος των βλαβών χωρίς επισκευή προς το υποσύστημα Setup Time/ Flexibility.

2.5 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ/ΕΥΕΛΙΞΙΑΣ

Το παρακάτω υποσύστημα θα χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση του χρόνου, όπου η μηχανή βρίσκεται υπό επισκευή, καθώς και για την μέτρηση της ευελιξίας της σύμφωνα με τον τύπο 1 του υποκεφαλαίου 1.2 $F_{Mi} = W_s \frac{\min s_j}{s_i} + W_v \frac{v_i}{\max v_j} + W_r \frac{r_i}{\max r_j}$. Η πολυμέρεια της μηχανής και το εύρος προσαρμοστικότητας θεωρήθηκαν σταθερά ίσα με 1 και τα βάρη τους W_v, W_r ίσα με 0,2 . Η μέτρηση της ευελιξίας στη παρούσα εργασία στηρίζεται αποκλειστικά στον χρόνο επισκευής της μηχανής. Ο παραπάνω τύπος χρησιμοποιείται συγκριτικά μεταξύ των μηχανών ενός συστήματος. Για αυτόν τον λόγο, στις περιπτώσεις προσομοιώσεων γραμμής με διαφορετικά χαρακτηριστικά μηχανών και τοπολογίας εντός, που θα παρουσιαστούν σε επόμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιήθηκε ο παραπάνω τύπος. Στις περιπτώσεις συγκρίσεων διαφορετικών γραμμών παραγωγής με μηχανές που είχαν τα ίδια χαρακτηριστικά εντός της κάθε μίας γραμμής, χρησιμοποιήθηκε για σύγκριση ο μέσος χρόνος επισκευής του συστήματος.



Εικόνα 2.6: Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου επισκευής/ευελιξίας.

Οι λειτουργίες του υποσυστήματος έχουν ως εξής:

- Η μεταβλητή εισόδου 1 περιέχει το πλήθος των καταστάσεων που η μηχανή ήταν μη λειτουργική. Το πλήθος των μη λειτουργικών καταστάσεων πολλαπλασιάζεται

με το βήμα της προσομοίωσης που αποτελεί τον χρόνο που χρειαζόταν η μηχανή μέχρι να μεταβεί σε άλλη κατάσταση. Το αποτέλεσμα εξάγεται μετά το block Product και αποτελεί τον συνολικό χρόνο που η μηχανή βρισκόταν υπό επισκευή.

- Ο χρόνος επισκευής αποθηκεύεται στο block Goto M1Setup, ώστε να εξαχθεί στο εξωτερικό σύστημα και να υπολογιστεί από όλες τις μηχανές ο ελάχιστος χρόνος επισκευής.
- Οι υπόλοιπες ενέργειες του συστήματος αφορούν τους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται για την μέτρηση της ευελιξίας σύμφωνα με τον τύπο 1.
- Τελικώς, αποθηκεύεται στη μεταβλητή εξόδου 1 FM_i η μέτρηση της ευελιξίας μηχανής και προβάλλεται μέσω του Scope Machine Flexibility.

2.6 ΑΣΑΦΕΙΣ ΕΛΕΓΚΤΕΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

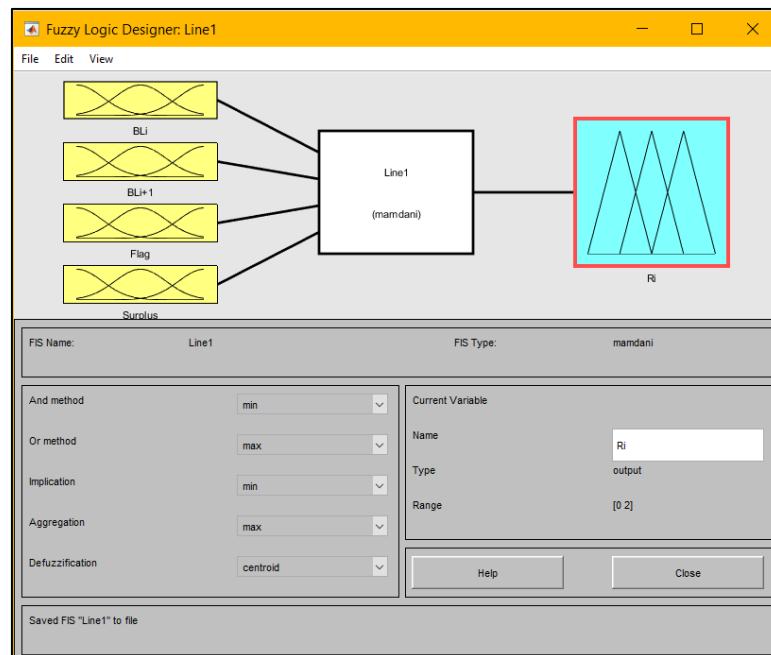
Για το σχεδιασμό, την ανάλυση και την προσομοίωση των ασαφών ελεγκτών των μηχανών χρησιμοποιείται η εργαλειοθήκη Fuzzy Logic Toolbox που παρέχει συναρτήσεις του MATLAB, και εφαρμογές, καθώς και ένα block του Simulink. Για την γραμμή παραγωγής κατασκευάστηκαν οι ελεγκτές Line1.fis, Line2.fis, Line3.fis, Line4.fis, Line5.fis για τις μηχανές 1, 2, 3, 4, 5 αντίστοιχα.

Κάθε ελεγκτής που δημιουργείται για την γραμμή παραγωγής έχει 4 μεταβλητές εισόδου και 1 μεταβλητή εξόδου. Οι μεταβλητές εισόδου είναι η στάθμη του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης, η στάθμη του επόμενου χώρου εναπόθεσης, η λειτουργική κατάσταση της μηχανής και το πλεόνασμα. Η μεταβλητή εξόδου του ελεγκτή είναι ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής.

Για την κατασκευή, επεξεργασία και προβολή συστημάτων ασαφούς συμπερασμού υπάρχουν πέντε βασικά περιβάλλοντα χρήστη: ο FIS επεξεργαστής, ο επεξεργαστής συνάρτησης συμμετοχής, ο επεξεργαστής κανόνων, ο προβολέας κανόνων και ο προβολέας επιφανειών [3]. Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά ο ασαφής ελεγκτής της πρώτης μηχανής Line1.fis. Οι υπόλοιποι ελεγκτές διαφέρουν μόνο στις παραμέτρους των συναρτήσεων συμμετοχής των λεκτικών μεταβλητών BFL_i και BFL_{i+1} , διότι οι χώροι εναπόθεσης έχουν διαφορετικές χωρητικότητες.

Στο περιβάλλον χρήστη του FIS επεξεργαστή (Fuzzy Inference System Editor) επιλέχθηκε ως μέθοδος συμπερασμού η Mamdani. Δημιουργήθηκαν οι τέσσερις μεταβλητές εισόδου που φαίνονται επάνω αριστερά και στο παράθυρο διαλόγου στο πεδίο "Name" δόθηκαν τα ονόματά τους. Κάτω αριστερά στο παράθυρο διαλόγου, ρυθμίστηκαν οι ασαφείς συναρτήσεις συμπερασμού του ασαφούς ελεγκτή.

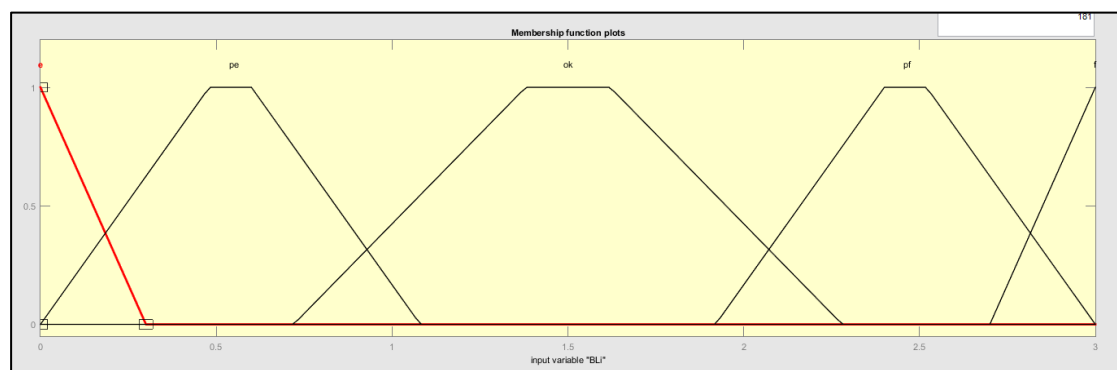
Στη συνέχεια μέσω του γραφικού περιβάλλοντος επεξεργασίας συναρτήσεων συμμετοχής ορίστηκαν οι αριθμητικές παράμετροι για κάθε συνάρτηση συμμετοχής, καθώς και ο τύπος κάθε συνάρτησης συμμετοχής.



Εικόνα 2.7: Παράθυρο διαλόγου σχεδιαστή ασαφούς ελεγκτή.

Με το περιβάλλον χρήστη του επεξεργαστή συνάρτησης συμμετοχής (Membership Function Editor) δημιουργήθηκαν οι λεκτικές τιμές των μεταβλητών:

Μεταβλητή εισόδου BFL_i : Η μεταβλητή εισόδου δέχεται τέσσερις λεκτικές τιμές που αφορούν τα επίπεδα του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης. Το εύρος που κυμαίνονται οι λεκτικές τιμές της είναι από 0 έως 3, διότι ο πρώτος χώρος εναπόθεσης πριν τη μηχανή έχει μέγιστη χωρητικότητα $BC_0=3$.



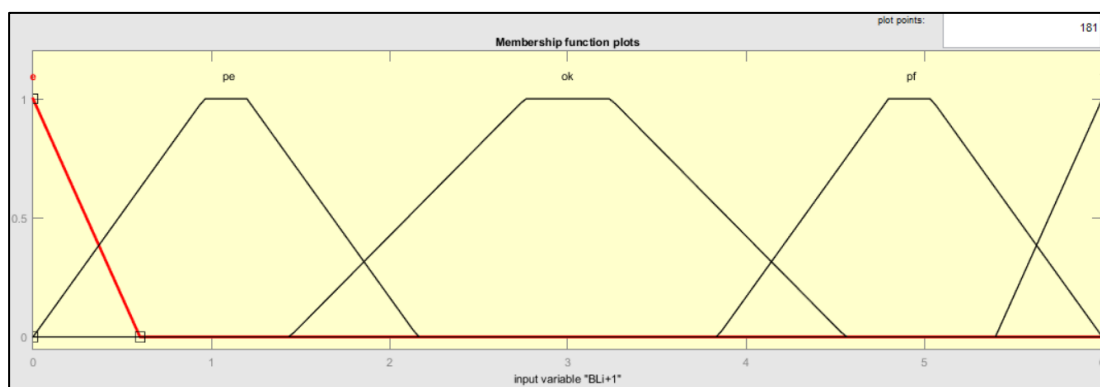
Εικόνα 2.8: Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_i .

Οι λεκτικές μεταβλητές, η σημασία που τους αποδόθηκε, αλλά και τα δεδομένα για τις συναρτήσεις συμμετοχής τους αναγράφονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.1.

Λεκτική τιμή	Σημασία λεκτικής τιμής	Παράμετροι συνάρτησης συμμετοχής	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής
e	Άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0 0.3]	trimf
pe	Σχεδόν άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0.48 0.6 1.08]	trapmf
ok	Φυσιολογικά επίπεδα χώρου εναπόθεσης	[0.72 1.38 1.62 2.28]	trapmf
pf	Σχεδόν πλήρης	[1.92 2.4 2.52 3]	trmf
f	Πλήρης χώρος εναπόθεσης	[2.7 3 3]	trimf

Πίνακας 2.1: Πληροφορίες για τις λεκτικές τιμές της μεταβλητής BFL_i .

Μεταβλητή εισόδου BFL_{i+1} : Η μεταβλητή εισόδου δέχεται τέσσερις λεκτικές τιμές που αφορούν τα επίπεδα του επόμενου χώρου εναπόθεσης. Το εύρος που κυμαίνονται οι λεκτικές τιμές είναι από 0 έως 6, διότι ο επόμενος χώρος εναπόθεσης από τη πρώτη μηχανή έχει μέγιστη χωρητικότητα $BC_0=6$.

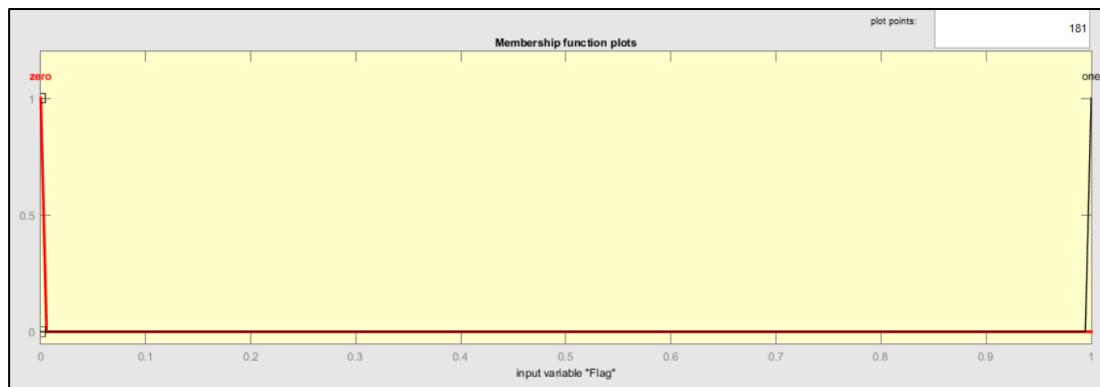


Εικόνα 2.9: Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_{i+1} .

Λεκτική τιμή	Σημασία λεκτικής τιμής	Παράμετροι συνάρτησης συμμετοχής	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής
e	Άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0 0.6]	trimf
pe	Σχεδόν άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0.96 1.2 2.16]	trapmf
ok	Φυσιολογικά επίπεδα χώρου εναπόθεσης	[1.44 2.76 3.24 4.56]	trapmf
pf	Σχεδόν πλήρης	[3.84 4.8 5.04 6]	trmf
f	Πλήρης χώρος εναπόθεσης	[5.4 6 6]	trimf

Πίνακας 2.2: Πληροφορίες για τις λεκτικές τιμές της μεταβλητής BFL_{i+1} .

Μεταβλητή εισόδου *Flag*: Η μεταβλητή εισόδου δέχεται δύο λεκτικές τιμές που αφορούν την λειτουργική κατάσταση της μηχανής. Οι παράμετροι των συναρτήσεων συμμετοχής της παρούσας μεταβλητής είναι ίδιες για όλους τους ελεγκτές του συστήματος.

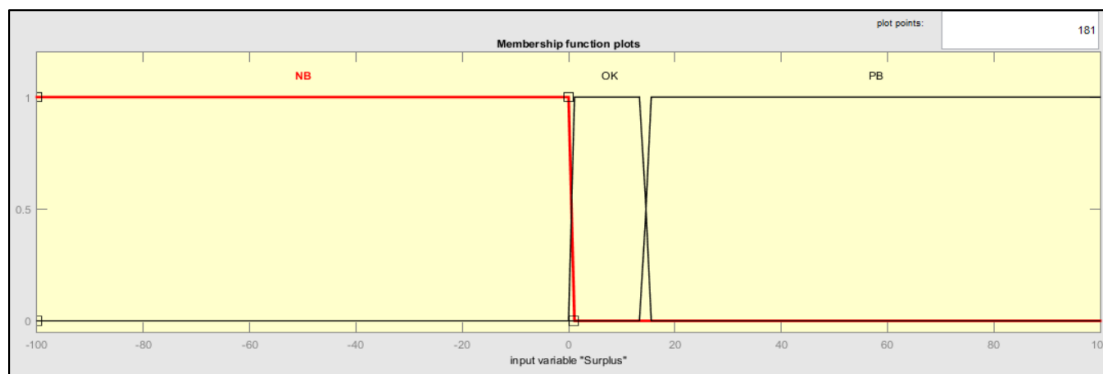


Εικόνα 2.10: Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή *flag*.

Λεκτική τιμή	Σημασία λεκτικής τιμής	Παράμετροι συνάρτησης συμμετοχής	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής
zero	Εκτός λειτουργίας	[0 0 0]	trimf
one	Σε λειτουργία	[1 1 1]	trimf

Πίνακας 2.3: Πληροφορίες για τις λεκτικές τιμές της μεταβλητής *flag*.

Μεταβλητή εισόδου *Surplus*: Η μεταβλητή εισόδου δέχεται τρεις λεκτικές τιμές που αφορούν τα επίπεδα του πλεονάσματος. Το εύρος που κυμαίνονται οι λεκτικές τιμές είναι από -100 έως 100. Οι παράμετροι των συναρτήσεων συμμετοχής της παρούσας μεταβλητής είναι ίδιες για όλους τους ελεγκτές του συστήματος.

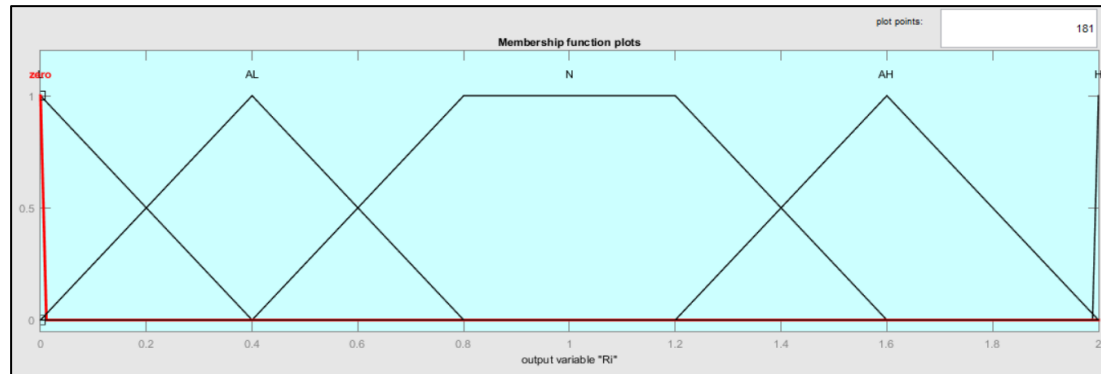


Εικόνα 2.11: Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή *Surplus*.

Λεκτική τιμή	Σημασία λεκτικής τιμής	Παράμετροι συνάρτησης συμμετοχής	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής
NB	Αρνητικό πλεόνασμα. Ζήτηση μεγαλύτερη από την παραγωγή	[-100 -100 0 1]	trapmf
OK	Φυσιολογικό πλεόνασμα, πλησίον του μηδενός	[0 1 14 15]	trapmf
PB	Θετικό πλεόνασμα. Παραγωγή μεγαλύτερη από τη ζήτηση	[14 15 100 100]	trapmf

Πίνακας 2.4: Πληροφορίες για τις λεκτικές τιμές της μεταβλητής *Surplus*.

Μεταβλητή εξόδου Ri : Η μεταβλητή εξόδου δέχεται έξι λεκτικές τιμές που αφορούν τον ρυθμό παραγωγής. Ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής μίας μηχανής είναι 2, συνεπώς το εύρος που κυμαίνονται οι λεκτικές τιμές είναι από 0 έως 2. Οι παράμετροι των συναρτήσεων συμμετοχής της μεταβλητής είναι ίδιες για όλους τους ελεγκτές του συστήματος.



Εικόνα 2.12: Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή Ri .

Λεκτική τιμή	Σημασία λεκτικής τιμής	Παράμετροι συνάρτησης συμμέτοχης	Τύπος συνάρτησης συμμέτοχης
zero	Μηχανή δεν παράγει	[0 0 0]	trimf
L	Χαμηλός ρυθμός παραγωγής	[0 0 0.4]	trimf
AL	Σχεδόν χαμηλός ρυθμός παραγωγής	[0 0.4 0.8]	trimf
N	Φυσιολογικός ρυθμός παραγωγής	[0.4 0.8 1.2 1.6]	trapmf
AH	Σχεδόν υψηλός ρυθμός παραγωγής	[1.2 1.6 2]	trimf
H	Υψηλός ρυθμός παραγωγής	[2 2 2]	trimf

Πίνακας 2.5: Πληροφορίες για τις λεκτικές τιμές της μεταβλητής εξόδου Ri .

Η ασαφής λογικής προσφέρει το μαθηματικό υπόβαθρο, που μας επιτρέπει την αναπαράσταση απλή γνώσης των αρχών ελέγχου/σχεδιασμού της παραγωγής με την μορφή κανόνων AN-TOTE [9]. Με το περιβάλλον χρήστη του επεξεργαστή κανόνων

(Rule Editor) καθορίστηκε η συμπεριφορά του συστήματος και η σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Συνολικά ορίστηκαν 21 κανόνες που έχουν ως εξής:

1. If (BFL_i is e) and (Flag is one) then (R_i is zero).
2. If (BFL_{i+1} is f) and (Flag is one) then (R_i is zero).
3. If (BFL_i is ok) and (BFL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is L).
4. If (BFL_i is ok) and (BFL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is AH).
5. If (BFL_i is ok) and (BFL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is H).
6. If (BFL_i is ok) and (BFL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is N).
7. If (BFL_i is pf) and (BFL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is H).
8. If (BFL_i is pf) and (BFL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is H).
9. If (BFL_i is pf) and (BFL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is L).
10. If (BFL_i is pf) and (BFL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is AH).
11. If (BFL_i is f) and (BFL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is H).
12. If (BFL_i is f) and (BFL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is H).
13. If (BFL_i is f) and (BFL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is H).
14. If (BFL_i is f) and (BFL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is AH).
15. If (BFL_i is pe) and (BFL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is H).
16. If (BFL_i is pe) and (BFL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is AH).
17. If (BFL_i is pe) and (BFL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is AL).
18. If (BFL_i is pe) and (BFL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is L).
19. If (Flag is zero) then (R_i is zero).
20. If (BFL_i is not e) and (BFL_{i+1} is not f) and (Flag is one) and (Surplus is NB) then (R_i is H).
21. If (BFL_i is not e) and (BFL_{i+1} is not f) and (Flag is one) and (Surplus is PB) then (R_i is L).

2.7 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε το μοντέλο της γραμμής παραγωγής, όπως κατασκευάστηκε στο λογισμικό *Simulink*. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση των

συστημάτων, των υποσυστημάτων και των λειτουργιών που το δομούν. Επιπλέον, μελετήθηκε ο τρόπος δημιουργίας και ρύθμισης των ασαφών ελεγκτών των μηχανών με βάση τα επιθυμητά δεδομένα λειτουργίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί το μοντέλο του δικτύου παραγωγής, τα υποσυστήματα που το αποτελούν και οι ασαφείς ελεγκτές των μηχανών παραγωγής. Στο δίκτυο πραγματοποιείται εν σειρά κατεργασία, μία αποσυναρμολόγηση και μία συναρμολόγηση.

3.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

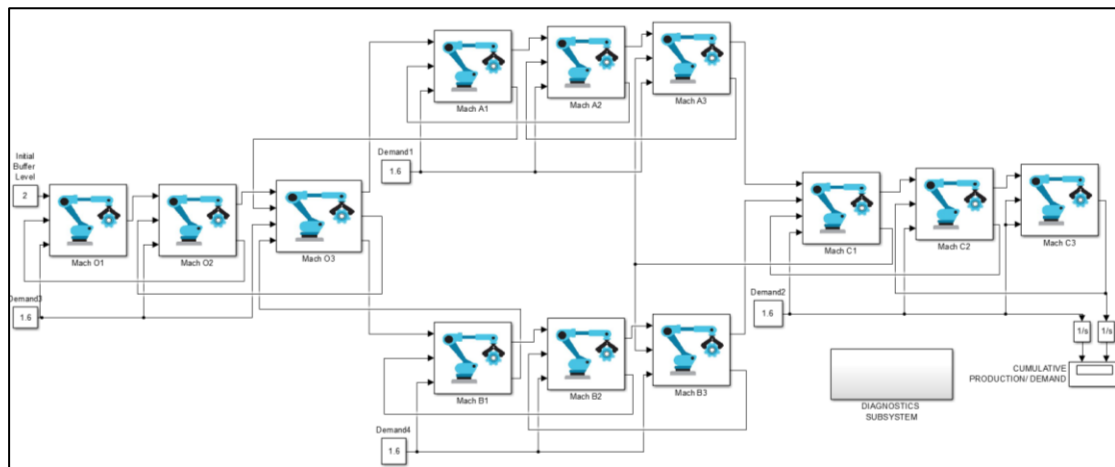
Το μοντέλο του δικτύου παραγωγής που κατασκευάστηκε αποτελείται από 12 αριθμητικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές, που συνδέονται μέσω ταινιοδρόμου και 12 ενδιάμεσους χώρους εναπόθεσης. Υπάρχουν τρία είδη μηχανών που διαφέρουν ως προς τους ελεγκτές τους και είναι:

- η απλή μηχανή παραγωγής
- η μηχανή αποσυναρμολόγησης
- η μηχανή συναρμολόγησης

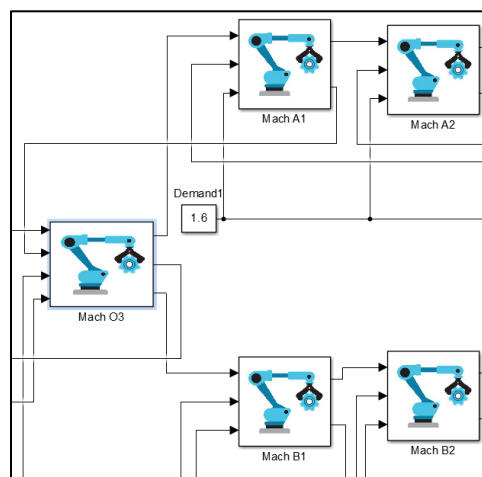
Για την εκτέλεση διεργασιών χρησιμοποιούνται τα blocks της βιβλιοθήκης του λογισμικού *Simulink*, όπως παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Η προσομοίωση του δικτύου παραγωγής είναι βασισμένη σε υποθέσεις που έχουν ως εξής:

1. Ο πρώτος χώρος εναπόθεσης είναι συνεχής πηγή πρώτης ύλη και δεν θεωρείται ποτέ αποστερημένος, ενώ ο τελευταίος χώρος εναπόθεσης θεωρείται άπειρης χωρητικότητας.
2. Όλες οι μηχανές παράγουν με γνωστούς ρυθμούς παραγωγής που κυμαίνονται από 0 έως 2 και καθορίζονται από τον ασαφή ελεγκτή τους. Οι ρυθμοί παραγωγής μεταξύ τους δεν είναι απαραίτητα ίσοι.
3. Οι ενδιάμεσοι χώροι εναπόθεσης μεταξύ δύο μηχανών M_i και M_j έχουν γνωστή χωρητικότητα BC_{ij} . Συγκεκριμένα ισούνται με $BC_{12}=6$, $BC_{23}=4$, $BC_{34}=5$, $BC_{45}=5$, $BC_{56}=4$, $BC_{67}=4$, $BC_{78}=6$, $BC_{89}=6$, $BC_{910}=6$, $BC_{1011}=6$, $BC_{1112}=5$, $BC_{1213}=8$.
4. Οι μηχανές παρουσιάζουν βλάβες τυχαία με πιθανότητα $p_i = \frac{r_i}{c_0}$ όπου r_i ο ρυθμός επεξεργασίας της μηχανής και c_0 μία σταθερά. Επίσης, επισκευάζονται τυχαία με πιθανότητα r_i .
5. Οι χρόνοι μέχρι την βλάβη και την επισκευή είναι γεωμετρικά κατανομημένοι.

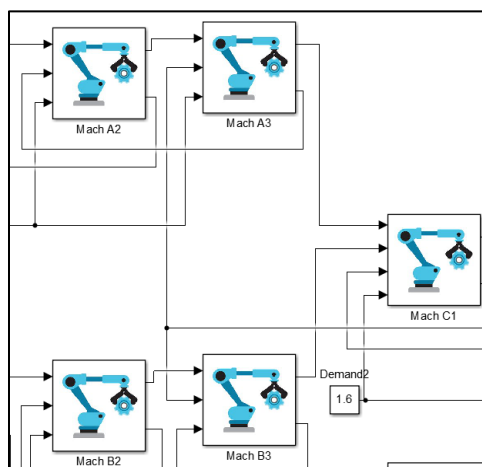
6. Οι χρόνοι μεταφοράς, αλλαγής παρτίδας και αλλαγής εργαλείου θεωρούνται αμελητέοι ή εμπεριέχονται στον ρυθμό επεξεργασίας.



Εικόνα 3.1: Μοντέλο δικτύου παραγωγής.



Εικόνα 3.2: Αποσυναρμολόγηση δικτύου.

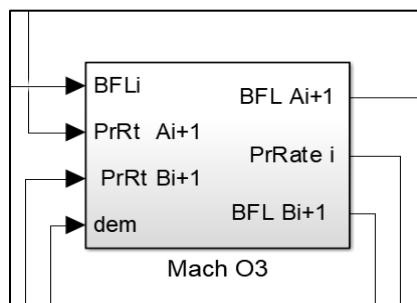


Εικόνα 3.3: Συναρμολόγηση δικτύου.

Οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου των απλών μηχανών του συστήματος είναι όμοιες με εκείνων της γραμμής παραγωγής που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου της μηχανής συναρμολόγησης και της μηχανής αποσυναρμολόγησης διευκρινίζονται στη συνέχεια.

3.2.1 ΜΗΧΑΝΗ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ 'Mach O3'

- Μεταβλητή εισόδου 1: Στάθμη του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης BFL_i από την μηχανή M_i .
- Μεταβλητή εισόδου 2: Ρυθμός παραγωγής R_{Ai+1} της επόμενης μηχανής M_{Ai+1} που βρίσκεται στην πάνω γραμμή.
- Μεταβλητή εισόδου 3: Ρυθμός παραγωγής R_{Bi+1} της επόμενης μηχανής M_{Bi+1} , που βρίσκεται στην κάτω γραμμή.
- Μεταβλητή εισόδου 4: Η ζήτηση dem .
- Μεταβλητή εξόδου 1: Στάθμη του επόμενου χώρου εναπόθεσης BFL_{Ai+1} από την μηχανή M_i , που βρίσκεται πάνω.
- Μεταβλητή εξόδου 2: Ρυθμός παραγωγής R_i παρούσας μηχανής M_i .
- Μεταβλητή εξόδου 3: Στάθμη του επόμενου χώρου εναπόθεσης BFL_{Bi+1} από την μηχανή M_i , που βρίσκεται κάτω.

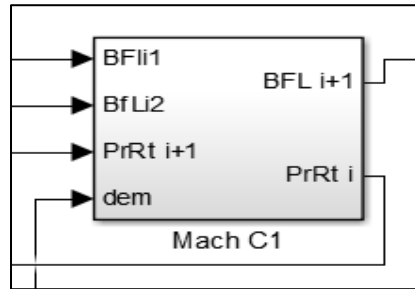


Εικόνα 3.4: Μηχανή αποσυναρμολόγησης 'Mach O3'.

3.2.2 ΜΗΧΑΝΗ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ 'Mach C1'

- Μεταβλητή εισόδου 1: Στάθμη του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης $BFLA_i$ από την μηχανή M_i , που προέρχεται από την πάνω γραμμή.
- Μεταβλητή εισόδου 2: Στάθμη του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης $BFLB_i$ από την μηχανή M_i , που προέρχεται από την κάτω γραμμή.
- Μεταβλητή εισόδου 3: Ρυθμός παραγωγής R_{i+1} της επόμενης μηχανής M_{i+1} .
- Μεταβλητή εισόδου 4: Η ζήτηση dem .

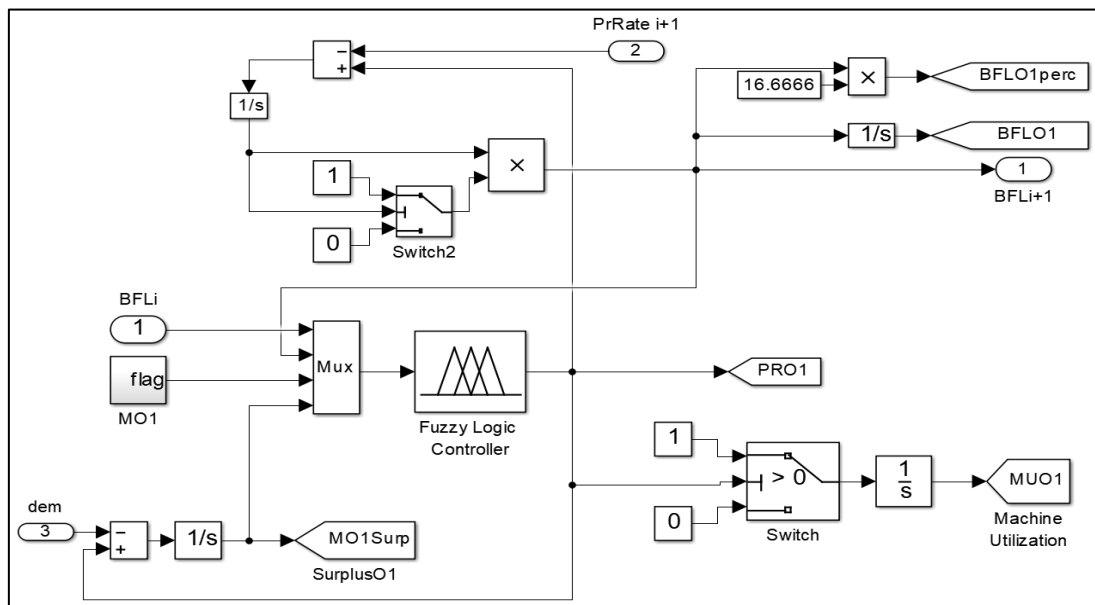
- Μεταβλητή εξόδου 1: Στάθμη του επόμενου χώρου εναπόθεσης BFL_{i+1} από την μηχανή M_i .
- Μεταβλητή εξόδου 2: Ρυθμός παραγωγής R_i παρούσας μηχανής M_i .



Εικόνα 3.5: Μηχανή συναρμολόγησης 'Mach C1'.

3.3 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΛΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η απλή μηχανή παραγωγής έχει την ίδια λειτουργία με εκείνη του υποκεφαλαίου 2.3. Η μόνη διαφορά έγκειται στην προσθήκη διαγνωστικών διεργασιών. Στην Εικόνα 3.6 παρουσιάζεται ενδεικτικά η πρώτη μηχανή O1.



Εικόνα 3.6: Υποσύστημα απλής μηχανής παραγωγής.

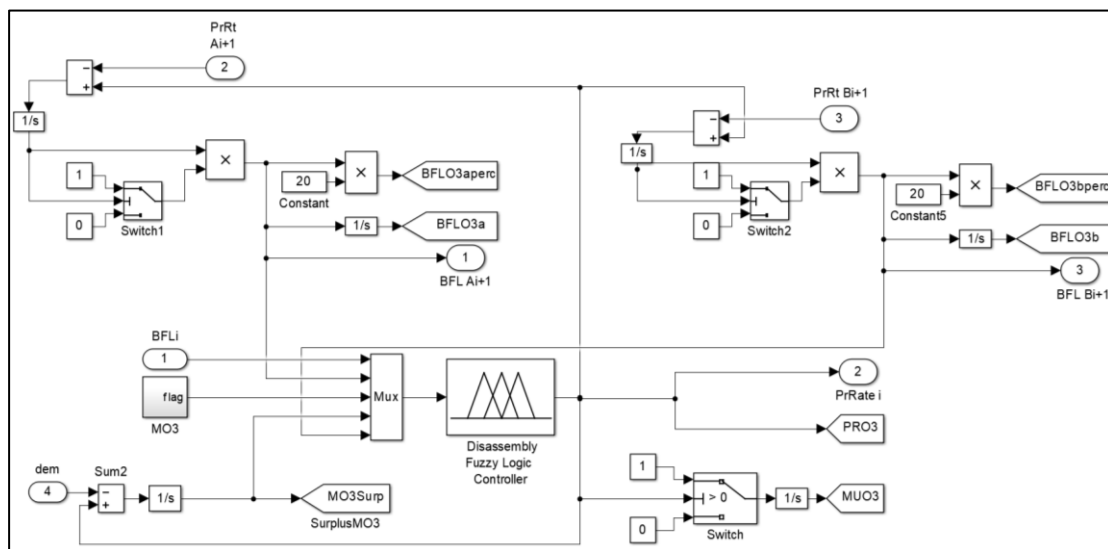
Οι λειτουργίες που προστέθηκαν στο υποσύστημα της Εικόνας 3.6 είναι:

- Αποθήκευση του ρυθμού παραγωγής της μηχανής στο Goto block O1 για την μετάβαση του σε διαγνωστικά μέσα προβολής.
- Η στάθμη του επόμενου χώρου εναπόθεσης πολλαπλασιάζεται με σταθερά που ισούται με την διαίρεση του εκατό με την μέγιστη στάθμη χώρου εναπόθεσης. Έτσι,

λαμβάνεται το ποσοστό της στάθμης του επόμενου χώρου εναπόθεσης και αποθηκεύεται στο Goto block BFLO1perc.

3.4 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΗΣ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Η μηχανή αποσυναρμολόγησης του μοντέλου επιτρέπει τον διαχωρισμό της γραμμής Ο σε δύο νέες (Α και Β). Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η δρομολόγηση των προϊόντων που δέχεται σε διαφορετικές μηχανές, ανάλογα με τις δεδομένα και τις ανάγκες που υπάρχουν.



Εικόνα 3.7: Υποσύστημα μηχανής αποσυναρμολόγησης 'Mach O3'.

Οι λειτουργίες του υποσυστήματος της Εικόνας 3.7 έχουν ως εξής:

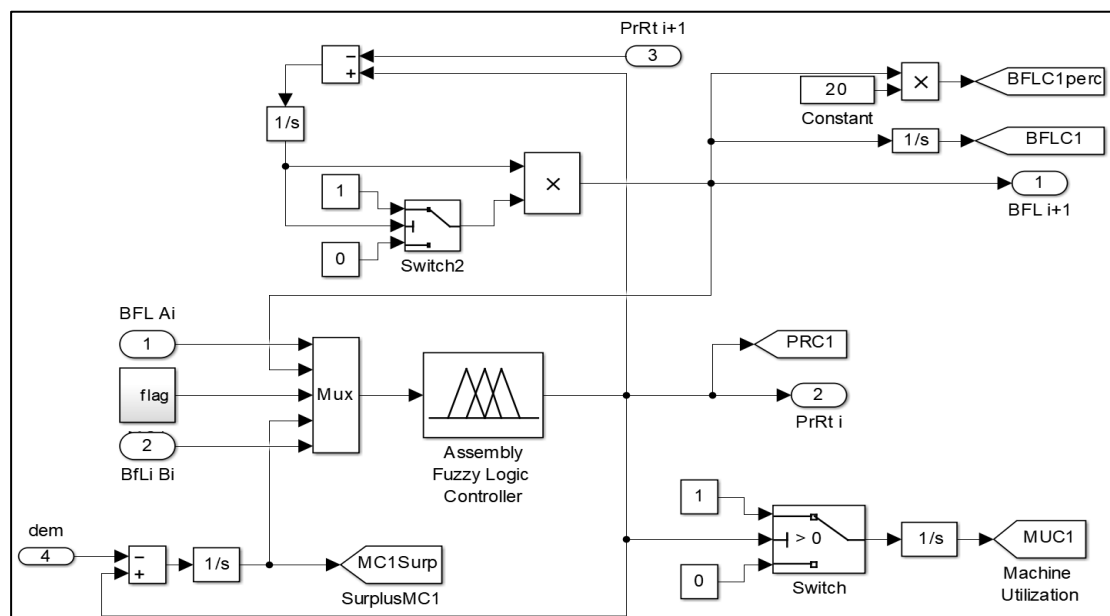
- Όμοια με την απλή μηχανή ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής εξάγεται από τον ασαφή ελεγκτή και οδηγείται σε κατευθύνσεις. Η πρώτη κατεύθυνση είναι στην μεταβλητή εξόδου 2 και το αντίστοιχο Goto block PRO3. Στη δεύτερη κατεύθυνση, αφαιρείται η ζήτηση (μεταβλητή εισόδου 4) από τον ρυθμό παραγωγής και το αποτέλεσμα ολοκληρώνεται, ώστε να εξαχθεί το πλεόνασμα προς το block Goto SurplusMO3, αλλά και προς την τέταρτη είσοδο του ελεγκτή. Η τρίτη κατεύθυνση οδηγεί στο block Switch. Εκεί, εξετάζεται εάν ο ρυθμός είναι θετικός. Αν ισχύει η συνθήκη, τότε το αποτέλεσμα είναι ο αριθμός 1, διαφορετικά ο αριθμός 0. Στη συνέχεια με ολοκλήρωση εξάγεται το ποσοστό του χρόνου που βρισκόταν σε λειτουργία η μηχανή στο Goto block MUO3.
- Η τελευταία κατεύθυνση του ρυθμού παραγωγής οδηγείται προς τα πάνω και διαχωρίζεται, με σκοπό τον υπολογισμό της στάθμης των δύο επόμενων χώρων εναπόθεσης BFL_{Ai+1} και BFL_{Bi+1} . Επάνω αριστερά της Εικόνας 3.7, αφαιρείται από

τον ρυθμό παραγωγής η μεταβλητή εισόδου 2, που αφορά τον ρυθμό παραγωγής της επόμενης μηχανής της γραμμής A. Το αποτέλεσμα της αφαίρεσης ολοκληρώνεται μέσω block Integrator και εξάγονται μόνο οι μη αρνητικοί αριθμοί προς τη μεταβλητή εξόδου 1, αλλά και προς την δεύτερη είσοδο του ασαφούς ελεγκτή ‘Disassembly Fuzzy Logic Controller’. Επάνω δεξιά της Εικόνας 3.7, αφαιρείται από τον ρυθμό παραγωγής η μεταβλητή εισόδου 3, που αφορά τον ρυθμό παραγωγής της επόμενης μηχανής της γραμμής B. Το αποτέλεσμα αφορά την στάθμη του επόμενου χώρου αποθήκευσης της γραμμής B (BFL_{Bi+1}) και εξάγεται προς την μεταβλητή εξόδου 3, αλλά και προς την τελευταία είσοδο του ελεγκτή.

- Στα Goto block BFLO3aperc και BFLO3bperc αποθηκεύονται οι στάθμες των δύο επόμενων χώρων αποθήκευσης εκφρασμένες σε ποσοστό.
- Στα Goto block BFLO3a και BFLO3b αποθηκεύονται οι μέσες στάθμες των δύο επόμενων χώρων αποθήκευσης.

3.5 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΗΣ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Η μηχανή συναρμολόγησης του μοντέλου επιτρέπει την ένωση των δύο γραμμών A και B, σε μία κοινή γραμμή C.



Εικόνα 3.8: Υποσύστημα μηχανής συναρμολόγησης ‘Mach C1’.

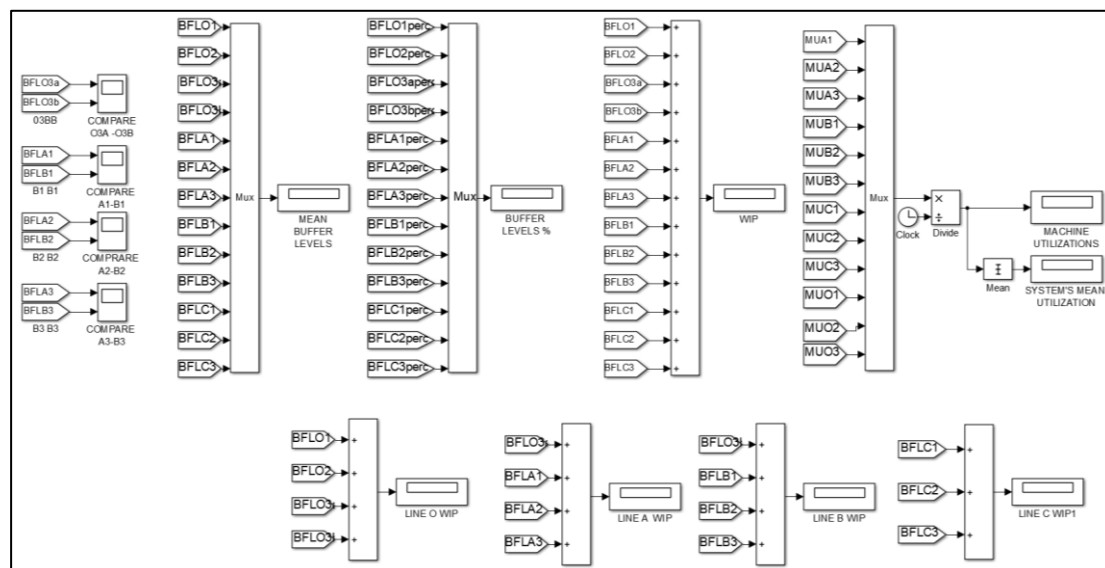
Το υποσύστημα της μηχανής συναρμολόγησης δεν διαφέρει από το υποσύστημα της απλής μηχανής, όσον αφορά τον τρόπο υπολογισμού του επόμενου χώρου εναπόθεσης, του χρόνου λειτουργίας της μηχανής και του πλεονάσματος. Η διαφορά

του βρίσκεται στις μεταβλητές εισόδου και στις εισόδου του ελεγκτή, καθώς υπάρχουν δύο προηγούμενοι χώροι εναπόθεσης. Συγκεκριμένα:

- Ο προηγούμενος χώρος εναπόθεσης της γραμμής A (μεταβλητή εισόδου 1), αποτελεί την πρώτη είσοδο του ασαφούς ελεγκτή 'Assembly Fuzzy Logic Controller', ενώ ο προηγούμενος χώρος εναπόθεσης της γραμμής B (μεταβλητή εισόδου 2), αποτελεί την τελευταία είσοδο.

3.6 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ 'DIAGNOSTICS SUBSYSTEM'

Το υποσύστημα 'diagnostics subsystem' κατασκευάστηκε με σκοπό την συγκέντρωση και την καλύτερη οργάνωση των μέσων προβολής των αποτελεσμάτων του συστήματος.



Εικόνα 3.9: Υποσύστημα προβολής διαγνωστικών .

Μέσω των block Score γίνεται η προβολή των ακολούθων:

- Μέσο επίπεδο κάθε χώρου εναπόθεσης κατά την διάρκεια της προσομοίωσης (MEAN BUFFER LEVELS).
- Επίπεδο κάθε χώρου εναπόθεσης εκφρασμένο ως προς το 100 (BUFFER LEVELS %).
- Πλήθος προϊόντων υπό επεξεργασία όλου του δικτύου κατά την διάρκεια της προσομοίωσης (LINE O WIP, LINE A WIP, LINE B WIP, LINE C WIP).
- Πλήθος προϊόντων υπό επεξεργασία ανά μέρη του συστήματος κατά την διάρκεια της προσομοίωσης (WIP).
- Μέσο ποσοστό χρόνου λειτουργίας των μηχανών και του συστήματος.

Το υποσύστημα παραγωγής κατάστασης της μηχανής είναι όμοιο με εκείνο που αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 2.4.

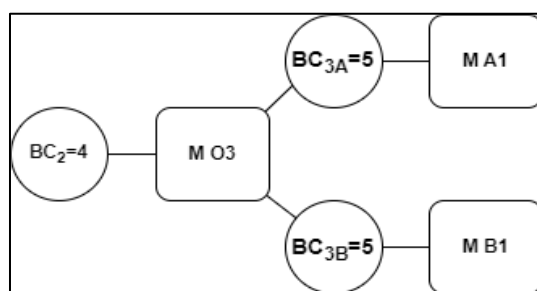
3.7 ΑΣΑΦΕΙΣ ΕΛΕΓΚΤΕΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Για το δίκτυο παραγωγής κατασκευάστηκαν οι ελεγκτές O1.fis, O2.fis, disassemblyO3.fis, A1B1.fis, A2B2.fis, A3B3.fis, assemblyC1.fis, C2.fis, C3.fis. Όλοι οι ασαφείς ελεγκτές, εκτός από τους disassemblyO3.fis και assemblyC1.fis, έχουν 4 μεταβλητές εισόδου και 1 μεταβλητή εξόδου, όπως εκείνοι του υποκεφαλαίου 2.6. Η λειτουργία τους είναι ίδια και διαφέρουν μόνο ως προς την χωρητικότητα των χώρων εναπόθεσης, δηλαδή τα εύρη τιμών των μεταβλητών BFL_i και BFL_{i+1} .

Ο ελεγκτής disassemblyO3.fis βρίσκεται εντός της μηχανής αποσυναρμολόγησης O3, ενώ ο ελεγκτής assemblyC1.fis εντός της μηχανής συναρμολόγησης C1. Οι δύο αυτοί ελεγκτές έχουν 5 μεταβλητές εισόδου και 1 μεταβλητή εξόδου. Τα στοιχεία τους θα αναλυθούν ακολούθως.

3.7.1 ΑΣΑΦΗΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ 'disassemblyO3.fis'

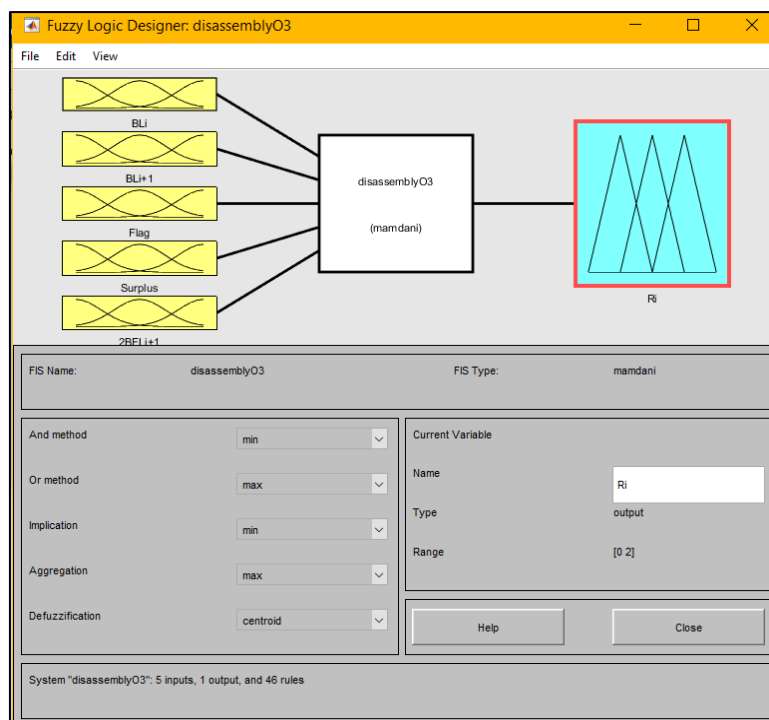
Ο ασαφής ελεγκτής της μηχανής αποσυναρμολόγησης διαφέρει στην λειτουργία του από τους υπολοίπους, καθώς διαχειρίζεται τα δεδομένα τριών συνολικά χώρων εναπόθεσης και συγκεκριμένα ενός προηγούμενου και δύο επόμενων.



Εικόνα 3.10: Χώροι εναπόθεσης πριν και μετά τη μηχανή αποσυναρμολόγησης O3.

Στο περιβάλλον χρήστη FIS επεξεργαστή ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα με εκείνα του ασαφούς ελεγκτή της απλής μηχανής.

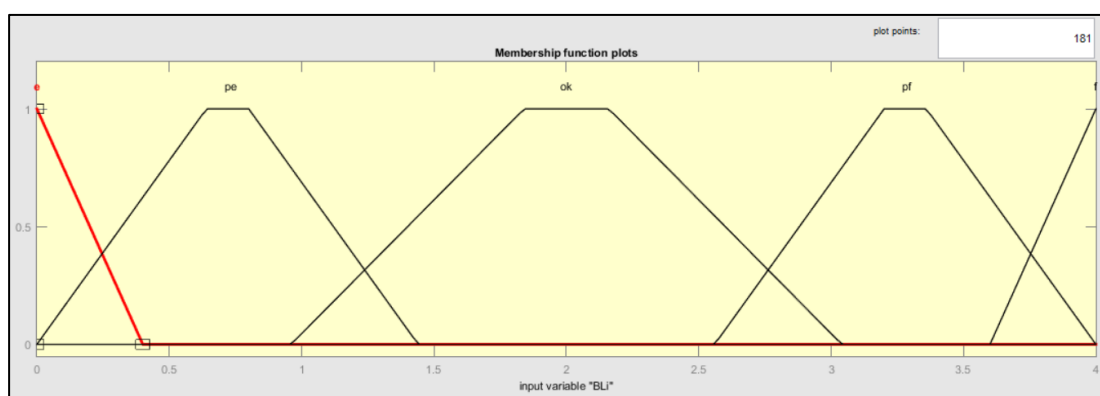
Στη συνέχεια μέσω του γραφικού περιβάλλοντος επεξεργασίας συναρτήσεων συμμετοχής ορίστηκαν οι αριθμητικές παράμετροι για κάθε συνάρτηση συμμετοχής, καθώς και ο τύπος κάθε συνάρτησης συμμετοχής.



Εικόνα 3.11: Παράθυρο διαλόγου σχεδιαστή ασαφούς ελεγκτή μηχανής αποσυναρμολόγησης.

Για κάθε μεταβλητή ορίστηκαν οι λεκτικές τιμές, μέσω του περιβάλλοντος του επεξεργαστή συνάρτησης.

Μεταβλητή εισόδου BFL_i : Η μεταβλητή εισόδου δέχεται τέσσερις λεκτικές τιμές που αφορούν τα επίπεδα του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης. Το εύρος που κυμαίνονται οι λεκτικές τιμές της είναι από 0 έως 4, διότι ο προηγούμενος χώρος εναπόθεσης πριν τη μηχανή έχει μέγιστη χωρητικότητα $BC_2=4$.



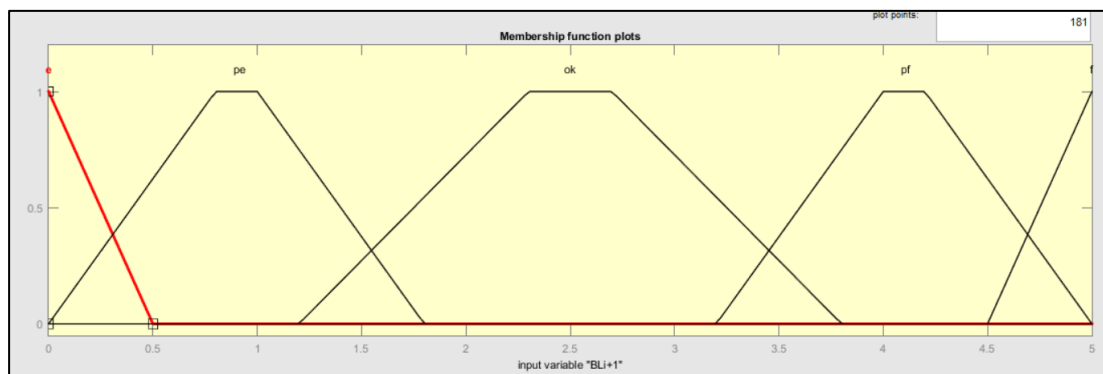
Εικόνα 3.12: Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_i .

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι λεκτικές τιμές για την μεταβλητή BFL_i , η έννοια που τους αποδόθηκε, αλλά και οι αριθμητικές παράμετροι για κάθε τύπο συνάρτησης συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε λεκτική τιμή.

Λεκτική τιμή	Σημασία λεκτικής μεταβλητής	Παράμετροι συνάρτησης συμμετοχής	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής
e	Άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0 0.4]	trimf
pe	Σχεδόν άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0.64 0.8 1.44]	trapmf
ok	Φυσιολογικά επίπεδα χώρου εναπόθεσης	[0.96 1.84 2.16 3.04]	trapmf
pf	Σχεδόν πλήρης	[2.56 3.2 3.36 4]	trmf
f	Πλήρης χώρος εναπόθεσης	[3.6 4 4]	trimf

Πίνακας 3.1: Πληροφορίες λεκτικών τιμών για την μεταβλητή BFL_i του ασαφούς ελεγκτή της μηχανής αποσυναρμολόγησης.

Μεταβλητή εισόδου BFL_{i+1} : Η μεταβλητή εισόδου δέχεται τέσσερεις λεκτικές τιμές που αφορούν τα επίπεδα του επόμενου χώρου εναπόθεσης της γραμμής Α. Το εύρος που κυμαίνονται οι λεκτικές τιμές είναι από 0 έως 5, διότι ο επόμενος χώρος εναπόθεσης από τη μηχανή έχει μέγιστη χωρητικότητα $BC_{A3}=5$, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.10.



Εικόνα 3.13: Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_{i+1} .

Λεκτική τιμή	Σημασία λεκτικής μεταβλητής	Παράμετροι συνάρτησης συμμετοχής	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής
e	Άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0 0.5]	trimf
pe	Σχεδόν άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0.8 1 1.8]	trapmf
ok	Φυσιολογικά επίπεδα χώρου εναπόθεσης	[1.2 2.3 2.7 3.8]	trapmf
pf	Σχεδόν πλήρης	[3.2 4 4.2 5]	trmf
f	Πλήρης χώρος εναπόθεσης	[4.5 5 5]	trimf

Πίνακας 3.2: Πληροφορίες λεκτικών τιμών για την μεταβλητή BFL_{i+1} του ασαφούς ελεγκτή της μηχανής αποσυναρμολόγησης.

Μεταβλητή εισόδου $2BFL_{i+1}$: Η μεταβλητή εισόδου δέχεται τέσσερις λεκτικές τιμές που αφορούν τα επίπεδα του επόμενου χώρου εναπόθεσης της γραμμής B. Το εύρος που κυμαίνονται οι λεκτικές τιμές είναι από 0 έως 5. Οι λεκτικές τιμές της και τα στοιχεία τους είναι όμοια με την μεταβλητή εισόδου BFL_{i+1} , όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Οι μεταβλητές *Surplus*, *flag* και R_i έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με εκείνες των υπολοίπων ελεγκτών.

Για την συσχέτιση των μεταβλητών μεταξύ τους ορίστηκαν 46 κανόνες στον επεξεργαστή κανόνων (Rule Editor) που έχουν ως εξής:

1. If (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is f) then (R_i is zero).
2. If (BL_i is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is zero).
3. If (BL_{i+1} is f) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is zero).
4. If (Flag is zero) then (R_i is zero).
5. If (BL_{i+1} is e) and (Flag is one) then (R_i is H).
6. If (Flag is one) and ($2BFL_{i+1}$ is e) then (R_i is H).
7. If (BL_i is pf) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is N).

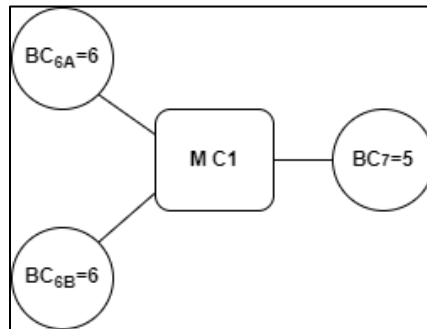
8. If (BL_i is pe) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is AL).
9. If (BL_i is pe) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is AL).
10. If (BL_i is pe) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is N).
11. If (BL_i is pe) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is AL).
12. If (BL_i is pe) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is L).
13. If (BL_i is pe) and (BFL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is N).
14. If (BL_i is pe) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is AL).
15. If (BL_i is pe) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is L).
16. If (BL_i is ok) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is AH).
17. If (BL_i is ok) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is N).
18. If (BL_i is ok) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is N).
19. If (BL_i is ok) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is AH).
20. If (BL_i is ok) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is N).
21. If (BL_i is ok) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is AL).
22. If (BL_i is ok) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is N).
23. If (BL_i is ok) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is AL).
24. If (BL_i is ok) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is L).
25. If (BL_i is pf) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is H).

26. If (BL_i is pf) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is AH).
27. If (BL_i is pf) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is N).
28. If (BL_i is pf) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is AH).
29. If (BL_i is pf) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is N).
30. If (BL_i is pf) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is N).
31. If (BL_i is pf) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is N).
32. If (BL_i is pf) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is N).
33. If (BL_i is pf) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is N).
34. If (BL_i is f) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is H).
35. If (BL_i is f) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is H).
36. If (BL_i is f) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is H).
37. If (BL_i is f) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is H) .
38. If (BL_i is f) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is H) .
39. If (BL_i is f) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is N).
40. If (BL_i is f) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pe) then (R_i is AH)
41. If (BL_i is f) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is ok) then (R_i is N) .
42. If (BL_i is f) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and ($2BFL_{i+1}$ is pf) then (R_i is N) .
43. If (BL_i is not e) and (BL_{i+1} is not f) and (Flag is one) and (Surplus is PB) then (R_i is L).

44. If (BL_i is not e) and (BL_{i+1} is not f) and (Flag is one) and (Surplus is NB) then (R_i is H) .
45. If (BL_i is not e) and (Flag is one) and (Surplus is NB) and ($2BFL_{i+1}$ is not f) then (R_i is H) .
46. If (BL_i is not e) and (Flag is one) and (Surplus is PB) and ($2BFL_{i+1}$ is not f) then (R_i is L).

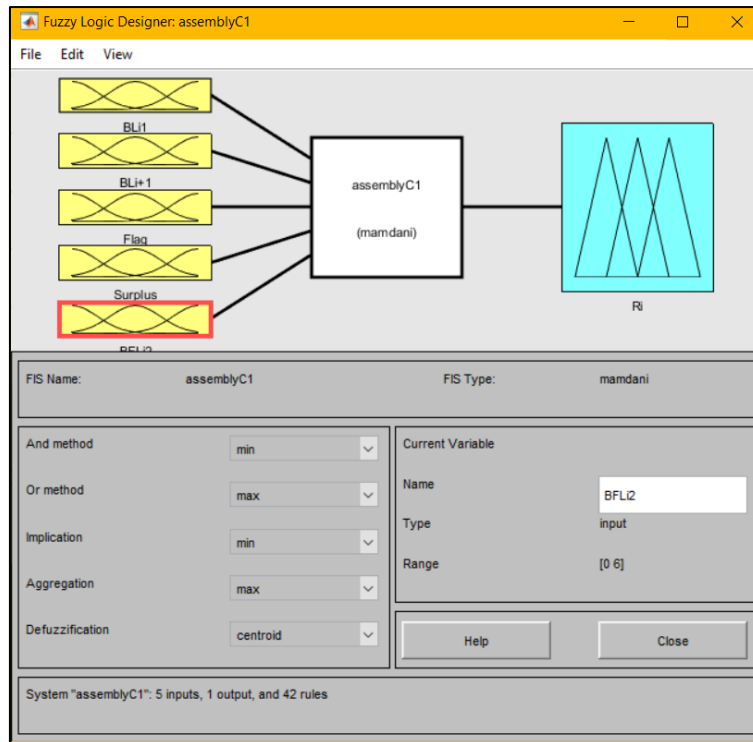
3.7.2 ΑΣΑΦΗΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ 'assemblyC1.fis'

Ο ασαφής ελεγκτής της μηχανής συναρμολόγησης έχει επίσης διαφορετική λειτουργία από τους υπολοίπους ελεγκτές, καθώς διαχειρίζεται τα δεδομένα από δύο προηγούμενους χώρους εναπόθεσης και έναν επόμενο.



Εικόνα 3.14: Χώροι εναπόθεσης πριν και μετά τη μηχανή συναρμολόγησης C1.

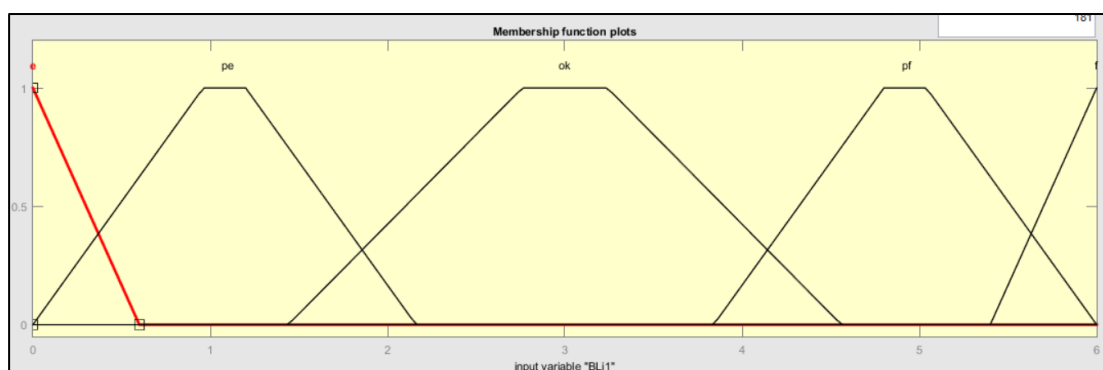
Στον FIS επεξεργαστή ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για την δημιουργία των μεταβλητών με τους άλλους ελεγκτές. Στο παράθυρο διαλόγου της Εικόνας 3.15 φαίνονται οι ασαφείς συναρτήσεις συμπερασμού που επιλέχθηκαν.



Εικόνα 3.15: Παράθυρο διαλόγου σχεδιαστή ασαφούς ελεγκτή μηχανής συναρμολόγησης.

Στον επεξεργαστή συνάρτησης συμμετοχής ορίστηκαν για κάθε μεταβλητή τα εξής:

Μεταβλητή εισόδου *BFLi1*: Η μεταβλητή εισόδου δέχεται τέσσερεις λεκτικές τιμές που αφορούν τα επίπεδα του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης της γραμμής Α. Το εύρος διακύμανσης των λεκτικών τιμών της είναι 0 έως 6.



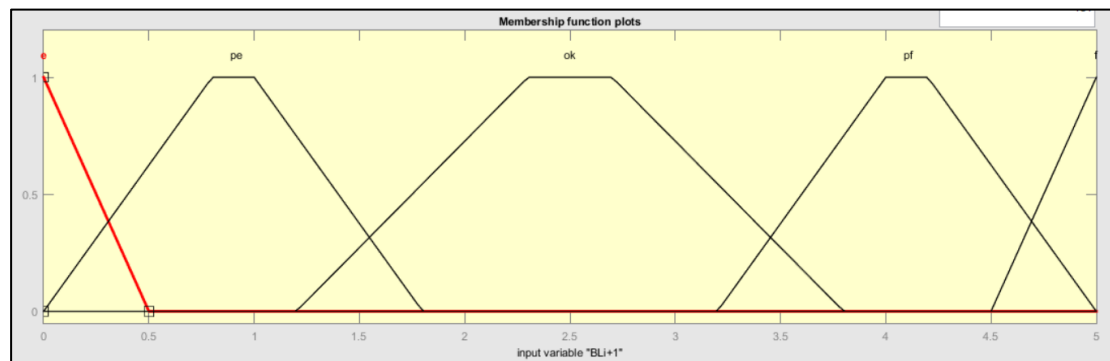
Εικόνα 3.16: Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή *BFLi1*.

Λεκτική τιμή	Σημασία λεκτικής τιμής	Παράμετροι συνάρτησης συμμετοχής	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής
e	Άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0 0.6]	trimf
pe	Σχεδόν άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0.96 1.2 2.16]	trapmf
ok	Φυσιολογικά επίπεδα χώρου εναπόθεσης	[1.44 2.76 3.24 4.56]	trapmf
pf	Σχεδόν πλήρης	[3.84 4.8 5.04 6]	trmf
f	Πλήρης χώρος εναπόθεσης	[5.4 6 6]	trimf

Πίνακας 3.3: Πληροφορίες λεκτικών τιμών για την μεταβλητή $BFLi1$ του ασαφούς ελεγκτή της μηχανής συναρμολόγησης.

Μεταβλητή εισόδου $BFLi2$: Η μεταβλητή εισόδου σχετίζεται με τα επίπεδα του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης της γραμμής B και έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με την μεταβλητή εισόδου $BFLi1$.

Μεταβλητή εισόδου BFL_{i+1} : Η μεταβλητή εισόδου εκφράζει τα επίπεδα του επόμενου χώρου εναπόθεσης. Το εύρος που κυμαίνονται οι λεκτικές τιμές είναι από 0 έως 5.



Εικόνα 3.17: Γραφική απεικόνιση συναρτήσεων συμμετοχής για την μεταβλητή BFL_{i+1} .

Λεκτική τιμή	Σημασία λεκτικής τιμής	Παράμετροι συνάρτησης συμμετοχής	Τύπος συνάρτησης συμμετοχής
e	Άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0 0.5]	trimf
pe	Σχεδόν άδειος χώρος εναπόθεσης	[0 0.8 1 1.8]	trapmf
ok	Φυσιολογικά επίπεδα χώρου εναπόθεσης	[1.2 2.3 2.7 3.8]	trapmf
pf	Σχεδόν πλήρης	[3.2 4 4.2 5]	tramf
f	Πλήρης χώρος εναπόθεσης	[4.5 5 5]	trimf

Πίνακας 3.4: Πληροφορίες λεκτικών τιμών για την μεταβλητή BFL_{i+1} του ασαφούς ελεγκτή της μηχανής συναρμολόγησης.

Οι μεταβλητές *Surplus*, *flag* και *Ri* έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με εκείνες των υπολοίπων ελεγκτών.

Για συσχέτιση των μεταβλητών του ελεγκτή συναρμολόγησης μεταξύ τους ορίστηκαν 42 κανόνες στον επεξεργαστή κανόνων.

1. If (BL_{i+1} is f) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is zero).
2. If (BL_{i1} is e) and (BL_{i+1} is f) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is zero).
3. If (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFL_{i2} is e) then (R_i is zero).
4. If (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) then (R_i is L).
5. If (BL_{i1} is f) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFL_{i2} is pe) then (R_i is N).
6. If (BL_{i1} is pe) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFL_{i2} is f) then (R_i is N).
7. If (BL_{i1} is ok) and (BL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFL_{i2} is ok) then (R_i is H).
8. If (BL_{i1} is ok) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFL_{i2} is ok) then (R_i is AH).

9. If (BLi1 is ok) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is ok) then (R_i is N)
10. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is ok) then (R_i is AL).
11. If (BLi1 is f) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is ok) then (R_i is AH).
12. If (BLi1 is ok) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is AH)
13. If (BLi1 is ok) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is f) then (R_i is H).
14. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is f) then (R_i is AH)
15. If (BLi1 is f) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is f) then (R_i is H).
16. If (Flag is zero) then (R_i is zero)
17. If (Flag is one) and (BFLi2 is pe) then (R_i is AL)
18. If (BLi1 is pe) and (Flag is one) then (R_i is AL)
19. If (BLi1 is f) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is f) then (R_i is AH).
20. If (BLi1 is f) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is f) then (R_i is H).
21. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is AH)
22. If (BLi1 is f) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is AH).
23. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is f) then (R_i is AH).
24. If (BLi1 is f) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is N).
25. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is H)
26. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is f) then (R_i is H).
27. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is H).
28. If (BLi1 is f) and (BL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is H).

29. If (BLi1 is ok) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is f) then (R_i is AH).
30. If (BLi1 is ok) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is f) then (R_i is H).
31. If (BLi1 is ok) and (BL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is f) then (R_i is H).
32. If (BLi1 is ok) and (BL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is AH).
33. If (BLi1 is f) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is ok) then (R_i is AH).
34. If (BLi1 is f) and (BL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is ok) then (R_i is H).
35. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is H).
36. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is e) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is ok) then (R_i is H).
37. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is ok) then (R_i is AH).
38. If (BLi1 is ok) and (BL_{i+1} is pe) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is AH).
39. If (BLi1 is ok) and (BL_{i+1} is ok) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is ok) then (R_i is N).
40. If (BLi1 is not e) and (BL_{i+1} is not f) and (Flag is one) and (Surplus is NB) and (BFLi2 is not e) then (R_i is H).
41. If (BLi1 is not e) and (BL_{i+1} is not f) and (Flag is one) and (Surplus is PB) and (BFLi2 is not e) then (R_i is L).
42. If (BLi1 is pf) and (BL_{i+1} is pf) and (Flag is one) and (Surplus is OK) and (BFLi2 is pf) then (R_i is L).

3.8 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

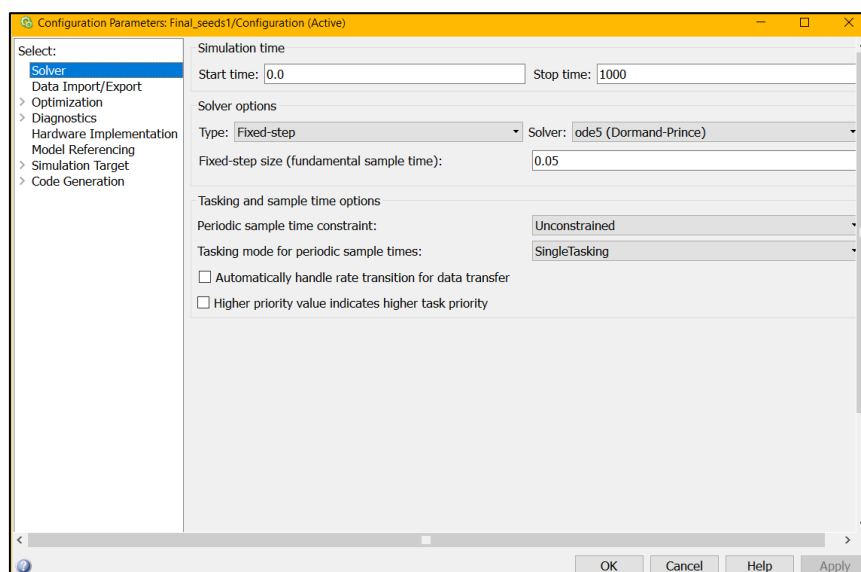
Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάστηκε το μοντέλο του δικτύου παραγωγής, τα δομικά μέρη που το αποτελούν, καθώς και ο τρόπος δράσης τους. Το μοντέλο περιλαμβάνει μία αποσυναρμολόγηση και μία συναρμολόγηση που δημιουργεί δύο παράλληλες γραμμές μηχανών.

Με την βοήθεια της εργαλειοθήκης ασαφούς λογικής κατασκευάστηκαν και προβλήθηκαν τα τρία είδη ελεγκτών του δικτύου για τις απλές μηχανές, την μηχανή αποσυναρμολόγησης και συναρμολόγησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

4.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Ο χρόνος που επιλέχθηκε για τις προσομοιώσεις ήταν 1.000 χρονικές μονάδες προσομοίωσης με σταθερό βήμα 0,05. Ως μέθοδος επίλυσης επιλέχθηκε ο τύπος πέμπτης τάξης Dormand-Prince.

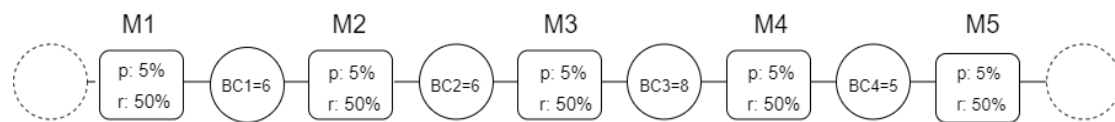


Εικόνα 4a: Παράθυρο διαλόγου παραμέτρων προσομοίωσης.

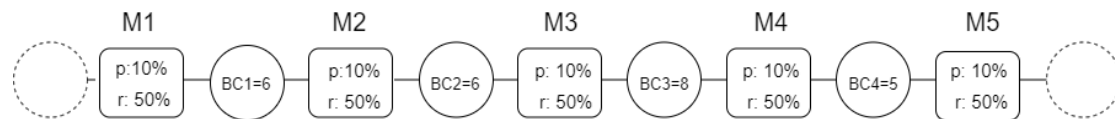
4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΥΕΛΙΞΙΑΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται τέσσερις διαφορετικές γραμμές παραγωγής ως προς την πιθανότητα βλάβης και επισκευής. Οι μηχανές γραμμής έχουν μεταξύ τους τα ίδια χαρακτηριστικά, καθώς και τις ίδιες πιθανότητες βλάβης και επισκευής. Διαφοροποιώντας το μέσο επίπεδο ευελιξίας μηχανών, δηλαδή το μέσο χρόνο επισκευής, θα εξεταστούν τα αποτελέσματα που αφορούν την απόδοση της εκάστοτε γραμμής παραγωγής.

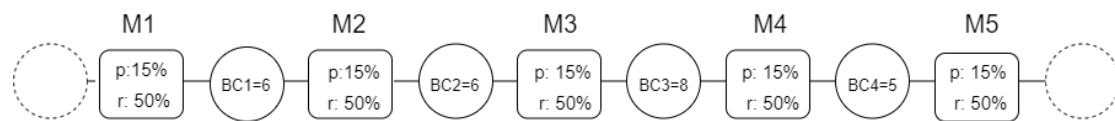
A)



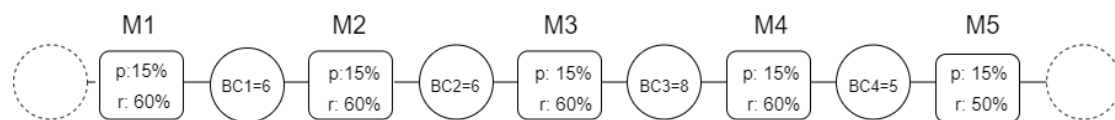
B)



Γ)



Δ)



Για κάθε μία από γραμμές παραγωγής πραγματοποιήθηκαν τέσσερις προσομοιώσεις με διαφορετικούς σπόρους εκκίνησης στις γεννήτριες τυχαίων αριθμών για την διασφάλιση της τυχαιότητας των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια εξήχθη ο μέσος όρος των τεσσάρων αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για κάθε περίπτωση, καθώς και ο μέσος όρος τους, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Με την μεταβλητή *WIP* εκφράζονται τα προϊόντα υπό επεξεργασία, με τη μεταβλητή *UTIL* εκφράζεται ο μέσος χρόνος λειτουργίας του συστήματος σε ποσοστό, με τη μεταβλητή *PROD* τα παραγόμενα τεμάχια, ενώ με τη μεταβλητή *SETUP* εκφράζεται ο μέσος χρόνος επισκευής του συστήματος.

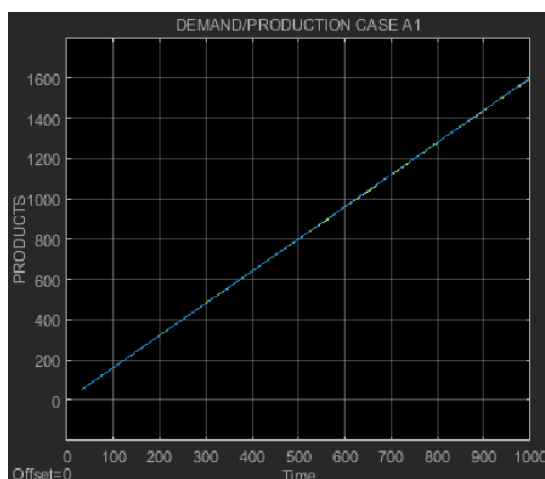
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Προσομοίωση Υπόθεση	1	2	3	4	Μέσος Όρος
A) 5% πιθ.βλάβης 50%πιθ.επισκευής	PROD 1.597	PROD 1.598	PROD 1.598	PROD 1.600	PROD 1.598 τεμάχια
	WIP 7.912	WIP 7.940	WIP 7.658	WIP 7.549	WIP 7.764 τεμάχια
	UTIL 90,52%	UTIL 90,90%	UTIL 90,96%	UTIL 90,45%	UTIL 90,71%
	SETUP 98,72	SETUP 94,90	SETUP 94,40	SETUP 99,2	SETUP 96,80 ΧΜΠ
B) 10%πιθ.βλάβης 50%πιθ.επισκευής	PROD 1.575	PROD 1.586	PROD 1.587	PROD 1.573	PROD 1.580 τεμάχια
	WIP 12.159	WIP 10.049	WIP 11.077	WIP 10.967	WIP 11.063 τεμάχια
	UTIL 83,15%	UTIL 83,38%	UTIL 83,42%	UTIL 82,93%	UTIL 83,22%
	SETUP 175,09	SETUP 173,05	SETUP 172,73	SETUP 177,52	SETUP 174,59 ΧΜΠ
Γ) 15% πιθ.βλάβης 50%πιθ.επισκευής	PROD 1.252	PROD 1.314	PROD 1.263	PROD 1.200	PROD 1.257 τεμάχια
	WIP 13.753	WIP 12.690	WIP 13.271	WIP 11.962	WIP 12.919 τεμάχια
	UTIL 76,50%	UTIL 76,85%	UTIL 76,07%	UTIL 76,30%	UTIL 76,43%
	SETUP 234,74	SETUP 236,63	SETUP 235,49	SETUP 238,6	SETUP 236,36 ΧΜΠ
Δ) 15% πιθ.βλάβης 60%πιθ.επισκευής	PROD 1.563	PROD 1.549	PROD 1.553	PROD 1.545	PROD 1.552 τεμάχια
	WIP 12.482	WIP 12.524	WIP 13.150	WIP 10.483	WIP 12.160 τεμάχια
	UTIL 81,20%	UTIL 80,95%	UTIL 80,77%	UTIL 80,54%	UTIL 80,86%
	SETUP 199,53	SETUP 202,48	SETUP 203,85	SETUP 206,0	SETUP 202,96 ΧΜΠ

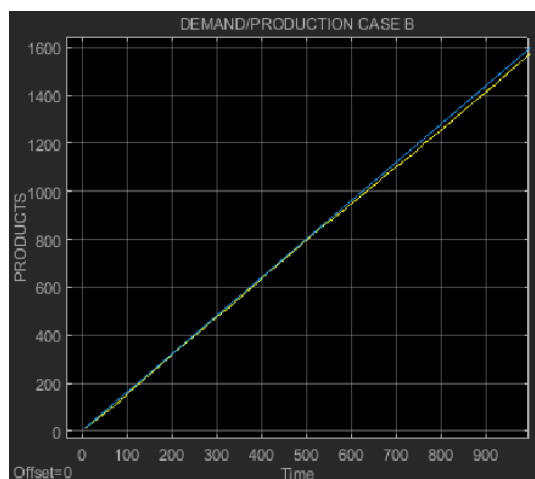
Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα τεσσάρων προσομοιώσεων των υποθέσεων για την σύγκριση γραμμών.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά τα Score της προσομοίωσης 1 για κάθε υπόθεση. Στο Score Cumulative Production/Demand διαγράφεται με μπλε χρώμα η συνολική ζήτηση και με κίτρινο χρώμα η συνολική παραγωγή. Μας επιτρέπει να ελέγξουμε κατά πόσο η συνολική παραγωγή προσεγγίζει τη συνολική ζήτηση κατά την πάροδο του χρόνου. Η τελική ζήτηση των προσομοιώσεων είναι 1.600 τεμάχια.

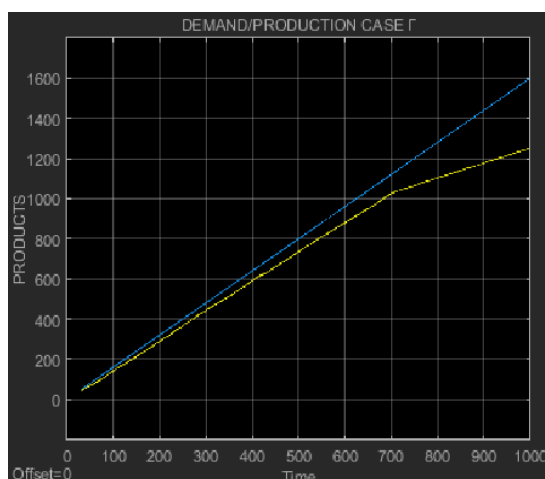
CUMULATIVE PRODUCTION/DEMAND



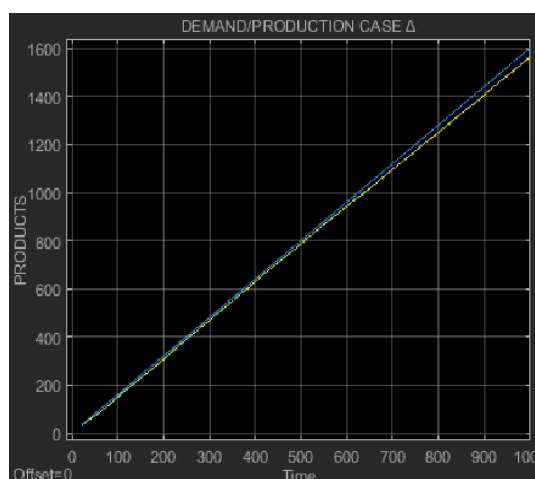
Εικόνα 4.1.1: Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης B1



Εικόνα 4.1.2: Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης A1.

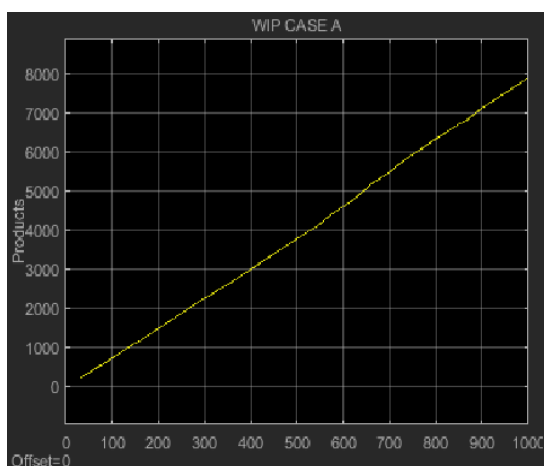


Εικόνα 4.1.3: Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης Γ1

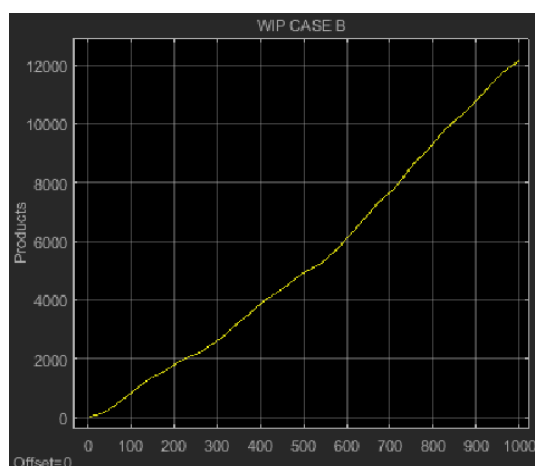


Εικόνα 4.1.4: Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης Δ1.

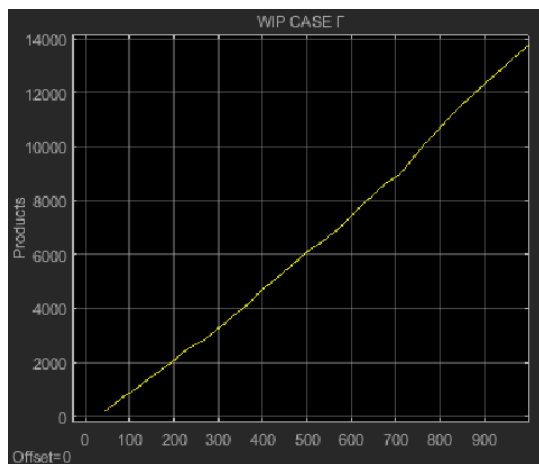
WIP



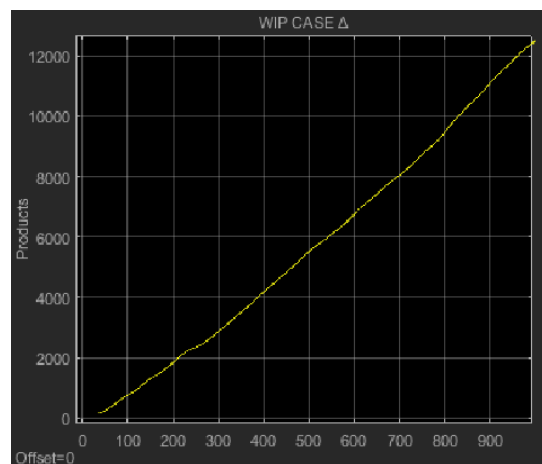
Εικόνα 4.2.1: WIP προσομοίωσης A1.



Εικόνα 4.2.2: WIP προσομοίωσης B1.

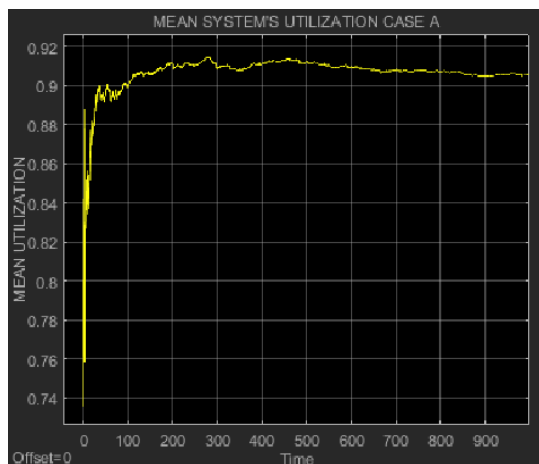


Εικόνα 4.2.3: WIP προσομοίωσης Γ1.

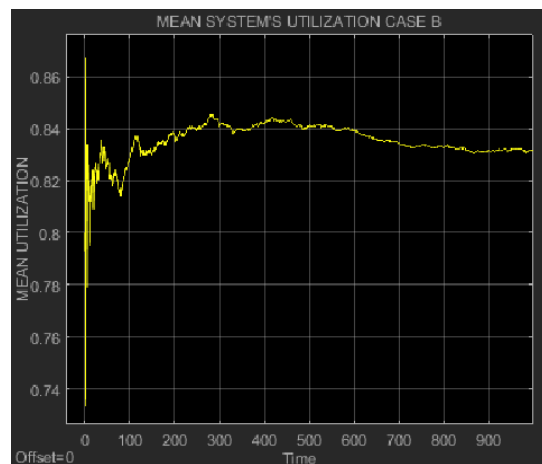


Εικόνα 4.2.4: WIP προσομοίωσης Δ1.

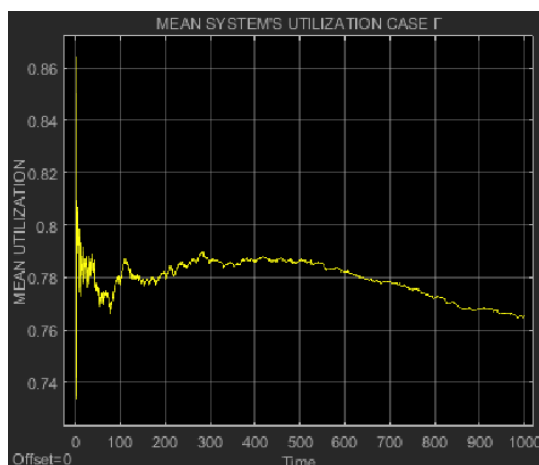
SYSTEM'S MEAN UTILIZATION



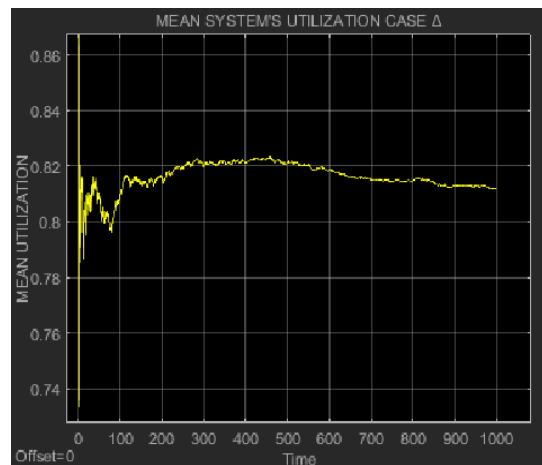
Εικόνα 4.3.1: Μέσος χρόνος
χρησιμοποίησης συστήματος
προσομοίωσης Α1.



Εικόνα 4.3.2: Μέσος χρόνος
χρησιμοποίησης συστήματος
προσομοίωσης Β1.

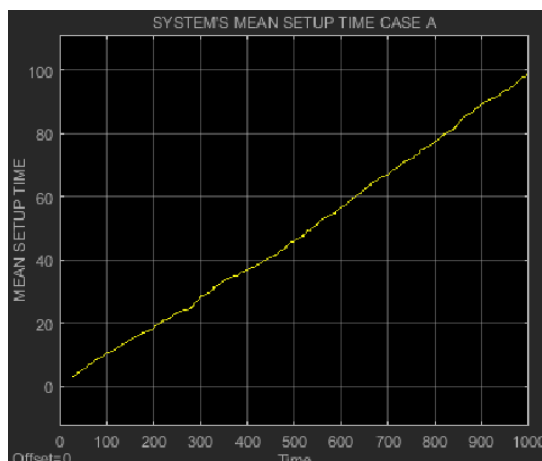


Εικόνα 4.3.3: Μέσος χρόνος
χρησιμοποίησης συστήματος
προσομοίωσης Γ1.

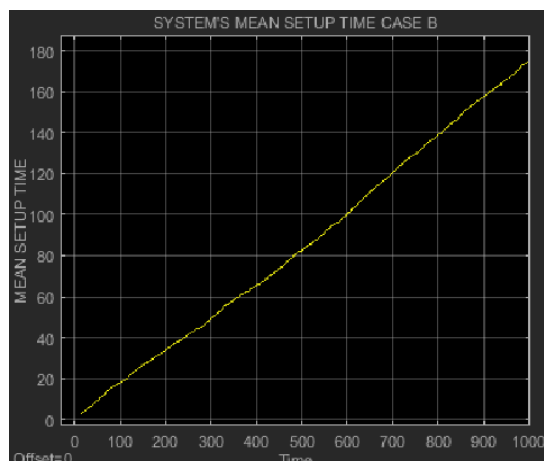


Εικόνα 4.3.4: Μέσος χρόνος
χρησιμοποίησης συστήματος
προσομοίωσης Δ1.

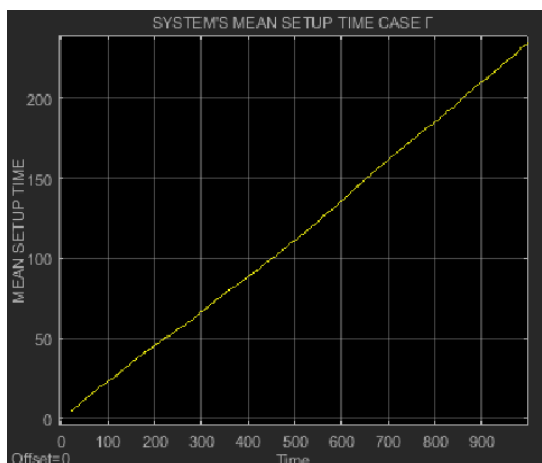
SYSTEM'S MEAN SETUP TIME



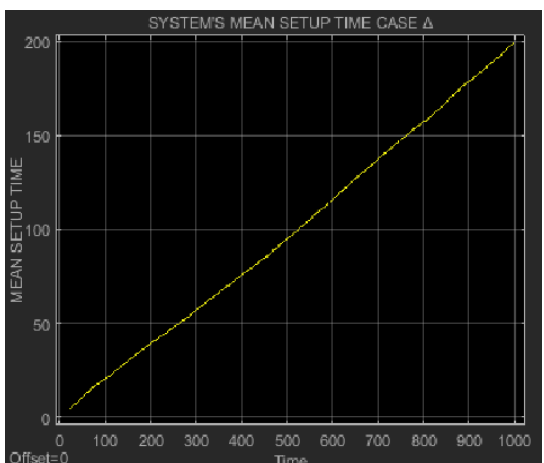
Εικόνα 4.4.1: Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης A1.



Εικόνα 4.4.2: Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης B1.



Εικόνα 4.4.3: Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης Γ1.



Εικόνα 4.4.4: Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης Δ1.

Η γραμμή της υπόθεσης A έχει τη μικρότερη πιθανότητα βλάβης, το μικρότερο χρόνο επισκευής, την καλύτερη προσέγγιση της ζήτησης και θεωρείται το πιο ευέλικτο σύστημα. Η απόδοση της ήταν η καλύτερη σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες γραμμές, διότι είχε το χαμηλότερο αριθμό προϊόντων υπό επεξεργασία στους χώρους εναπόθεσης και προσέγγισε την ορισμένη ζήτηση με μικρή απόκλιση. Αυξάνοντας κατά 5% την πιθανότητα βλάβης των μηχανών, εξετάσαμε την περίπτωση B. Σημειώθηκε αύξηση των προϊόντων υπό επεξεργασία κατά 3.299 τεμάχια, αύξηση του μέσου χρόνου επισκευής κατά 77,79 χρονικές μονάδες προσομοίωσης και μείωση του ποσοστού μέσου χρόνου λειτουργίας του συστήματος κατά 7.49%. Η απόκλιση από την τελική ζήτηση (1.600) ήταν 10 τεμάχια. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε πάλι αύξηση κατά 5% στις πιθανότητες βλάβης των μηχανών και εξετάστηκε η υπόθεση Γ.

Σε σχέση με την υπόθεση Β, τα προϊόντα υπό επεξεργασία αυξήθηκαν κατά 1.856 τεμάχια, αύξηση του μέσου χρόνου επισκευής κατά 61,77 χρονικές μονάδες προσομοίωσης και μείωση του μέσου ποσοστού λειτουργίας του συστήματος κατά 6,79%. Η ζήτηση σε αυτή την υπόθεση δεν προσεγγίστηκε. Τέλος, αυξήθηκε η πιθανότητα επισκευής των μηχανών κατά 10% και εξετάστηκε η υπόθεση Δ. Παρατηρήθηκε ελάχιστη μείωση των προϊόντων υπό επεξεργασία κατά 700 τεμάχια, μείωση του μέσου χρόνου επισκευής κατά 33,4 χρονικές μονάδες προσομοίωσης και αύξηση του ποσοστού μέσου χρόνου λειτουργίας του συστήματος κατά 4,43%. Η υπόθεση Δ σε σχέση με τη Γ παρουσίασε ελάχιστα καλύτερη απόδοση που οφείλεται στην αύξηση της πιθανότητας επισκευής. Η υπόθεση Δ είχε κατά 10% αυξημένη πιθανότητα βλάβης από την Α, αλλά και αυξημένη πιθανότητα επισκευής κατά 10%. Παρόλα αυτά, η απόδοση της δεν κατάφερε να προσεγγίσει εκείνη της βέλτιστης της υπόθεσης Α. Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την σύγκριση των παραπάνω υποθέσεων έχουν ως εξής:

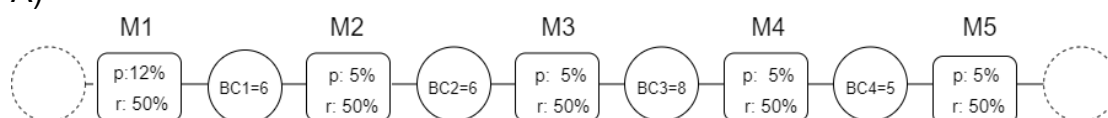
- Αύξηση της πιθανότητας βλάβης των μηχανών, δηλαδή μείωση της ευελιξίας τους και κατ' επέκταση αύξηση του μέσου χρόνου προετοιμασίας των μηχανών οδήγησε σε χειρότερες επιδόσεις του συστήματος και αδυναμία ικανοποίησης της ζήτησης. Τα προϊόντα υπό επεξεργασία αυξήθηκαν γεγονός που δεν είναι επιθυμητό για τους λόγους που αναφέρονται στο υποκεφάλαιο 1.4.
- Με τη σύγκριση των υποθέσεων Α, Γ και Δ παρατηρήθηκε ότι σημαντικότερος παράγοντας επιρροής αποτελεί η πιθανότητα βλάβης των μηχανών. Παρόλο που αυξήθηκε η πιθανότητα επισκευής στην υπόθεση Δ, το σύστημα δεν κατάφερε να προσεγγίσει την βέλτιστη απόδοση της υπόθεσης Α. Ο λόγος που συνέβη το παραπάνω είναι ότι με μειωμένη πιθανότητα βλάβης αυξάνεται και η αδιάκοπη λειτουργία των μηχανών. Με την παρουσίαση μιας βλάβης, αν και η πιθανότητα επισκευής μπορεί να είναι μεγάλη, για να πραγματοποιηθεί η επισκευή απαιτείται χρόνος κατά τον οποίο η μηχανή δεν θα λειτουργεί, γιατί θα είναι υπό επισκευή.

Με την εξέταση των περιπτώσεων τονίζεται η σημαντικότητα που έχει η έγκαιρη συντήρηση του βιομηχανικού εξοπλισμού. Κάθε επιχείρηση οφείλει να αναζητήσει τη στρατηγική συντήρησης που θα διασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία, την μέγιστη παραγωγικότητα και την βέλτιστη ποιότητα προϊόντων. Έτσι, θα μειώσει αποτελεσματικά το κόστος λειτουργίας της, θα βελτιώσει την απόδοση της, θα ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στη ζήτηση και θα αυξάνει την αξιοπιστία της.

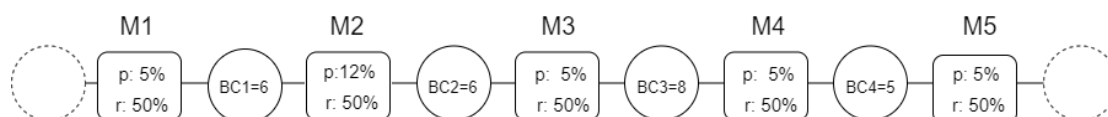
4.3 ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΛΙΓΟΤΕΡΗΣ ΕΥΕΛΙΚΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΝΤΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Παρακάτω διατίθεται μία γραμμή παραγωγής και εξετάζεται η βέλτιστη θέση της λιγότερο ευέλικτης μηχανής. Τέσσερις μηχανές της γραμμής παραγωγής έχουν πιθανότητα βλάβης 5% και πιθανότητα επισκευής 50%, ενώ μία μηχανή έχει πιθανότητα βλάβης 12% και πιθανότητα επισκευής 50%. Εξετάστηκε η τοποθέτηση της μηχανής στις θέσεις 1, 2, 3 και 5.

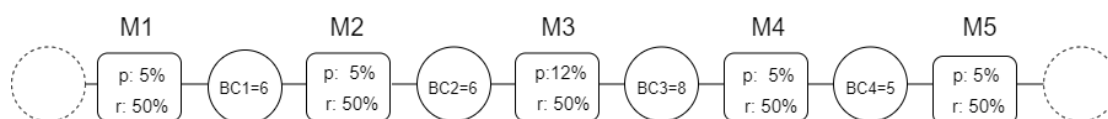
A)



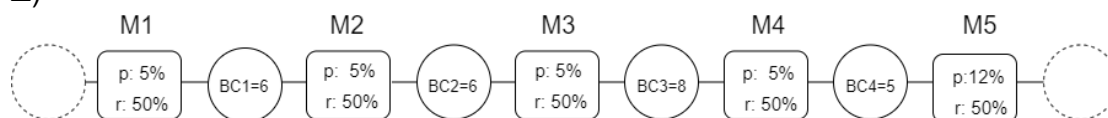
B)



Γ)



Δ)



Για κάθε υπόθεση πραγματοποιήθηκαν τέσσερις προσομοιώσεις με διαφορετικούς σπόρους εκκίνησης στις γεννήτριες τυχαίων αριθμών για την διασφάλιση της τυχαιότητας των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια, εξήχθη ο μέσος όρος των τεσσάρων αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για κάθε περίπτωση, καθώς και ο μέσος όρος τους, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.

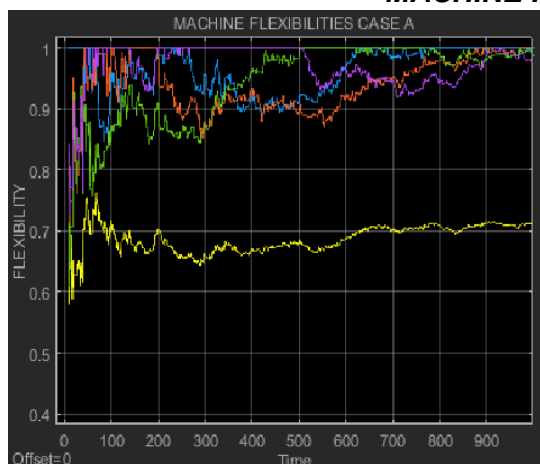
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Προσομοίωση	1	2	3	4	Μέσος Όρος
Υπόθεση					
Α) ΘΕΣΗ 1	<i>PROD</i> 1.590	<i>PROD</i> 1.597	<i>PROD</i> 1.583	<i>PROD</i> 1.596	<i>PROD</i> 1.592 τεμάχια
	<i>WIP</i> 6.201	<i>WIP</i> 6.123	<i>WIP</i> 5.188	<i>WIP</i> 5.633	<i>WIP</i> 5.786 τεμάχια
	<i>UTIL</i> 88,70%	<i>UTIL</i> 89,36%	<i>UTIL</i> 89,18%	<i>UTIL</i> 89,12%	<i>UTIL</i> 89,09%
	<i>SETUP</i> 117,76	<i>SETUP</i> 114,11	<i>SETUP</i> 113,14	<i>SETUP</i> 113,79	<i>SETUP</i> 114,7 ΧΜΠ
Β) ΘΕΣΗ 2	<i>PROD</i> 1.587	<i>PROD</i> 1.589	<i>PROD</i> 1.575	<i>PROD</i> 1.596	<i>PROD</i> 1.586 τεμάχια
	<i>WIP</i> 9.429	<i>WIP</i> 8.169	<i>WIP</i> 7.611	<i>WIP</i> 8.536	<i>WIP</i> 8.436 τεμάχια
	<i>UTIL</i> 88,54%	<i>UTIL</i> 89,08%	<i>UTIL</i> 90,40%	<i>UTIL</i> 89,36%	<i>UTIL</i> 88,34%
	<i>SETUP</i> 119,34	<i>SETUP</i> 113,72	<i>SETUP</i> 122,97	<i>SETUP</i> 110,34	<i>SETUP</i> 116,59 ΧΜΠ
Γ) ΘΕΣΗ 3	<i>PROD</i> 1.581	<i>PROD</i> 1.597	<i>PROD</i> 1.601	<i>PROD</i> 1.593	<i>PROD</i> 1.593 τεμάχια
	<i>WIP</i> 10.728	<i>WIP</i> 9.918	<i>WIP</i> 9.597	<i>WIP</i> 9.266	<i>WIP</i> 9.877 τεμάχια
	<i>UTIL</i> 88,54%	<i>UTIL</i> 89,13%	<i>UTIL</i> 88,57%	<i>UTIL</i> 89,19%	<i>UTIL</i> 88,86%
	<i>SETUP</i> 119,32	<i>SETUP</i> 113,15	<i>SETUP</i> 118,8	<i>SETUP</i> 112,93	<i>SETUP</i> 116,05 ΧΜΠ
Δ) ΘΕΣΗ 5	<i>PROD</i> 1.574	<i>PROD</i> 1.590	<i>PROD</i> 1.585	<i>PROD</i> 1.586	<i>PROD</i> 1.583 τεμάχια
	<i>WIP</i> 14.961	<i>WIP</i> 12.624	<i>WIP</i> 15.036	<i>WIP</i> 11.563	<i>WIP</i> 13.484 τεμάχια
	<i>UTIL</i> 88,40%	<i>UTIL</i> 89,17%	<i>UTIL</i> 88,42%	<i>UTIL</i> 88,94%	<i>UTIL</i> 88,76%
	<i>SETUP</i> 120,48	<i>SETUP</i> 112,94	<i>SETUP</i> 120,38	<i>SETUP</i> 115,5	<i>SETUP</i> 117,02 ΧΜΠ

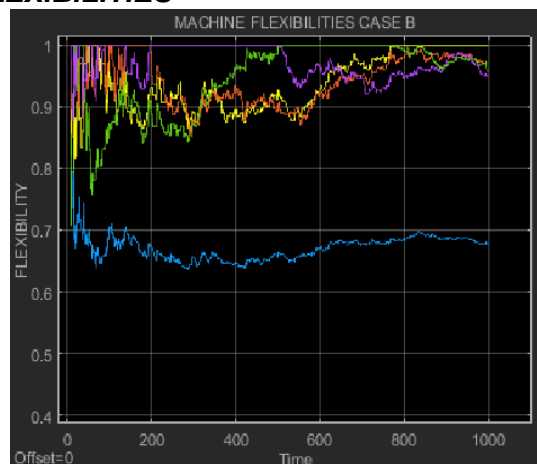
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα των τεσσάρων υποθέσεων για σύγκριση διαφορετικών τοποθετήσεων της λιγότερο ευέλικτης μηχανής.

Στα παρακάτω διαγράμματα για τις ευελιξίες μηχανών σε κάθε υπόθεση, διαγράφεται με κίτρινο χρώμα η μηχανή 1, με μπλε η μηχανή 2, με πορτοκαλί η μηχανή 3 και με μωβ η 5.

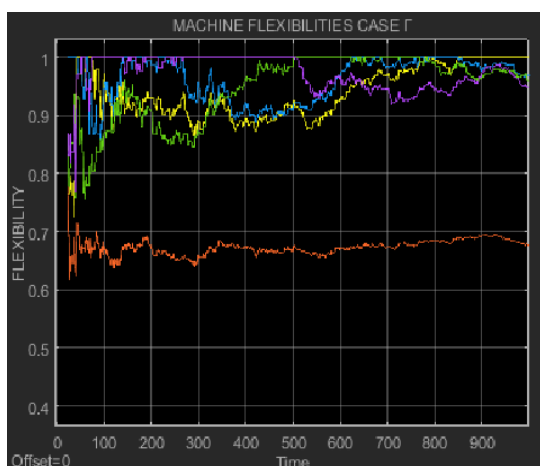
MACHINE FLEXIBILITIES



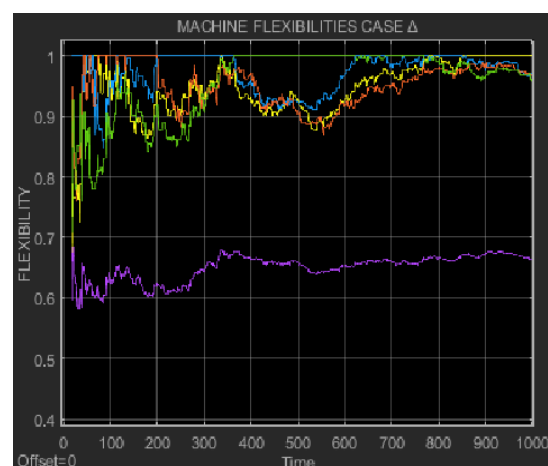
Εικόνα 4.5.1: Ευελιξίες μηχανών προσομοίωσης A1.



Εικόνα 4.5.2: Ευελιξίες μηχανών προσομοίωσης B1.

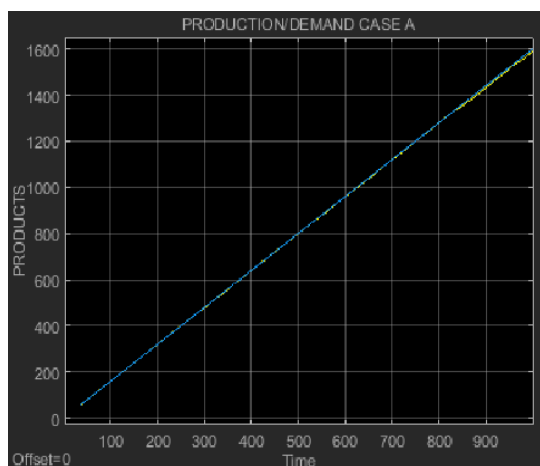


Εικόνα 4.5.3: Ευελιξίες μηχανών προσομοίωσης Γ1.

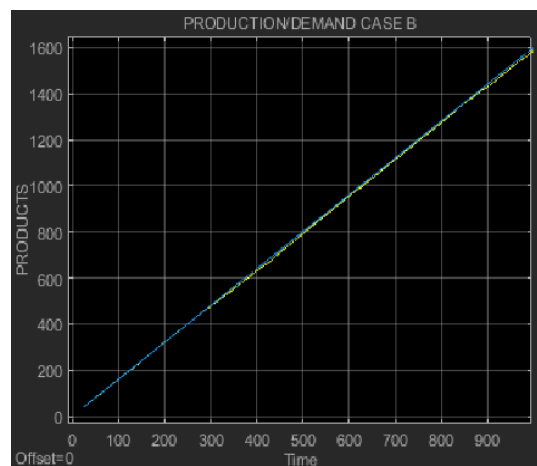


Εικόνα 4.5.4: Ευελιξίες μηχανών προσομοίωσης Δ1.

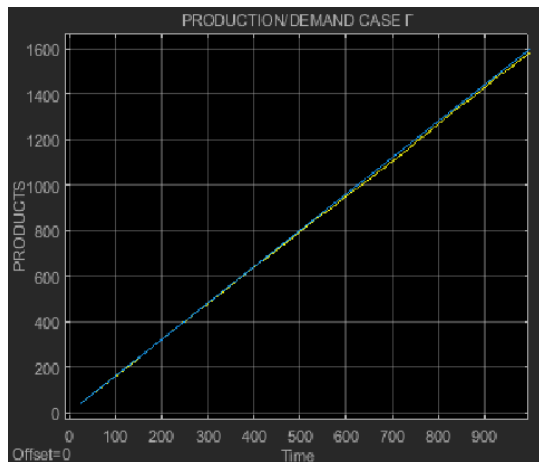
CUMULATIVE PRODUCTION/DEMAND



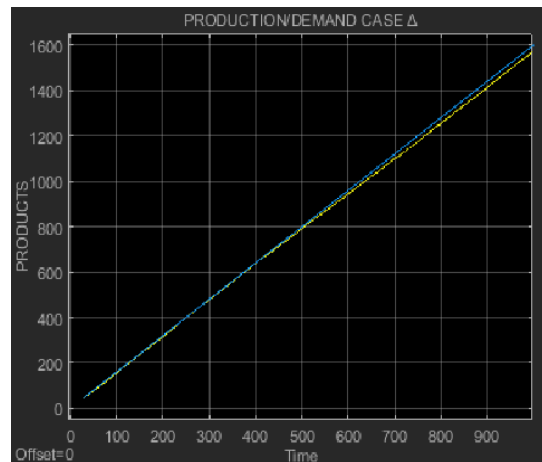
Εικόνα 4.6.1: Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης A1.



Εικόνα 4.6.2: Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης B1

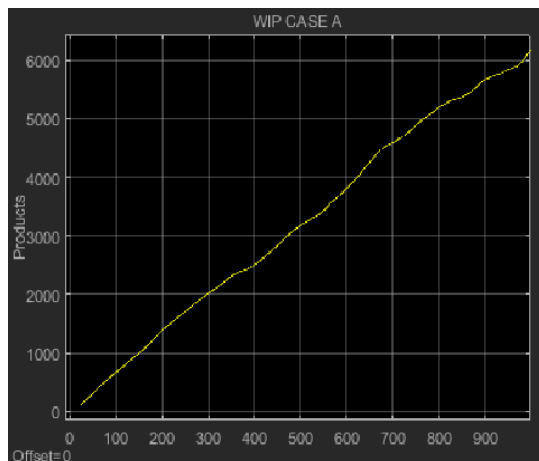


Εικόνα 4.6.3: Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης Γ1.

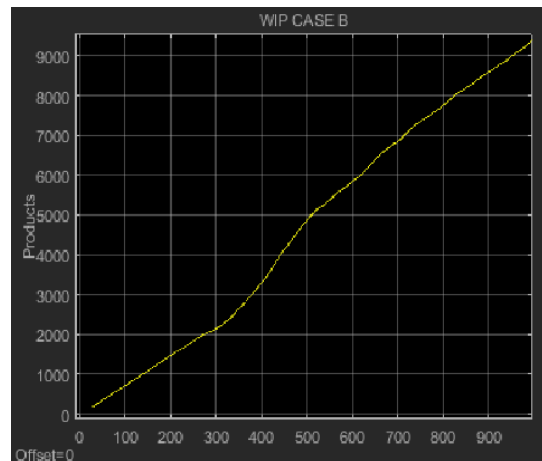


Εικόνα 4.6.4: Συνολική παραγωγή και ζήτηση προσομοίωσης Δ1

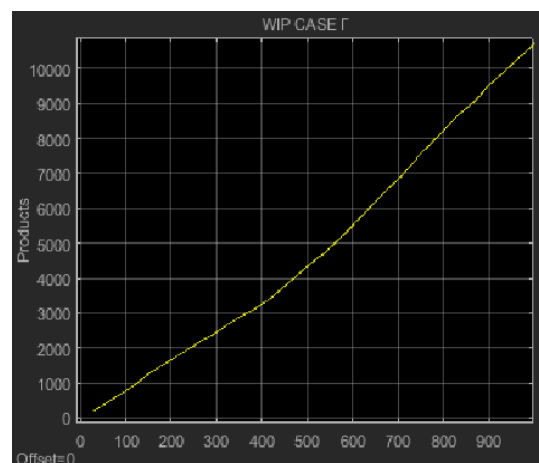
WIP



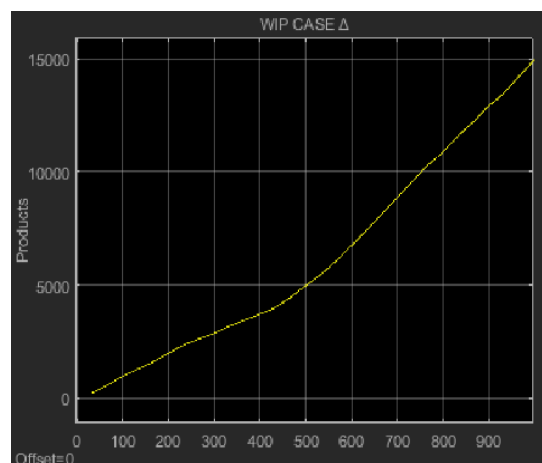
Εικόνα 4.7.1: WIP προσομοίωσης A1.



Εικόνα 4.7.2: WIP προσομοίωσης B1.

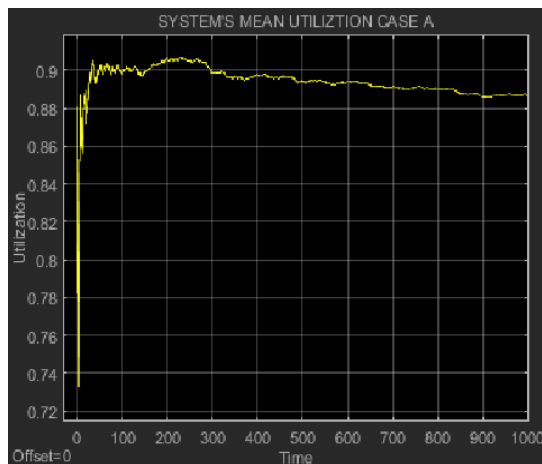


Εικόνα 4.7.3: WIP προσομοίωσης Γ1.

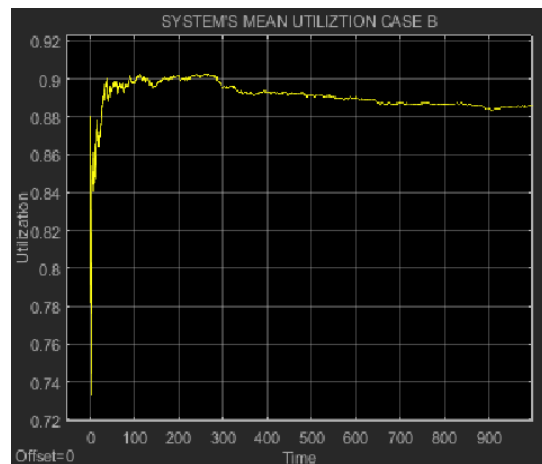


Εικόνα 4.7.4: WIP προσομοίωσης Δ1.

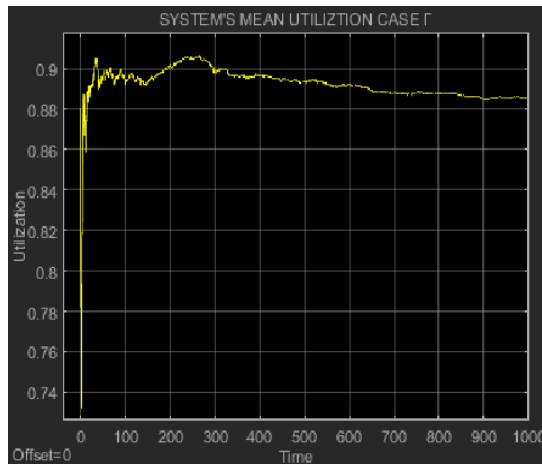
SYSTEM'S MEAN UTILIZATION



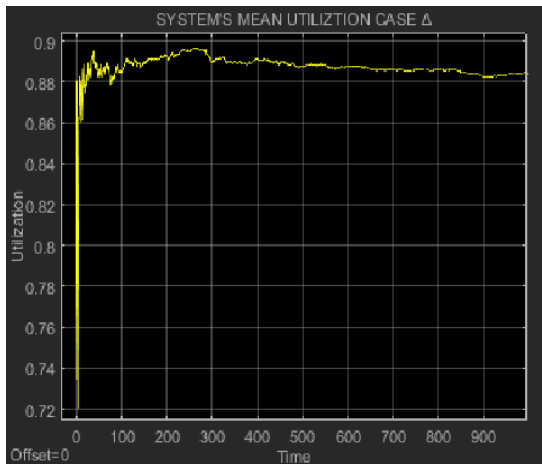
Εικόνα 4.8.1: Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης A1.



Εικόνα 4.8.2: Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης B1.

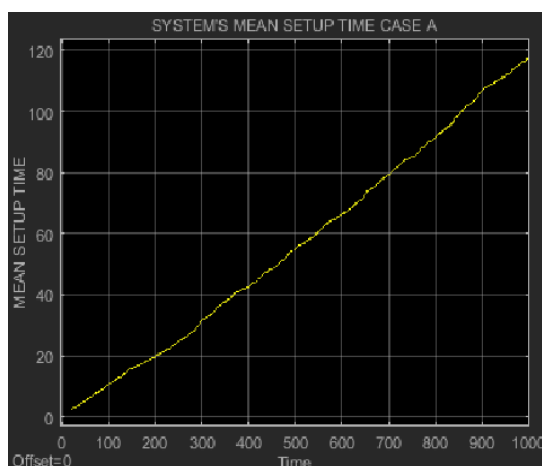


Εικόνα 4.8.3: Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης Γ1.

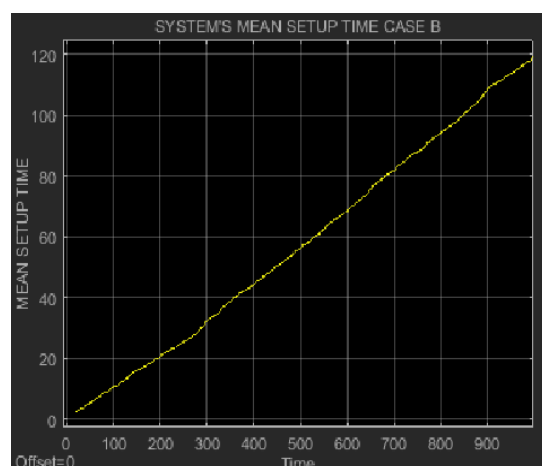


Εικόνα 4.8.4: Μέση χρησιμοποίηση συστήματος προσομοίωσης Δ1.

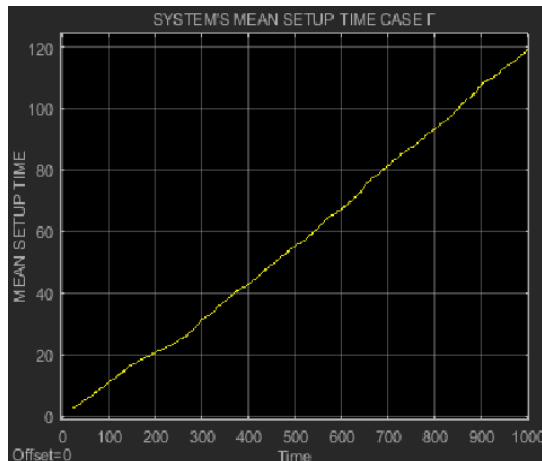
SYSTEM'S MEAN SETUP TIME



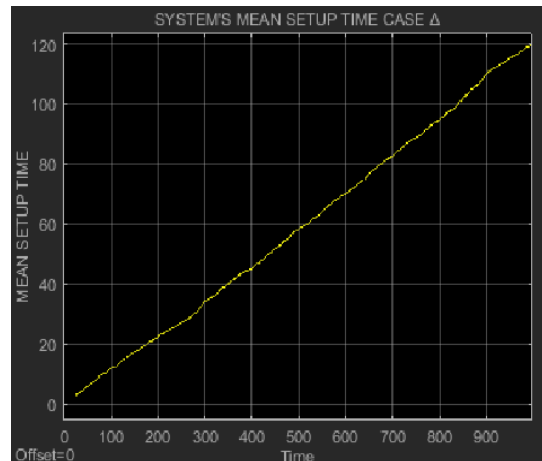
Εικόνα 4.9.1: Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης A1.



Εικόνα 4.9.2: Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης B1.



Εικόνα 4.9.3: Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης Γ1.



Εικόνα 4.9.4: Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος προσομοίωσης Δ1.

Σύμφωνα με τον Πίνακα αποτελεσμάτων 4.2 εξετάζοντας τα αποτελέσματα των υποθέσεων ως προς το μέσο χρόνο λειτουργίας του συστήματος και τον μέσο χρόνο επισκευής του συστήματος δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διακυμάνσεις. Έτσι, για τη σύγκριση των υποθέσεων εξετάστηκαν τα προϊόντα υπό επεξεργασία και η ικανοποίηση της ζήτησης. Οι υποθέσεις Β και Δ, απορρίφθηκαν ως βέλτιστες, διότι δεν προσέγγιζαν την ζήτηση 1.600 τεμαχίων. Οι υποθέσεις Α και Γ, είχαν περίπου ίση απόδοση προσέγγισης της ζήτησης, με αποτέλεσμα να συγκριθούν τελικά ως προς τα προϊόντα υπό επεξεργασία. Ως βέλτιστη επιλέχθηκε η υπόθεση Α, δηλαδή η τοποθέτηση της λιγότερο ευέλικτης μηχανής στη θέση 1, καθώς είχε το μικρότερο αριθμό προϊόντων υπό επεξεργασία. Γενικότερα, η μετακίνηση της ελαττωματικής μηχανής σταδιακά προς το τέλος της γραμμής, παρατηρήθηκε ότι δημιουργούσε ύφεση στην απόδοση του συστήματος. Με την βλάβη της μηχανής, ο προηγούμενος χώρος εναπόθεσης τείνει να αποκλειστεί και κατά επέκταση όλοι οι υπόλοιποι χώροι που βρίσκονται πριν από αυτόν. Όσοι περισσότεροι είναι οι χώροι πριν την μη λειτουργική μηχανή, τόσο αυξάνονται οι πιθανότητες αύξησης των προϊόντων υπό επεξεργασία.

Σε ένα σύστημα παραγωγής τις περισσότερες φορές δεν είναι εφικτή η μετακίνηση μιας ελαττωματικής μηχανής στην θέση που επιθυμούμε. Η βλάβη μπορεί να προκύψει σε οποιαδήποτε θέση που βρίσκεται η μηχανή. Με την ύπαρξη παραλλήλων μηχανών και τη δημιουργία ενός δικτύου παραγωγής, δηλαδή την ύπαρξη ευελιξίας δρομολόγησης, οι ελεγκτές μπορούν να προσαρμοστούν στις αλλαγές και να μειωθεί η ζημιά που θα υποστεί η επιχείρηση.

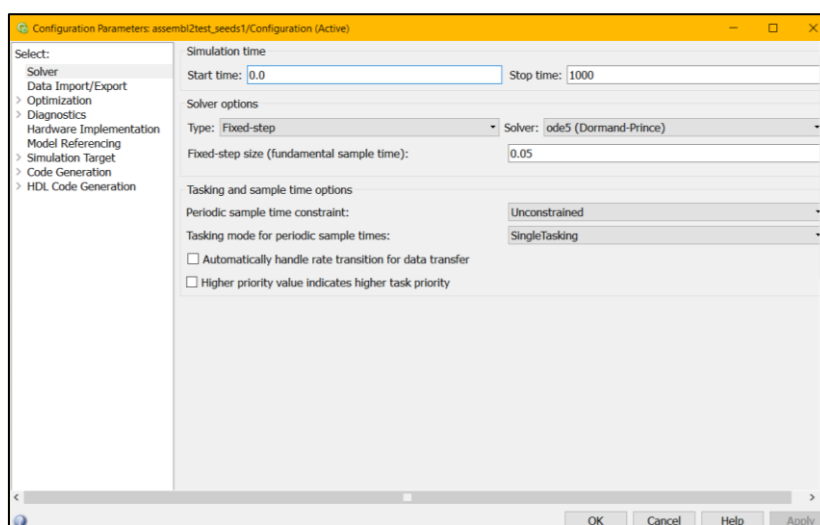
4.4 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στο Κεφάλαιο 4 εξετάστηκαν τα αποτελέσματα προσομοιώσεων για διαφορετικά σενάρια λειτουργίας ως προς την ευελιξία των μηχανών και την τοπολογία τους. Πρώτο αντικείμενο μελέτης υπήρξε η επίδραση των τυχαίων βλαβών και κατά επέκταση της ευελιξίας των μηχανών συνολικά στην απόδοση της γραμμής παραγωγής. Στη συνέχεια, ερευνήθηκε η επίδραση της θέσης που βρισκόταν η λιγότερο ευέλικτη μηχανή στη γραμμή παραγωγής και εξήχθησαν τα συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

5.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι παράμετροι προσομοίωσης του δικτύου παραγωγής ήταν ίδιες με εκείνες της γραμμής παραγωγής. Ο χρόνος προσομοίωσης ήταν 1.000 χρονικές μονάδες προσομοίωσης με σταθερό βήμα 0,05. Το μοντέλο δικτύου παραγωγής για τους σπόρους εκκίνησης των προσομοιώσεων βρίσκεται στα αρχεία 'Network_seeds1.slx', 'Network_seeds2.slx', 'Network_seeds3.slx'.

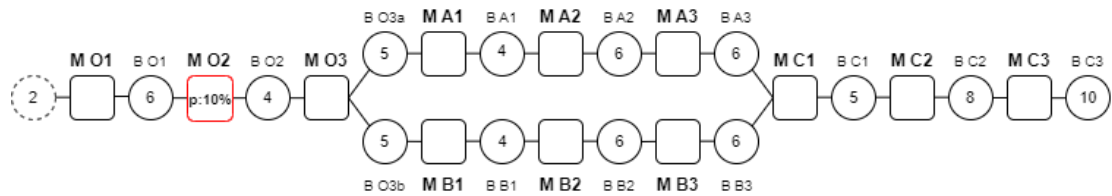


Εικόνα 5.1: Παράμετροι προσομοίωσης δικτύου παραγωγής.

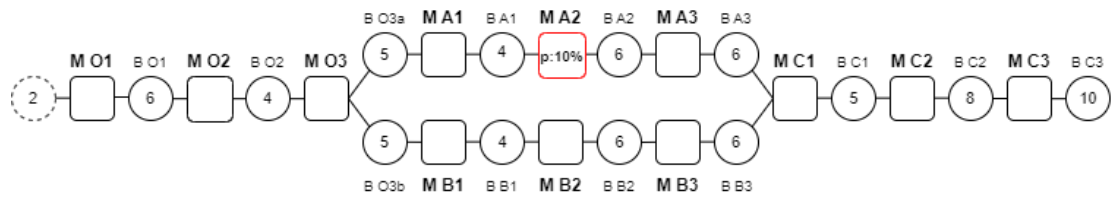
5.2 ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΕΥΕΛΙΚΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΝΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάστηκε η τοποθέτηση της λιγότερο ευέλικτης μηχανής του δικτύου παραγωγής σε τέσσερις διαφορετικές θέσεις. Η μηχανή αυτή είχε πιθανότητα βλάβης 12% και πιθανότητα επισκευής 50%. Οι υπόλοιπες μηχανές είχαν πιθανότητα βλάβης 3% και πιθανότητα επισκευής 50%. Σκοπός των υποθέσεων ήταν η μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος όσον αφορά την δρομολόγηση των προϊόντων και την διαχείριση των αποθηκευτικών χώρων στη παρουσία βλάβης, αλλά και η εξέταση της απόδοσης. Τοποθέτηση της λιγότερο ευέλικτης μηχανής έγινε στη μηχανή O2 (υπόθεση Α), στην μηχανή A2 (υπόθεση Β), στην μηχανή B2 (υπόθεση Γ) και στην μηχανή C2 (υπόθεση Δ), όπως παρουσιάζεται ακολούθως.

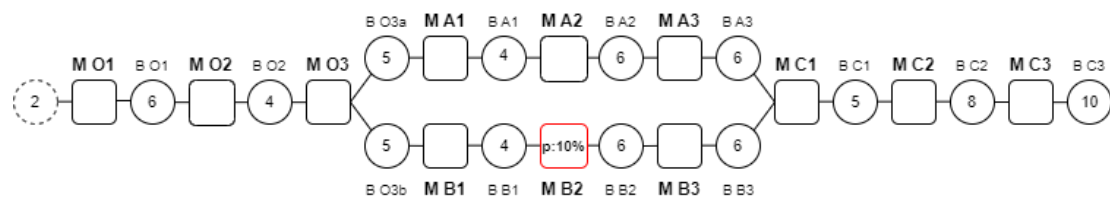
A)



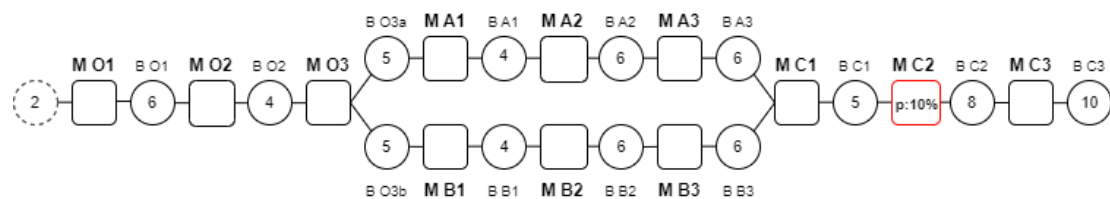
B)



Γ)



Δ)



Για κάθε υπόθεση πραγματοποιήθηκαν τρεις προσομοιώσεις με διαφορετικούς σπόρους εκκίνησης στις γεννήτριες τυχαίων αριθμών για την διασφάλιση της τυχαιότητας. Τελικώς, εξήχθη ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα που εξετάστηκαν αφορούσαν τα επίπεδα των προϊόντων υπό επεξεργασία συνολικά, αλλά και ανά μέρη του δικτύου, τα τελικά παραγόμενα τεμάχια ως προς τη ζήτηση, το μέσο ποσοστό χρόνου λειτουργίας του συστήματος και το μέσο ποσοστό των επιπέδων κάθε χώρου εναπόθεσης. Έτσι, ήταν εφικτή η παρακολούθηση της συμπεριφοράς των ελεγκτών για την δρομολόγηση των προϊόντων και η γενικότερη

απόδοση του συστήματος, υπό την παρουσία των διαφορετικών βλαβών. Τα τελικά δεδομένα προβάλλονται στον Πίνακα 5.4.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 1

ΥΠΟΘΕΣΗ		ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ %									
A) O2 p:10% r: 50%	WIP 15.539	PROD 1.600	O1 37,5	O2 10,6	O3a	A1	A2	A3	C1 14,6	C2 11,3	C3 1,87
	WIP O 2.676				17,4	28,8	19,2	42,9			
	WIP A/B 5.521	UTIL 93,5 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 1.820				18,3	23,1	20,2	41,2			
B) A2 p:10% r: 50%	WIP 17.379	PROD 1.600	O1 18,4	O2 21,5	O3a	A1	A2	A3	C1 13,7	C2 12,9	C3 0,2
	WIP O 2.210				29,5	56,7	13,2	38,0			
	WIP A/B 6.750	UTIL 93,4 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 1.760				21,5	22,5	23,9	56,7			
Γ) B2 p:10% r: 50%	WIP 16.779	PROD 1.599	O1 19,7	O2 23,3	O3a	A1	A2	A3	C1 15,0	C2 12,0	C3 1,02
	WIP O 2.116				20,9	24,2	20,1	53,5			
	WIP A/B 6.425	UTIL 93,4 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 1.813				24,5	45,8	16,3	40,0			
Δ) C2 p:10% r: 50%	WIP 17.247	PROD 1.598	O1 19,5	O2 22,8	O3a	A1	A2	A3	C1 53,9	C2 11,8	C3 0,5
	WIP O 2.084				21,4	24,1	19,4	43,3			
	WIP A/B 5.740	UTIL 93,4 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 3.683				22,1	23,4	20,6	41,0			

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα 1^{ης} προσομοίωσης για κάθε υπόθεση.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 2

ΥΠΟΘΕΣΗ		ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ %									
A) O2 p:10% r: 50%	WIP 16.100	PROD 1.600	O1 44,1	O2 7,2	O3a	A1	A2	A3	C1 14,4	C2 11,4	C3 1,3
	WIP O 2.933				16,9	24,0	20,6	44,4			
	WIP A/B 5.701	UTIL 93,2 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 1.766				16,3	24,9	20,0	44,9			
B) A2 p:10% r: 50%	WIP 17.634	PROD 1.600	O1 19,5	O2 21,8	O3a	A1	A2	A3	C1 15,4	C2 11,5	C3 0,54
	WIP O 2.040				29,1	48,2	15,8	43,2			
	WIP A/B 6.926	UTIL 93,1 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 1.742				21,6	25,6	24,0	56,3			
Γ) B2 p:10% r: 50%	WIP 17.981	PROD 1.600	O1 19,4	O2 21,6	O3a	A1	A2	A3	C1 15,0	C2 12,0	C3 0,7
	WIP O 2.032				22,4	25,8	26,1	56,2			
	WIP A/B 7.085	UTIL 93,2 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 1.779				31,7	47,4	16,6	43,4			
Δ) C2 p:10% r: 50%	WIP 18.656	PROD 1.599	O1 19,4	O2 21,7	O3a	A1	A2	A3	C1 73,4	C2 11,8	C3 0,18
	WIP O 2.032				22,1	24,3	44,3	20,2			
	WIP A/B 5.988	UTIL 93,0 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 4.647				21,6	20,9	25,4	44,7			

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα 2^{ης} προσομοίωσης για κάθε υπόθεση.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 3

ΥΠΟΘΕΣΗ		ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ %									
A) O2 p:10% r: 50%	WIP 16.828	PROD 1.599	O1	O2	O3a	A1	A2	A3	C1	C2	C3
	WIP O 3.491				21,1	22,2	23,8	42,0			
	WIP A/B 5.801	UTIL 93,1 %	26,8	15,4	O3b	B1	B2	B3	15,5	12,9	0,64
	WIP C 1.734				18,5	21,2	18,4	50,3			
B) A2 p:10% r: 50%	WIP 20.045	PROD 1.597	O1	O2	O3a	A1	A2	A3	C1	C2	C3
	WIP O 2.142				44,3	60,8	16,2	41,0			
	WIP A/B 8.079	UTIL 92,8 %	20,4	23,0	O3b	B1	B2	B3	14,0	12,7	0,27
	WIP C 1.744				23,4	24,9	31,0	69,5			
Γ) B2 p:10% r: 50%	WIP 17.440	PROD 1.599	O1	O2	O3a	A1	A2	A3	C1	C2	C3
	WIP O 2.187				21,9	25,7	21,8	55,6			
	WIP A/B 6.767	UTIL 93,0 %	20,5	24,0	O3b	B1	B2	B3	13,7	12,4	0,44
	WIP C 1.719				25,6	46,5	15,9	44,5			
Δ) C2 p:10% r: 50%	WIP 17.305	PROD 1.599	O1	O2	O3a	A1	A2	A3	C1	C2	C3
	WIP O 2.159				22,3	25,6	21,2	45,0			
	WIP A/B 6.109	UTIL 93,0 %	20,3	23,5	O3b	B1	B2	B3	39,0	12,0	0,19
	WIP C 2.928				23,0	23,7	20,3	46,6			

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα 3^{ης} προσομοίωσης για κάθε υπόθεση.

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΥΠΟΘΕΣΗ	ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ %										
A) O2 p:10% r: 50%	WIP 16.155	PROD 1.599	O1 36,1	O2 11,1	O3a	A1	A2	A3	C1 14,8	C2 11,9	C3 1,27
	WIP O 3.033				18,5	25,0	21,2	43,1			
	WIP A/B 5.674	UTIL 93,3 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 1.773				17,7	23,1	19,5	45,5			
B) A2 p:10% r: 50%	WIP 18.352	PROD 1.599	O1 19,4	O2 22,1	O3a	A1	A2	A3	C1 14,4	C2 12,4	C3 0,33
	WIP O 2.130				34,3	55,2	15,1	40,7			
	WIP A/B 7.251	UTIL 93,1 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 1.748				22,9	24,3	26,3	60,8			
Γ) B2 p:10% r: 50%	WIP 17.400	PROD 1.599	O1 19,9	O2 23,0	O3a	A1	A2	A3	C1 14,6	C2 12,1	C3 0,72
	WIP O 2.111				21,7	25,2	22,7	55,1			
	WIP A/B 6.759	UTIL 93,0 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 1.770				27,3	46,6	16,3	42,6			
Δ) C2 p:10% r: 50%	WIP 17.736	PROD 1.598	O1 19,7	O2 22,5	O3a	A1	A2	A3	C1 55,4	C2 11,9	C3 0,3
	WIP O 2.091				21,9	24,7	28,3	36,2			
	WIP A/B 5.945	UTIL 93,1 %			O3b	B1	B2	B3			
	WIP C 3.752				22,2	22,7	22,1	44,1			

Πίνακας 5.4: Μέσος όρος αποτελεσμάτων προσομοιώσεων των υποθέσεων για τη μελέτη δικτύου παραγωγής.

Εκτιμώντας ολιστικά τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.4, καλύτερη απόδοση με μικρή διαφορά σημείωσε η υπόθεση Α, δηλαδή βλάβη πιθανότητας 10% στην μηχανή Ο2.

Εξετάζοντας τις παραπάνω υποθέσεις ως προς το μέσο ποσοστό χρόνου λειτουργίας του συστήματος και τα παραγόμενα τεμάχια ως προς τη ζήτηση, δεν σημειώθηκαν σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ τους στα αποτελέσματα. Οι υποθέσεις Α, Β και Γ σημείωσαν 1.599 παραγόμενα τεμάχια κατά μέσο όρο, ενώ η υπόθεση Δ 1.598 παραγόμενα τεμάχια κατά μέσο όρο.

Τα λιγότερα προϊόντα υπό επεξεργασία που αριθμήθηκαν σε όλες τις προσομοιώσεις ήταν στην υπόθεση Α. Με την μετακίνηση της βλάβης στις παράλληλες μηχανές Α2, Β2 (υποθέσεις Β και Γ), διαπιστώθηκε μικρή αύξηση των προϊόντων υπό επεξεργασία σε σχέση με την υπόθεση Α. Στην υπόθεση Δ του δικτύου παραγωγής, σε αντίθεση με την συμπεριφορά της γραμμής παραγωγής, δεν καταγράφηκε σημαντική αύξηση του *WIP*.

Το πλήθος των προϊόντων υπό επεξεργασία του δικτύου εξετάστηκε και ανά μέρος. Οι αποθηκευτικοί χώροι ΒΟ1 και ΒΟ2 αποτελούσαν το *WIP* της γραμμής Ο, οι αποθηκευτικοί χώροι Ο3α, Α1, Α2 και Α3 της γραμμής Α, οι αποθηκευτικοί χώροι ΒΟ3β, Β1, Β2 και Β3 της γραμμής Β, ενώ οι C1, C2 και C3 το *WIP* της γραμμής C. Οι ελεγκτές του συστήματος σε όλες τις προσομοιώσεις προσαρμόζαν τους ρυθμούς παραγωγής με αποτέλεσμα το *WIP* της γραμμής Α να είναι ίσο με της Β. Με την εμφάνιση βλαβών σε ένα μέρος του δικτύου, το αντίστοιχο *WIP* του μέρους παρουσίαζε αύξηση.

Στη συνέχεια, ελέγχθηκε η συμπεριφορά των ελεγκτών και η δρομολόγηση των προϊόντων σε κάθε υπόθεση με βάση το μέσο ποσοστό της στάθμης κάθε χώρου. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται τα *score COMPARE Ο3Α-Ο3Β*, *COMPARE Α1-Β1*, *COMPARE Α2-Β2* και *COMPARE Α3-Β3* της 1^{ης} προσομοίωσης, που βρίσκονται στο υποσύστημα *DIAGNOSTICS SUBSYSTEM*. Τα παραπάνω *score* δείχνουν την σχέση που έχουν οι αποθηκευτικοί χώροι της γραμμής Α με εκείνους της γραμμής Β. Με κίτρινο χρώμα σημειώνονται τα επίπεδα των χώρων της γραμμής Α, ενώ με μπλε της Β.

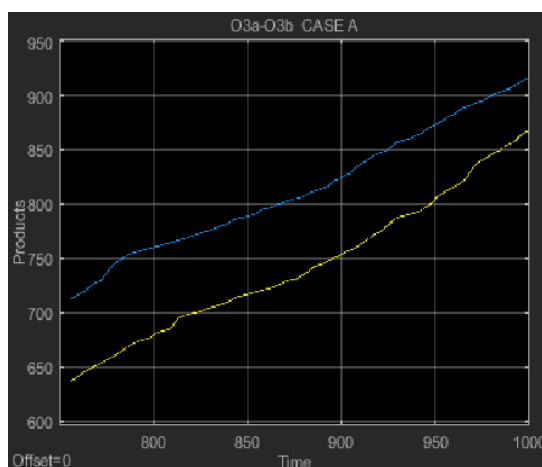
ΥΠΟΘΕΣΗ Α

ΥΠΟΘΕΣΗ	ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ %								
A) O2 p:10% r: 50%	↑ O1 37,5	↓ O2 10,6	O3a	A1	A2	A3	C1	C2	C3
			O3b	B1	B2	B3	14,6	11,3	1,87
			18,3	23,1	20,2	41,2			

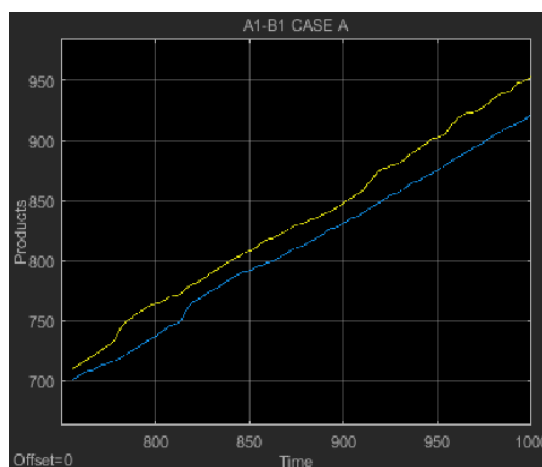
Πίνακας 5.5: Μέσος όρος αποτελεσμάτων προσομοιώσεων της υπόθεσης Α για το μέσο ποσοστό επιπέδου κάθε χώρου εναπόθεσης.

Με την παρουσία βλάβης στην μηχανή O2, παρατηρήθηκε αναμενόμενη αύξηση της στάθμης του προηγούμενου χώρου εναπόθεσης (O1) και μείωση της στάθμης του επόμενου (O2). Τα ποσοστά μεταξύ της γραμμής Α και της Β, κυμάνθηκαν σε κοντινά επίπεδα σύμφωνα με τον Πίνακα 5.5. Στην Εικόνα 5.3, οι κύκλοι με κόκκινο χρώμα εκφράζουν τον χώρο αποθήκευσης που έχει μεγαλύτερο ποσοστό από τον αντίστοιχο της άλλης γραμμής. Μέσω της προσαρμογής των ρυθμών παραγωγής, υπήρξε επιτυχής δρομολόγηση και εξισορρόπηση του πλήθους προϊόντων μεταξύ των δύο γραμμών.

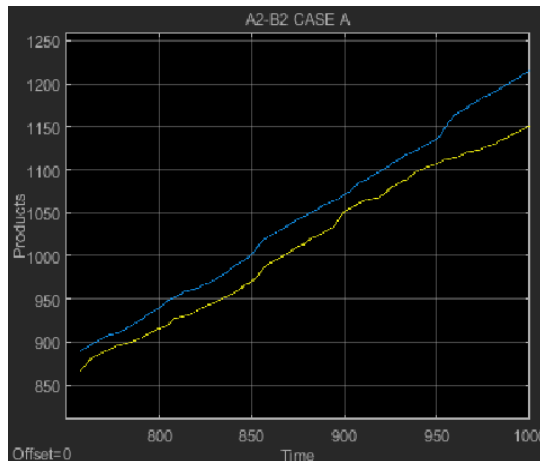
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ Α ΚΑΙ Β



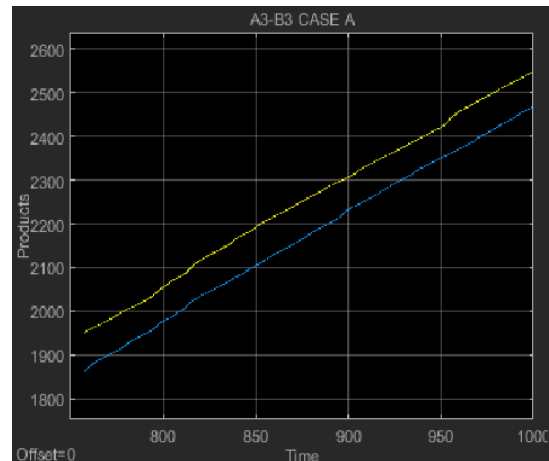
Εικόνα 5.2.1: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης O3a και O3b υπόθεσης Α.



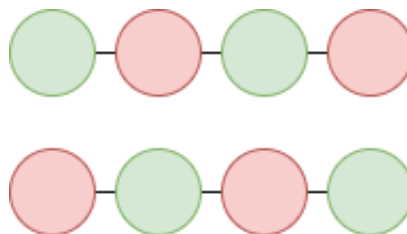
Εικόνα 5.2.2: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A1 και B1 υπόθεσης Α.



Εικόνα 5.2.3: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A2 και B2 υπόθεσης A.



Εικόνα 5.2.4: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A3 και B3 υπόθεσης A.



Εικόνα 5.3: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης γραμμής A και B στην υπόθεση A

ΥΠΟΘΕΣΗ Β ΚΑΙ Γ

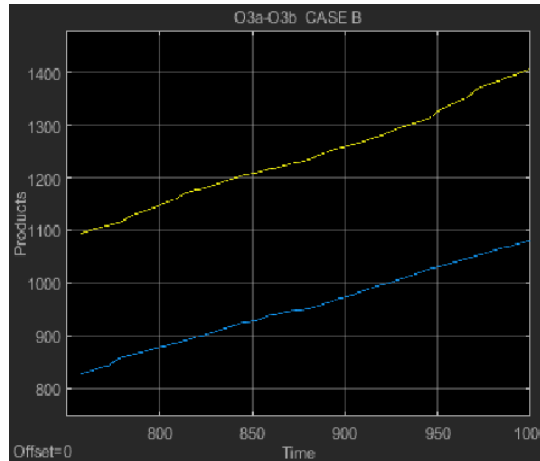
ΥΠΟΘΕΣΗ	ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ %								
B) A2 p:10% r: 50%	O1	O2	O3a	A1	A2	A3	C1	C2	C3
	19,4	22,1	↑ 34,3	↑ 55,2	↓ 15,1	↓ 40,7	14,4	12,4	0,33
			O3b	B1	B2	B3			
			↓ 22,9	↓ 24,3	↑ 26,3	↑ 60,8			

Πίνακας 5.6: Μέσος όρος αποτελεσμάτων προσομοιώσεων της υπόθεσης B για το μέσο ποσοστό επιπέδου κάθε χώρου εναπόθεσης.

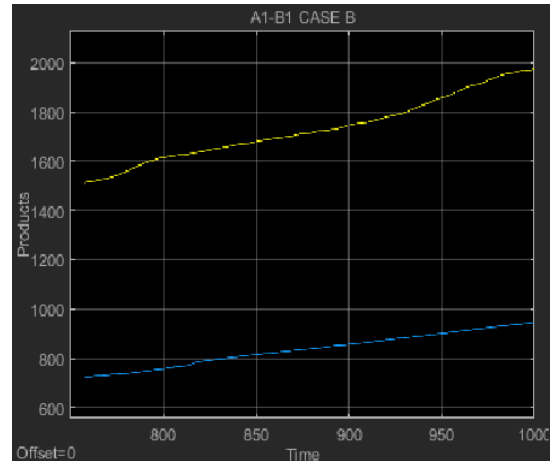
Με την παρουσία βλάβης στην μηχανή A2, παρατηρήθηκε ελαφρά συμφόρηση στους χώρους εναπόθεσης O3a και A1, όπως σημειώνεται με κόκκινο χρώμα στην Εικόνα 5.5. Οι ελεγκτές για να εξισορροπήσουν τα ποσοστά των χώρων εναπόθεσης στην πάνω και στην κάτω γραμμή, αύξησαν τους ρυθμούς παραγωγής στην γραμμή B, γεγονός που προκάλεσε την αύξηση των επιπέδων στους χώρους εναπόθεσης B2 και B3. Με την μεταβολή των ρυθμών και την διαφορετική δρομολόγηση, επιτεύχθηκε

ίσο πλήθος προϊόντων πάνω και κάτω, παρά τους αποκλεισμούς της γραμμής A, λόγω των βλαβών.

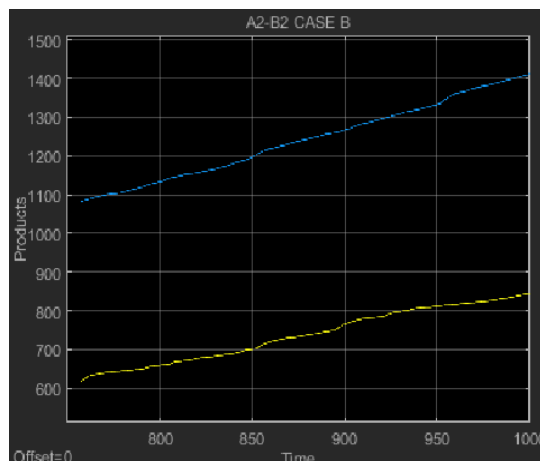
ΣΥΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ Α ΚΑΙ Β



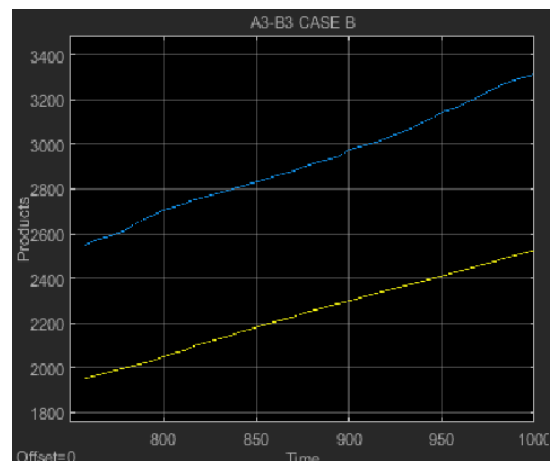
Εικόνα 5.4.1: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης O3a και O3b υπόθεσης B.



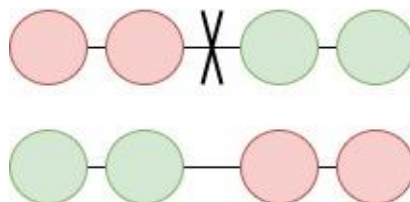
Εικόνα 5.4.2: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A1 και B1 υπόθεσης B.



Εικόνα 5.4.3: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A2 και B2 υπόθεσης B.



Εικόνα 5.4.4: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A3 και B3 υπόθεσης B.



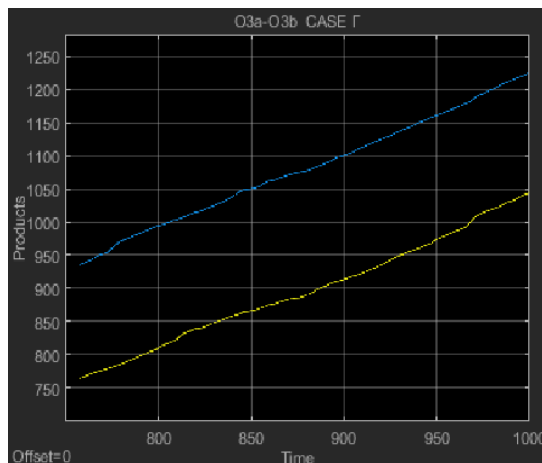
Εικόνα 5.5: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης γραμμής A και B στην υπόθεση B.

ΥΠΟΘΕΣΗ	ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ %								
Γ) B2 p:10% r: 50%	O1 19,9	O2 23,0	O3a	A1	A2	A3	C1 14,6	C2 12,1	C3 0,72
			↓ 21,7	↓ 25,2	↑ 22,7	↑ 55,1			
			O3b	B1	B2	B3			
			↑ 27,3	↑ 46,6	↓ 16,3	↓ 42,6			

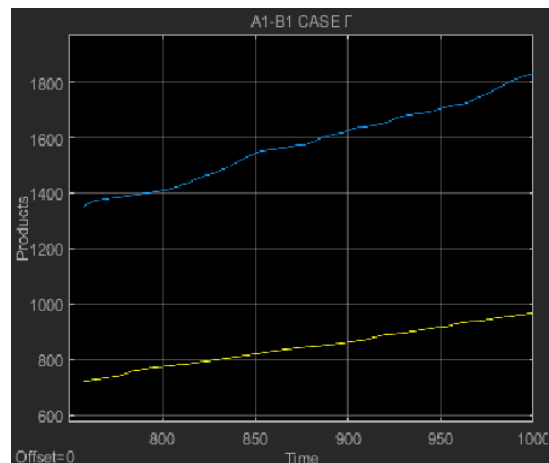
Πίνακας 5.7: Μέσος όρος αποτελεσμάτων προσομοιώσεων της υπόθεσης Γ για το μέσο ποσοστό επιπέδου κάθε χώρου εναπόθεσης.

Αντίστοιχα, η βλάβη στην μηχανή B2 της κάτω γραμμής προκάλεσε συμφόρηση στους χώρους O3b και B1. Οι ελεγκτές για να εξισορροπήσουν το σύνολο των προϊόντων στην πάνω και στην κάτω γραμμή, αύξησαν τους ρυθμούς παραγωγής στην γραμμή B, με αποτέλεσμα την μείωση των επιπέδων στους χώρους O3a και A1 και την αύξηση των επιπέδων στους χώρους εναπόθεσης A2 και A3.

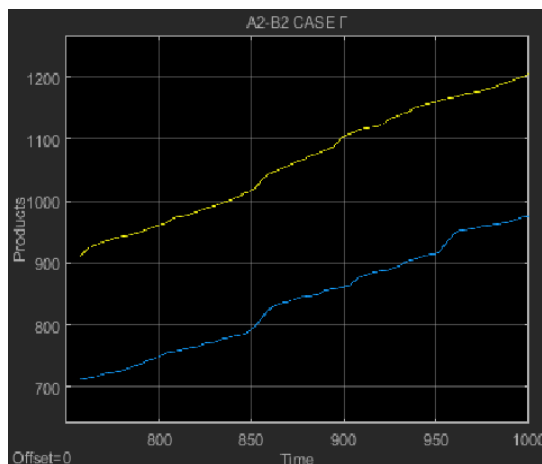
ΣΥΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ Α ΚΑΙ Β



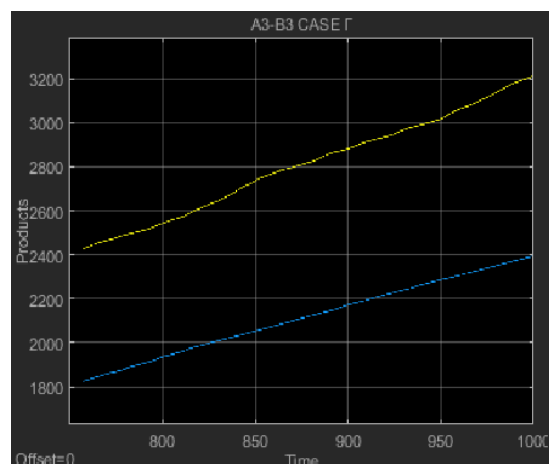
Εικόνα 5.6.1: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης O3a και O3b υπόθεσης Γ.



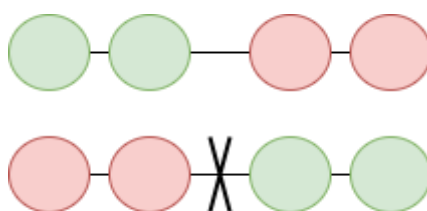
Εικόνα 5.6.2: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A1 και B1 υπόθεσης Γ.



Εικόνα 5.6.3: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A2 και B2 υπόθεσης Γ.



Εικόνα 5.6.4: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A3 και B3 υπόθεσης Γ.



Εικόνα 5.7: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης γραμμής A και B στην υπόθεση Γ.

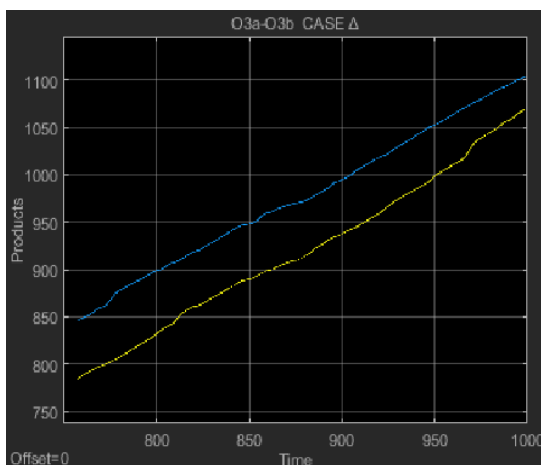
ΥΠΟΘΕΣΗ Δ

ΥΠΟΘΕΣΗ	ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ %								
Δ) C2 p:10% r: 50%	O1	O2	O3a	A1	A2	A3	C1 ↑ 55,4	C2 ↓ 11,9	C3 ↓ 0,3
			O3b	B1	B2	B3			
			21,9	24,7	28,3	36,2			
			22,2	22,7	22,1	44,1			

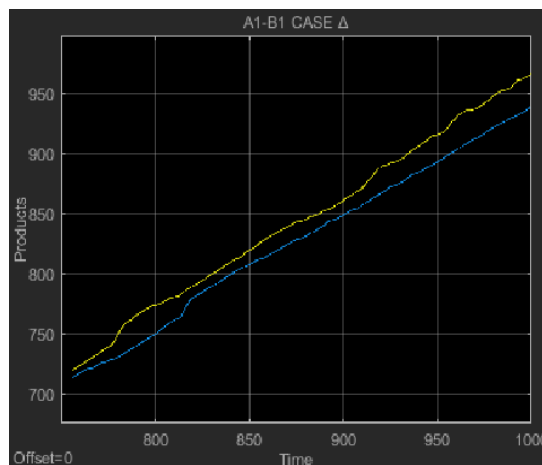
Πίνακας 5.8: Μέσος όρος αποτελεσμάτων προσομοιώσεων της υπόθεσης Δ για το μέσο ποσοστό επιπέδου κάθε χώρου εναπόθεσης.

Στην τελευταία υπόθεση με χειρίστη μηχανή την C2, ο χώρος εναπόθεσης C1 σημειώνει αύξηση των επιπέδων, εξαιτίας των συχνών μηδενισμών του ρυθμού παραγωγής της μηχανής C2. Μικρής τάξεως συμφόρηση παρατηρείται και στους χώρους A3 και B3 που προηγούνται. Οι γραμμές A και B αναμεταξύ τους παρουσιάζουν ισορροπία στα ποσοστά των αποθηκευτικών χώρων και τα προϊόντα δρομολογούνται ομοίως πάνω και κάτω.

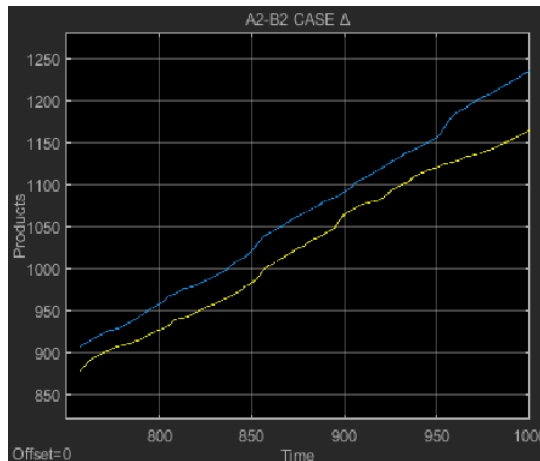
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΧΩΡΩΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ A ΚΑΙ B



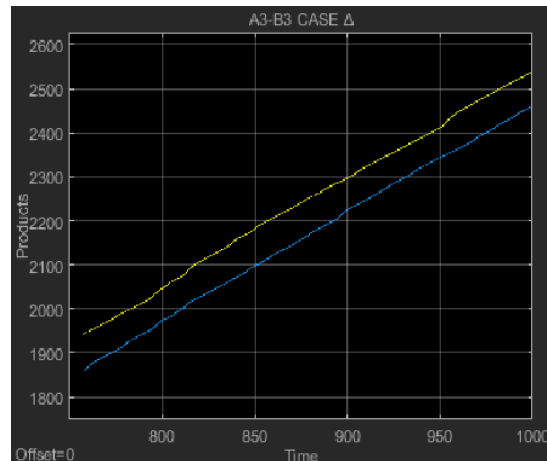
Εικόνα 5.8.1: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης O3a και O3b υπόθεσης Δ.



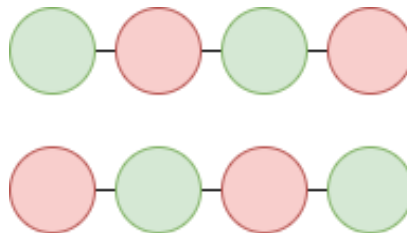
Εικόνα 5.8.2: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A1 και B1 υπόθεσης Δ.



Εικόνα 5.8.3: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A2 και B2 υπόθεσης Δ.



Εικόνα 5.8.4: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης A3 και B3 υπόθεσης Δ.



Εικόνα 5.9: Επίπεδα χώρων εναπόθεσης γραμμής A και B στην υπόθεση Δ

Το μέσο ποσοστό πληρότητας των χώρων εναπόθεσης, αλλά και τα επίπεδα που διατηρούσαν συγκριτικά καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης επέτρεψαν την παρακολούθηση της δράσης των ελεγκτών. Στις υποθέσεις Β και Γ, οι παράλληλες μηχανές προσαρμόσαν τους ρυθμούς παραγωγής και τα αποτελέσματα της προσαρμογής αποτυπώθηκαν στα επίπεδα των αποθηκευτικών χώρων και των προϊόντων υπό επεξεργασία. Μέσω των παραπάνω υποθέσεων επιβεβαιώνεται η σημασία ύπαρξης ευελιξίας δρομολόγησης σε ένα σύστημα. Η δρομολόγηση επιτρέπει την αδιάκοπη λειτουργία του συστήματος και την αποφυγή συσσώρευσης προϊόντων υπό την παρουσία βλαβών, γεγονός που το καθιστά παραγωγικότερο και πιο κερδοφόρο.

5.3 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Συνοπτικά στο Κεφάλαιο 5, με την δημιουργία του δικτύου παραγωγής και την εξέταση των παραπάνω υποθέσεων, ήταν εφικτή η παρατήρηση της αλληλεξαρτώμενης λειτουργίας των ελεγκτών. Μελετήθηκε η προσαρμογή της δράσης τους, υπό την παρουσία βλαβών, σε συνδυασμό με την δυνατότητα δρομολόγησης των προϊόντων στις δύο παράλληλες γραμμές.

5.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η επίδραση της βιομηχανικής ευελιξίας ως προς συγκεκριμένα μέτρα απόδοσης, μέσω των ψηφιακών μοντέλων. Η δυνατότητα δημιουργίας συστημάτων διαφορετικής μορφολογίας και παραμετροποίησης, σε συνδυασμό με την δυνατότητα κατασκευής οποιουδήποτε μέσου προβολής των αποτελεσμάτων, επιτρέπει την επέκταση της έρευνας. Μερικές προτάσεις επέκτασης παρουσιάζονται παραδειγματικά παρακάτω.

- Δημιουργία μοντέλων διαφορετικής τοπολογίας μηχανών.
- Αλλαγή παραμέτρων του συστήματος και των ελεγκτών μέσω των κανόνων.
- Δυναμική εισαγωγή δεδομένων από εξωτερικές πηγές, όπως για παράδειγμα το διαδίκτυο ή αισθητήρες, που θα αποτελούσε μία μορφή ψηφιακού διδύμου.
- Εξέταση άλλων μέτρων απόδοσης, όπως για παράδειγμα των οικονομικών, με σκοπό την μελέτη σκοπιμότητας κάποια επένδυσης σε εξοπλισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Τσουρβελούδης Νικόλαος, Νικολός Ιωάννης, Τεχνολογίες Παραγωγής, Εκδόσεις Πολυτεχνείου Κρήτης, 2^η Έκδοση, 2018.
- [2] Γιαννατσής Ιωάννης, Δεδούσης Βασίλειος, Κανελλίδης Βασίλειος, Ευέλικτα Συστήματα Παραγωγής και Τεχνολογία Ομάδων, Κάλλιπος-Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις, 2015.
- [3] Joze Balic, Kimon P. Valavanis, Nikos Tsourveloudis and Stratos Ioannidis, Intelligent Manufacturing Systems: Programming and Control, Maribor Slovenia, Chania Greece, University of Maribor, Technical University of Crete, 2003.
- [4] Browne J., Dubois, D. Rathmill, K. Sethi S.P, and Stecke K.E., Classification of Flexible Manufacturing Systems, FMS Magazine, pp. 114-117 ,1984.
- [5] Nikos C. Tsourveloudis, Yannis A. Phillis, Manufacturing Flexibility Measurement: A Fuzzy Logic Framework, IEEE transactions on robotics and automation, vol. 14, no.4, 1998.
- [6] Nikos C. Tsourveloudis, Kimon P. Valavanis. On the measurement of enterprise agility, Journal of Intelligence and Robotics, volume 33, Pages 329–342, 2002.
- [7] Nikos C. Tsourveloudis, E. Dretoulakis, S. Ioannidis (2000). Fuzzy work-in-process inventory control of unreliable manufacturing systems, Information Sciences, Volume 127, Issues 1-2, Pages 69-83, August 2000.
- [8] Kevin M. Passino, Stephen Yurkovich, Fuzzy Control, Addison-Wesley Publications, 1997.
- [9] N. Tsourveloudis, L. Doitsidis, S. Ioannidis, Work-in-process scheduling by evolutionary tuned fuzzy controllers, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 34, Pages 748-761, 2007.
- [10] Adil Baykasoğlu, Quantifying machine flexibility, International Journal of Production Research, Volume 47, Pages 4109-4123, 2009.