

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ &**  
**ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**



**ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΕΛΙΞΙΑΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ**  
**ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**Ανδρέας Δημητρέλλος**

**Χανιά, Σεπτέμβριος 2016**





## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# **“Μέτρηση της Ευελιξίας Μηχανής και Δρομολόγησης σε Δίκτυα Παραγωγής”**

ΑΝΔΡΕΑΣ ΔΗΜΗΤΡΕΛΛΟΣ

**Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Χ. Τσουρβελούδης**

**Καθηγητής Π.Κ**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την.....2016.

.....  
Νικόλαος Τσουρβελούδης

Καθηγητής Π.Κ

.....  
Ευστράτιος Ιωαννίδης

Επίκ.Καθηγητής Π.Κ

.....  
Βασίλης Κουϊκόγλου

Καθηγητής Π.Κ

**Χανιά, Σεπτέμβριος 2016**



## Περίληψη

Ως ευελιξία ενός συστήματος παραγωγής ορίζεται η ικανότητα του συστήματος να αντεπεξέρχεται αποτελεσματικά στις ποικίλες μεταβολές, οι οποίες προκαλούνται εντός του συστήματος ή προέρχονται από το περιβάλλον του. Στην εργασία αυτή, κατασκευάστηκαν τρία μοντέλα με χρήση του προγράμματος της Matlab/Simulink® (έκδοση R2009b), τα οποία προσομοιώνουν τον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος παραγωγής. Με τα μοντέλα αυτά θα εξεταστεί το πρόβλημα της μέτρησης της ευελιξίας μηχανής και της ευελιξίας δρομολόγησης, και θα εξαχθούν συμπεράσματα για τις παραμέτρους και τους τρόπους με τους οποίους αυτές επηρεάζουν την ευελιξία κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Η ανάπτυξη της εργασίας πραγματοποιείται σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθεται το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο των ευέλικτων συστημάτων παραγωγής, που περιλαμβάνει την ταξινόμηση των ειδών ευελιξίας, την ευελιξία μηχανής και, ολοκληρώνοντας, την ευελιξία δρομολόγησης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα κύρια υποσυστήματα που αποτελούν το μοντέλο προσομοίωσης της γραμμής παραγωγής, καθώς και οι ασαφείς ελεγκτές που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα κύρια υποσυστήματα που αποτελούν τα αντίστοιχα μοντέλα προσομοίωσης, τη γραμμή συναρμολόγησης και τη γραμμή αποσυναρμολόγησης, μαζί με τους ασαφείς ελεγκτές που χρησιμοποιήθηκαν.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των αντίστοιχων μοντέλων παρατίθενται στο τέταρτο κεφάλαιο, όπου ταυτόχρονα πραγματοποιείται η ανάλυσή τους και η εξαγωγή συμπερασμάτων.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Ευέλικτα συστήματα παραγωγής; ευελιξία μηχανής; ευελιξία δρομολόγησης,  
Matlab/Simulnk

## **Abstract**

A flexible manufacturing system is defined a system with the ability to cope effectively to the various changes that are caused from within it or its external environment. In this diploma thesis, three models were constructed using the program Matlab/Simulink® (version R2009b), which simulates the operation of a production system. With the use of these models, the problem of measuring the machine flexibility and routing flexibility is addressed and drawing conclusions for the parameters and how flexibility is affected during the production process.

This thesis consists of four chapters. The first chapter briefly focuses on the basic theoretical knowledge of flexible manufacturing systems and involves the classification of types of flexibility, the machine flexibility, and the routing flexibility.

The second chapter presents and analyzes the main subsystems constituting the production line model and the fuzzy controllers used.

The third chapter presents and analyzes the main subsystems used, consisting of the respective simulation models, the assembly and disassembly lines, along with the fuzzy controllers.

Finally, the results of the simulations for the respective models are presented in chapter four, where simultaneously their analysis is performed and conclusions are drawn.

**KEY WORDS:** Flexible manufacturing systems, machine flexibility, routing flexibility, Matlab/Simulnk

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας Δρ. Νικόλαο Τσουρβελούδη για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Ευχαριστώ εκ βάθέων τον Δρ. Ευστράτιο Ιωαννίδη για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε, καθώς και για τις πολύτιμες υποδείξεις και συμβουλές του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία με στήριξε και με ενθάρρυνε καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου σταδιοδρομίας.





## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	v
Abstract .....	vii
Περιεχόμενα.....	x
Κατάλογος Πινάκων .....	xiii
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	xv
Κεφάλαιο 1: Ευέλικτα Συστήματα Παραγωγής .....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ταξινόμηση Ευελιξίας.....	5
1.3 Ευελιξία Μηχανής.....	7
1.4 Ευελιξία Δρομολόγησης .....	10
1.5 Ανακεφαλαίωση .....	12
Κεφάλαιο 2: Προσομοίωση Γραμμής Παραγωγής .....	13
2.1 Εισαγωγή .....	13
2.2 Παρουσίαση Μοντέλου.....	14
2.2.1 Υποσύστημα Μηχανής .....	16
2.2.2 Υποσύστημα Υπολογισμού Χρόνου Προετοιμασίας .....	19
2.2.3 Υποσύστημα Υπολογισμού Πιθανότητας Βλάβης/Επισκευής .....	22
2.2.4 Υποσύστημα Υπολογισμού Ευελιξίας Μηχανής.....	25
2.2.5 Ασαφής Ελεγκτής MFC.fis .....	26
2.2.6 Ασαφής Ελεγκτής BMBFA.fis .....	35

2.3	Παράμετροι Προσομοίωσης.....	43
2.4	Ανακεφαλαίωση .....	44
Κεφάλαιο 3: Προσομοίωση Δικτύου Παραγωγής.....		45
3.1	Εισαγωγή .....	45
3.2	Παρουσίαση Μοντέλων .....	45
3.2.1	Υποσύστημα Μηχανής .....	48
3.2.2	Υποσύστημα Μηχανής Συναρμολόγησης .....	51
3.2.3	Υποσύστημα Μηχανής Αποσυναρμολόγησης.....	53
3.2.4	Υποσύστημα Υπολογισμού Πιθανότητας Βλάβης/Επισκευής .....	54
3.2.5	Υποσύστημα Υπολογισμού Ευελιξίας Δρομολόγησης .....	57
3.2.6	Ασαφής Ελεγκτής RFC.fis.....	58
3.2.7	Ασαφής Ελεγκτής Assembly.fis .....	64
3.2.8	Ασαφής Ελεγκτής Disassembly.fis .....	73
3.2.9	Ασαφής Ελεγκτής BMBFA.fis .....	82
3.3	Παράμετροι Προσομοίωσης.....	90
3.4	Ανακεφαλαίωση .....	92
Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Προσομοίωσης και Εξαγωγή Συμπερασμάτων .....		93
4.1	Εισαγωγή .....	93
4.2	Περιπτώσεις Προσομοίωσης.....	93
4.3	Μέτρηση Ευελιξίας Μηχανής .....	94
4.4	Μέτρηση Ευελιξίας Δρομολόγησης.....	100

4.4.1	Δίκτυο Συναρμολόγησης .....	100
4.4.2	Δίκτυο Αποσυναρμολόγησης.....	104
4.5	Ανακεφαλαίωση .....	107
4.6	Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτίωσης.....	108
	Βιβλιογραφία .....	109
	Παράρτημα.....	110

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Μηχανισμός συμπερασμού MFC.fis .....	28
Πίνακας 2.2 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Setup” .....	29
Πίνακας 2.3 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Versatility” .....	30
Πίνακας 2.4 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Adjustability” .....	31
Πίνακας 2.5 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “Flexibility” .....	32
Πίνακας 2.6 Μηχανισμός συμπερασμού BMBFA.fis .....	36
Πίνακας 2.7 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “BLi” .....	38
Πίνακας 2.8 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “BLi+1” .....	39
Πίνακας 2.9 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Flag” .....	40
Πίνακας 2.10 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “Ri” .....	41
Πίνακας 2.11 Παράμετροι Προσομοίωσης Production_Line.mdl.....	43
Πίνακας 3.1 Μηχανισμός συμπερασμού RFC.fis.....	59
Πίνακας 3.2 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Common Processes” .....	60
Πίνακας 3.3 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Replacement Index” .....	61
Πίνακας 3.4 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “Routing Flexibility” .....	62
Πίνακας 3.5 Μηχανισμός συμπερασμού Assembly.fis .....	65
Πίνακας 3.6 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Upstream1” .....	66
Πίνακας 3.7 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Upstream2” .....	67
Πίνακας 3.8 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Downstream” .....	68
Πίνακας 3.9 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “flag” .....	69
Πίνακας 3.10 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “rate” .....	70
Πίνακας 3.11 Μηχανισμός συμπερασμού Disassembly.fis .....	74
Πίνακας 3.12 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Upstream” .....	75

Πίνακας 3.13 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Downstream1” .....	76
Πίνακας 3.14 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Downstream2” .....	77
Πίνακας 3.15 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “flag” .....	78
Πίνακας 3.16 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “rate” .....	79
Πίνακας 3.17 Μηχανισμός συμπερασμού BMBFA.fis .....	83
Πίνακας 3.18 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “BLi” .....	85
Πίνακας 3.19 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “BLi+1” .....	86
Πίνακας 3.20 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Flag” .....	87
Πίνακας 3.21 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “Ri” .....	88
Πίνακας 3.22 Παράμετροι Προσομοίωσης Assembly_Network.mdl & Disassembly_Network.mdl .....	90
Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης Production_Line.mdl .....	94
Πίνακας 4.2 Κύκλος παραγωγής Production_Line.mdl .....	95
Πίνακας 4.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης Assembly_Network.mdl .....	101
Πίνακας 4.4 Κύκλος παραγωγής Assembly_Network.mdl .....	102
Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης Disassembly_Network.mdl.....	104
Πίνακας 4.6 Κύκλος παραγωγής Disassembly_Network.mdl .....	105

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Εικόνα 2.1 Μοντέλο προσομοίωσης γραμμής παραγωγής Production_Line.mdl.....	15
Εικόνα 2.2 Υποσύστημα μηχανής γραμμής παραγωγής .....	17
Εικόνα 2.3 Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου αδράνειας μηχανής .....	18
Εικόνα 2.4 Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου αλλαγής.....	20
Εικόνα 2.5 Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου επισκευής.....	22
Εικόνα 2.6 Παράμετροι λειτουργίας μπλοκ Failure Gen.....	23
Εικόνα 2.7 Υποσύστημα υπολογισμού πιθανότητας βλάβης .....	23
Εικόνα 2.8 Παράμετροι λειτουργίας μπλοκ Repair Gen .....	24
Εικόνα 2.9 Υποσύστημα Υπολογισμού Πιθανότητας Επισκευής .....	24
Εικόνα 2.10 Υποσύστημα υπολογισμού ευελιξίας μηχανής .....	25
Εικόνα 2.11 Ασαφής ελεγκτής MFC.fis .....	27
Εικόνα 2.12 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Setup” .....	28
Εικόνα 2.13 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Versatility” .....	29
Εικόνα 2.14 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Adjustability” .....	30
Εικόνα 2.15 Πεδίο Γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “Flexibility” .....	31
Εικόνα 2.16 Rules Viewer: MFC.fis.....	34
Εικόνα 2.17 Surface Viewer: MFC.fis.....	35
Εικόνα 2.18 Ασαφής ελεγκτής BMBFA.fis.....	36
Εικόνα 2.19 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “BLi” .....	38
Εικόνα 2.20 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “BLi+1” .....	39
Εικόνα 2.21 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Flag” .....	40
Εικόνα 2.22 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “Ri” .....	41
Εικόνα 2.23 Rules Viewer: BMBFA.fis .....	42

Εικόνα 2.24 Surface Viewer: BMBFA.fis .....	42
Εικόνα 2.25 Configuration parameters: Solver.....	44
Εικόνα 3.1 Μοντέλο προσομοίωσης γραμμής συναρμολόγησης Assembly_Network.mdl .....	47
Εικόνα 3.2 Μοντέλο προσομοίωσης γραμμής αποσυναρμολόγησης Disassembly_Network.mdl .....	47
Εικόνα 3.3 Υποσύστημα μηχανής δικτύου παραγωγής.....	48
Εικόνα 3.4 Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου αδράνειας μηχανής .....	49
Εικόνα 3.5 Υποσύστημα υπολογισμού κατάστασης αλλαγής μηχανής .....	50
Εικόνα 3.6 Υποσύστημα υπολογισμού λεκτικών μεταβλητών ελεγκτή RFC.fis .....	51
Εικόνα 3.7 Υποσύστημα μηχανής συναρμολόγησης.....	52
Εικόνα 3.8 Υποσύστημα μηχανής αποσυναρμολόγησης .....	53
Εικόνα 3.9 Παράμετροι λειτουργίας μπλοκ Failure Gen.....	55
Εικόνα 3.10 Υποσύστημα υπολογισμού πιθανότητας βλάβης .....	55
Εικόνα 3.11 Παράμετροι λειτουργίας μπλοκ Repair Gen .....	56
Εικόνα 3.12 Υποσύστημα υπολογισμού πιθανότητας επισκευής.....	56
Εικόνα 3.13 Υποσύστημα υπολογισμού ευελιξίας δρομολόγησης .....	57
Εικόνα 3.14 Ασαφής Ελεγκτής RFC.fis .....	58
Εικόνα 3.15 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Common Processes” .....	60
Εικόνα 3.16 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Replacement Index” .....	61
Εικόνα 3.17 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “Routing Flexibility” .....	62
Εικόνα 3.18 Rules Viewer: RFC.fis.....	63
Εικόνα 3.19 Surface Viewer: RFC.fis .....	64
Εικόνα 3.20 Ασαφής Ελεγκτής Assembly.fis .....	65
Εικόνα 3.21 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Upstream1” .....	66



Εικόνα 3.22	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Upstream2” .....	67
Εικόνα 3.23	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Downstream” .....	68
Εικόνα 3.24	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “flag” .....	69
Εικόνα 3.25	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “rate” .....	69
Εικόνα 3.26	Rules Viewer Part I: Assembly.fis .....	72
Εικόνα 3.27	Rules Viewer Part II: Assembly.fis .....	72
Εικόνα 3.28	Surface Viewer: Assembly.fis .....	73
Εικόνα 3.29	Ασαφής ελεγκτής Disassembly.fis .....	74
Εικόνα 3.30	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Upstream” .....	75
Εικόνα 3.31	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Downstream1” .....	76
Εικόνα 3.32	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Downstream2” .....	77
Εικόνα 3.33	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “flag” .....	78
Εικόνα 3.34	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “rate” .....	78
Εικόνα 3.35	Rules Viewer Part I: Disassembly.fis .....	81
Εικόνα 3.36	Rules Viewer Part II: Disassembly.fis.....	81
Εικόνα 3.37	Surface Viewer: Disassembly.fis.....	82
Εικόνα 3.38	Ασαφής ελεγκτής BMBFA.fis.....	82
Εικόνα 3.39	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “BLi” .....	85
Εικόνα 3.40	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “BLi+1” .....	86
Εικόνα 3.41	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Flag” .....	87
Εικόνα 3.42	Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “Ri” .....	88
Εικόνα 3.43	Rules Viewer: BMBFA.fis .....	89
Εικόνα 3.44	Surface Viewer: BMBFA.fis .....	89
Εικόνα 3.45	Configuration parameters: Solver.....	91
Εικόνα 4.1	Συγκεντρωτικό scope Production_Line.mdl .....	95

Εικόνα 4.2 Διάγραμμα “Machine’s Mean Flexibility” .....	97
Εικόνα 4.3 Διάγραμμα “Mean Setup Time” .....	98
Εικόνα 4.4 Διάγραμμα “Mean Versatility” .....	98
Εικόνα 4.5 Διάγραμμα “Mean Adjustability” .....	99
Εικόνα 4.6 Συγκεντρωτικό scope Assembly_Network.mdl .....	101
Εικόνα 4.7 Συγκεντρωτικό scope Disassembly_Network.mdl .....	105

# Κεφάλαιο 1: Ευέλικτα Συστήματα Παραγωγής

## 1.1 Εισαγωγή

Με την παγκοσμιοποίηση των αγορών, δεδομένου ότι η πίεση που ασκείται στις επιχειρήσεις λόγω ανταγωνισμού αυξάνεται διαρκώς, μια βασική προϋπόθεση για την επιβίωση των οργανισμών είναι η ικανότητά τους να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τις όποιες μεταβολές παρουσιάζονται στο περιβάλλον τους. Οι σύγχρονες ανάγκες της αγοράς προκαλούν ακατάπαυστες αλλαγές στον κύκλο ζωής, στο σχήμα, στην ποιότητα και στην τιμή των προϊόντων. Η βιομηχανική ευελιξία είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης των αβεβαιοτήτων αυτού του ταχέως μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος, και ορίζεται αφενός ως η ικανότητα του συστήματος να απορροφά ποικίλες διαταράξεις που συμβαίνουν και αφορούν τη διαδικασία παραγωγής, και αφετέρου ως η δυνατότητα να ενσωματώνει και να εκμεταλλεύεται νέες τεχνολογίες και εργασιακές πρακτικές (Joze Balic, Yannis A. Phillis, Nikos Tsourveloudis, Ivo Pahole (2002)). Πλήρης αξιοποίηση της ευελιξίας προϋποθέτει τον σαφή ορισμό της μαζί με τον σχηματισμό ενός ενιαίου συστήματος προκειμένου για τον ποσοτικό προσδιορισμό της έννοιας.

Ανατρέχοντας στη σχετική βιβλιογραφία, θα μπορούσε κανείς να παρατηρήσει την επικάλυψη στις διαστάσεις και τους τύπους της ευελιξίας, καθώς και την έλλειψη ενός καθολικού συστήματος μέτρησής της. Αποτελεί κοινή πεποίθηση ότι η ευελιξία είναι μια πολυδιάστατη έννοια που συνδέεται με όλα σχεδόν τα ιεραρχικά επίπεδα ενός οργανισμού.

Η μέτρηση της βιομηχανικής ευελιξίας συνεχίζει να αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για τους ερευνητές. Πολυάριθμες προσπάθειες έχουν πραγματοποιηθεί, οι

οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει της προσέγγισης που ακολουθείται για τον καθορισμό και τη μέτρηση της έννοιας της ευελιξίας. Υπάρχουν μέτρα, τα οποία επικεντρώνονται στα οικονομικά πλεονεκτήματα, στις επιπτώσεις στη διαδικασία της λήψης αποφάσεων ή στην ποσοτικοποίηση ορισμένων δεικτών επιδόσεων και λειτουργικών χαρακτηριστικών της ευελιξίας. Από μεθοδολογικής απόψεως, έχουν προταθεί μέτρα στο πλαίσιο της θεωρίας πληροφοριών, της θεωρίας γραφημάτων, της θεωρίας μαθηματικού προγραμματισμού, καθώς και της θεωρίας των δικτύων Petri.

Η ευελιξία είναι μια επιθυμητή ιδιότητα των συστημάτων παραγωγής, η οποία σε πολλές περιπτώσεις παρουσιάζεται ως πανάκεια για πολλά πρακτικά προβλήματα (Τσουρβελούδης Νικόλαος, Νικολός Ιωάννης (2015)). Η ανάπτυξη των μέτρων ευελιξίας είναι εξαιρετικά χρήσιμη προκειμένου να καθίσταται δυνατή η εκμετάλλευση όλων των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από ένα ευέλικτο σύστημα παραγωγής. Με τη χρησιμοποίηση αυτών των μέτρων, οι ιθύνοντες έχουν την ευκαιρία να εξετάσουν τα διάφορα συστήματα σε διαφορετικά επίπεδα ευελιξίας. Ο στόχος αυτός φαίνεται ανέφικτος, εκτός αν τα μέτρα παρέχουν μια άμεση και ολιστική θεραπεία των συνιστωσών της ευελιξίας. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι η ευελιξία, μεταξύ άλλων, αποτελεί ένα προϊόν που προέρχεται όχι μόνο από την τεχνολογική ανάπτυξη, την προηγμένη οργανωτική-διαχειριστική δομή και την πρακτική, αλλά αποτελεί προϊόν και της ανθρώπινης ικανότητας, δεξιότητας και φιλοδοξίας (Joze Balic, Yannis A. Phillis, Nikos Tsourveloudis, Ivo Pahole (2002)). Οι τρόποι με τους οποίους τα συστήματα παραγωγής λειτουργούν και διοικούνται από τους ανθρώπους καθιστούν απαραίτητη την καταγραφή και την αξιοποίηση της ανθρώπινης γνώσης και των αντιλήψεων που αφορούν την ευελιξία και τη μέτρησή της.

Ανεξάρτητα από τη δομή του κάθε μέτρου, είναι απαραίτητη η θέσπιση βασικών προϋποθέσεων, οι οποίες πρέπει να πληρούνται από κάθε μέτρο ευελιξίας. Συνεπώς, κάθε μέτρο ευελιξίας θα πρέπει:

- Να εστιάζει σε συγκεκριμένους τύπους ευελιξίας, από τους οποίους θα προέρχονται μέτρα που θα αφορούν τη συνολική ευελιξία. Οι παράμετροι προς εξέταση για κάθε μέτρο θα πρέπει να προσδιοριστούν μαζί με την παραγόμενη μεθοδολογία.
- Να επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών εγκαταστάσεων ως προς την ευελιξία.
- Να παρέχει μια συγκεκριμένη περίπτωση μέτρησης, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εκάστοτε συστήματος.
- Να ενσωματώνει τη συσσωρευμένη ανθρώπινη γνώση.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας η προσέγγιση που ακολουθείται για τη μέτρηση της ευελιξίας θεωρεί ότι οι παράμετροι που απαιτούνται στα διάφορα στάδια της διαδικασίας ποσοτικοποίησης, αναπαρίστανται με λεκτικές μεταβλητές και ότι η συνολική ευελιξία είναι αποτέλεσμα της σύνθεσής τους. Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε αξιοποιεί την εξειδικευμένη γνώση και αποτελείται από μια εφαρμογή της μεθόδου ασαφούς λογικής και ορολογίας για την εκτίμηση της βιομηχανικής ευελιξίας. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται βασικές έννοιες και ορισμοί, που αφορούν στην ευελιξία των συστημάτων παραγωγής.

Τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής είναι δίκτυα παραγωγής που γενικώς περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Σταθμούς εργασίας αποτελούμενους από αριθμητικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές με αυτόματη αλλαγή εργαλείων και κομματιών, οι οποίες ελέγχονται από κεντρικό υπολογιστικό σύστημα.

2. Σύστημα διαχείρισης υλικών που αποτελείται από μέσα μεταφοράς όπως ταινιόδρομους, αυτόματα οδηγούμενα οχήματα και βιομηχανικά ρομπότ, με άμεση πρόσβαση στους σταθμούς εργασίας.
3. Κεντρικό υπολογιστικό σύστημα για τον έλεγχο της παραγωγής.

Πιο συγκεκριμένα, οι σταθμοί εργασίας αποτελούνται από μια ή περισσότερες μηχανές, οι οποίες δέχονται ακατέργαστα κομμάτια ή πρώτες ύλες και επιτελούν ένα σύνολο κατεργασιών. Ένα σύνολο σταθμών εργασίας και χώρων εναποθήκευσης, που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους παράγοντας διαφορετικά είδη προϊόντων, αποτελεί ένα δίκτυο παραγωγής.

Κύρια χαρακτηριστικά των ευέλικτων συστημάτων παραγωγής είναι η ικανότητά τους να κατεργάζονται ένα μεγάλο φάσμα διαφορετικών προϊόντων και η δυνατότητά τους να αντεπεξέρχονται αποτελεσματικά σε μεταβαλλόμενες συνθήκες του περιβάλλοντος παραγωγής. Τέτοιες μεταβολές οφείλονται σε παράγοντες εκτός του συστήματος παραγωγής, όπως

1. Ζήτηση,
2. Χαρακτηριστικά προϊόντων,
3. Εισαγωγή νέων προϊόντων,
4. Στρατηγικές και τακτικές διαμόρφωσης επιλογών από πλευράς διεύθυνσης.

Καθώς και σε παράγοντες εντός του συστήματος όπως:

1. Βλάβες στις μηχανές και στον εξοπλισμό,
2. Νέα υλικά και διαδικασίες παραγωγής.

Ως ευελιξία συστήματος παραγωγής ορίζεται η ικανότητά του να αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τις ποικίλες μεταβολές των παραμέτρων, συνεχίζοντας απρόσκοπτα την παραγωγή προϊόντων αποδεκτής ποιότητας (Τσουρβελούδης Νικόλαος, Φίλης Ιωάννης (1995)).

## 1.2 Ταξινόμηση Ευελιξίας

Η ευελιξία των συστημάτων παραγωγής είναι μια πολυδιάστατη έννοια, η οποία επηρεάζει όλα τα επίπεδα της ιεραρχίας ενός οργανισμού και στη σύγχρονη εποχή αποτελεί τη στρατηγική απάντηση στον έντονο ανταγωνισμό (Joze Balic, Himon P. Valavanis, Nikos Tsourveloudis, Stratos Ioannidis (2003)). Η ευελιξία αποτελεί ιδιότητα όλων των συστημάτων παραγωγής και, για αυτό τον λόγο, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως χαρακτηριστικό γνώρισμα μόνο των ευέλικτων συστημάτων παραγωγής. Η ταξινόμηση των τύπων ευελιξίας συστάθηκε από τους Browne *et al.* (1984) και αποτέλεσε το θεμέλιο λίθο πάνω στον οποίο στηρίχθηκαν πολλές μεταγενέστερες έρευνες για τη μέτρηση της βιομηχανικής ευελιξίας. Σε μια ανασκόπησή τους οι Sethi and Sethi (1990) αναγνωρίζουν πάνω από πενήντα διαφορετικούς τύπους ευελιξίας, αν και γενικά τη βάση της κατηγοριοποίησης αυτής αποτέλεσε η αντίστοιχη ταξινόμηση των Browne *et al.* (1984). Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής θα ασχοληθούμε με το πρόβλημα της μέτρησης των πιο σημαντικών τύπων βιομηχανικής ευελιξίας, οι οποίοι είναι η ευελιξία μηχανής και η ευελιξία δρομολόγησης. Στη συνέχεια, για λόγους πληρότητας επαναλαμβάνονται οι ορισμοί των τύπων ευελιξίας, οι οποίοι βασίζονται στις εργασίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως :

**Ως ευελιξία μηχανής** (ή σταθμού εργασίας) ορίζεται η ικανότητα της μηχανής να πραγματοποιεί διαφορετικές κατεργασίες απαιτώντας ελάχιστο χρόνο προετοιμασίας κατά τη μετάβαση από τη μια κατεργασία σε άλλη (Sethi and Sethi 1990).

**Ευελιξία δρομολόγησης** ενός συστήματος παραγωγής είναι η ικανότητά του να χρησιμοποιεί εναλλακτικές δρομολογήσεις για την παραγωγή ενός προϊόντος.

**Ευελιξία προϊόντος** ορίζεται ως η ικανότητα του συστήματος να αλλάζει το μίγμα των προϊόντων στην τρέχουσα παραγωγή, γεγονός για το οποίο είναι επίσης γνωστό και ως ευελιξία αλλαγής μίγματος (Carter 1986).

**Ευελιξία διαδικασίας** είναι η ικανότητα του συστήματος να παράγει ένα σύνολο προϊόντων χρησιμοποιώντας διαφορετικά υλικά και μεθόδους.

**Ευελιξία κατεργασίας** είναι η ικανότητα μεταβολής της σειράς των κατεργασιών που απαιτούνται για την παραγωγή κάθε τύπου προϊόντος.

**Ευελιξία βαθμού** ενός συστήματος παραγωγής είναι η ικανότητα να λειτουργεί κερδοφόρα ασχέτως μεταβολών στους όγκους παραγωγής των προϊόντων.

**Ευελιξία επέκτασης** ορίζεται ως η ευκολία με την οποία ένα σύστημα αυξάνει την ικανότητα παραγωγής, ταχύτητα και με ελάχιστο κόστος.

**Ευελιξία παραγωγής** είναι το σύνολο των προϊόντων που μπορεί να παράγει το σύστημα χωρίς περαιτέρω αύξηση του εξοπλισμού του. Αυτό το είδος της ευελιξίας απαιτεί την επίτευξη των προηγούμενων επτά τύπων ευελιξίας.

**Ευελιξία διαχείρισης υλικών** είναι η ικανότητα του συστήματος να μετακινεί ταχύτατα για αποθήκευση ή επεξεργασία διαφορετικούς τύπους προϊόντων.

**Ευελιξία προγράμματος** είναι η ικανότητα του συστήματος να λειτουργεί χωρίς εξωτερικές ρυθμίσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα.

**Ευελιξία αγοράς** ορίζεται ως η ευκολία προσαρμογής ενός συστήματος παραγωγής στη μεταβαλλόμενη ζήτηση προϊόντων.

**Ευελιξία εργασίας** είναι η περίπτωση μεταφοράς προσωπικού σε διαφορετικά τμήματα ενός οργανισμού, η οποία επιτυγχάνεται λόγω της ικανότητας του εργατικού δυναμικού να πραγματοποιεί μια ευρεία ποικιλία εργασιών.

Μέθοδοι υπολογισμού της ευελιξίας για τους περισσότερους από τους παραπάνω τύπους έχουν επιχειρηθεί στο παρελθόν. Ωστόσο, δεν υπήρξε μια συνεπής δομημένη



προσέγγιση για την εξέλιξη των τρόπων μέτρησης, με αποτέλεσμα η επιτυχία των μεθόδων αυτών να είναι σποραδική. Οι Gupta and Goyal (1989) παρουσίασαν μια ταξινόμηση των μέτρων ευελιξίας βασιζόμενοι στις μεθόδους με τις οποίες οι ερευνητές όρισαν την ευελιξία και στις προσεγγίσεις που χρησιμοποίησαν για τη μέτρησή της. Οι κατηγορίες που ορίστηκαν είναι οι ακόλουθες:

1. Μέτρα που βασίζονται στις οικονομικές συνέπειες.
2. Μέτρα που βασίζονται σε κριτήρια απόδοσης.
3. Η πολυδιάστατη προσέγγιση.
4. Η προσέγγιση Petri-nets.
5. Η θεωρητική προσέγγιση βασιζόμενη στην πληροφορία.
6. Η θεωρητική προσέγγιση βασιζόμενη στην απόφαση.

Έχοντας σε αυτό το στάδιο παρουσιάσει το θεωρητικό υπόβαθρο των ευέλικτων συστημάτων παραγωγής, προχωρούμε στη συνέχεια στη διατύπωση των ειδών ευελιξίας που θα εξετάσουμε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας.

### **1.3 Ευελιξία Μηχανής**

Μια μηχανή αποτελεί ένα από τα βασικά ιεραρχικά στοιχεία σε ένα σύστημα παραγωγής. Οι σύγχρονες μηχανές είναι εξοπλισμένες με αυτοματοποιημένα συστήματα αλλαγής εργαλείων αλλά και τεμαχίων, τα οποία επιτρέπουν την εκτέλεση διαφόρων λειτουργιών σε μια δεδομένη διαμόρφωση για σύντομους χρόνους φόρτωσης, εκφόρτωσης τεμαχίων και χρόνους αλλαγής εργαλείων. Η ευελιξία μηχανής ( $F_M$ ) είναι το απλούστερο είδος της ευελιξίας που μπορεί να οριστεί σε ένα σύστημα παραγωγής και αποτελεί αναγκαίο συστατικό για την αξιολόγηση της συνολικής ευελιξίας, καθώς είναι απαραίτητη για την απόκτηση και άλλων τύπων ευελιξίας όπως ευελιξία προϊόντος, διαδικασίας και κατεργασίας. Αν και κυρίως καθορίζεται από το υπάρχον υλικό, είναι αρκετά δύσκολο να υπολογιστεί αναλυτικά.

Οι παράμετροι που ακολουθούν χρησιμοποιούνται στη μέτρηση της ευελιξίας μηχανής, όπου:

- **Χρόνος προετοιμασίας της μηχανής (Setup time)**, ο οποίος περιλαμβάνει κυρίως τους χρόνους αλλαγής εργαλείων, εξαρτημάτων, φόρτωσης/εκφόρτωσης τεμαχίων, αλλαγής λογισμικού (για αριθμητικά ελεγχόμενες μηχανές, και αφορά προϊόντα με διαφορετικές τεχνικές προδιαγραφές από τις υπάρχουσες) και επισκευής της μηχανής έπειτα από βλάβη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο χρόνος αλλαγής λογισμικού θεωρείται αμελητέος για μηχανές που ελέγχονται από κεντρική υπολογιστική μονάδα. Ο χρόνος προετοιμασίας αντιπροσωπεύει την ικανότητα μιας μηχανής να αντεπεξέρχεται αποτελεσματικά στις μεταβολές που προκαλούνται από αλλαγή παρτίδας ή τεχνικών χαρακτηριστικών στα προϊόντα.
- **Η πολυμέρεια της μηχανής (Versatility)**, η οποία ορίζεται ως η ποικιλία των εργασιών που η μηχανή είναι σε θέση να επιτελέσει. Ως εργασίες θεωρούμε και επαναλαμβανόμενες κατεργασίες διαφορετικής μορφής (πλάγια ή εσωτερική τόννευση, διάτρηση διαφορετικής διαμέτρου κλπ), εργασίες που επιτελούνται με διαφορετικά εργαλεία και εργασίες που πραγματοποιούνται υπό διαφορετικές συνθήκες. Η πολυμέρεια της μηχανής εκφράζει την ικανότητά της να αντιμετωπίζει αλλαγές που προέρχονται από την αύξηση της ποικιλίας και της πολυμορφίας των προϊόντων που παράγει, και σχετίζεται με φυσικά χαρακτηριστικά όπως η ισχύς της μηχανής, ο αριθμός των αξόνων ελέγχου ή η ακρίβεια με την οποία η μηχανή επιτυγχάνει.

- **Η προσαρμοστικότητα της μηχανής (Adjustability)**, η οποία ορίζεται ως το μέγεθος του χώρου εργασίας και σχετίζεται με τις μέγιστες και ελάχιστες διαστάσεις των τεμαχίων που η μηχανή μπορεί να κατεργαστεί.

Αυτές οι παράμετροι δεν είναι ανεξάρτητες. Μια πολυμερής μηχανή, για παράδειγμα, ελαχιστοποιεί το χρόνο που απαιτείται για τις προετοιμασίες, προκειμένου να παραγάγει ένα σύνολο εξαρτημάτων. Ομοίως, το μέγεθος του χώρου εργασίας επηρεάζει το χρόνο φόρτωσης/εκφόρτωσης του τεμαχίου και, ως εκ τούτου, ασκεί μια επίδραση στη διάρκεια της περιόδου προετοιμασίας. Συσχετισμοί αυτού του είδους, αν και γνωστοί, είναι δύσκολο να οριστούν αναλυτικά. Επιπλέον, οι ιθύνοντες προτιμούν λεκτικές και όχι αριθμητικές τιμές στη μέτρηση της ευελιξίας. Λεκτικοί ή κανόνες ασαφούς λογικής ξεπερνούν τους περιορισμούς αναπαράστασης της γνώσης και επιτυγχάνουν αποτίμηση της ευελιξίας. Η ασαφής λογική παρέχει μια συστηματική βάση για τη διαχείριση τέτοιων εννοιών, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια:

Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι το  $T$  δηλώνει το σύνολο των λεκτικών τιμών που έχουν οριστεί, έτσι ώστε  $T_S, T_V, T_A$  και  $T_{F_M} \in T$  να είναι το σύνολο των λεκτικών τιμών για κάθε μια από τις αντίστοιχες λεκτικές μεταβλητές  $S, V, A$  και  $F_M$ . Οι κανόνες που αντιπροσωπεύουν τη γνώση των ιθυνόντων σχετικά με το πώς οι μεταβλητές επηρεάζουν την ευελιξία θα είναι της μορφής:

**AN**  $S$  είναι  $T_S$  **KAI**  $V$  είναι  $T_V$  **KAI**  $A$  είναι  $T_A$  **TOTE**  $F_M$  είναι  $T_{F_M}$

ή ισοδύναμα:

$$(T_S \text{ KAI } T_V \text{ KAI } T_A) \rightarrow T_{F_M}$$

όπου "KAI" υποδηλώνει ασαφή συνδυασμό, και το  $\rightarrow$  δηλώνει κάθε δεδομένη ασαφή επίπτωση (N. Tsourveloudis, E. Dretoulakis, S. Ioannidis (2000)).

## 1.4 Ευελιξία Δρομολόγησης

Η ευελιξία δρομολόγησης ( $F_R$ ) επιτρέπει τη γρήγορη αντίδραση σε απρόσμενα γεγονότα, όπως βλάβη της μηχανής, βλάβη του συστήματος διαχείρισης υλικών, επαναπροσδιορισμός προτεραιοτήτων παραγωγής, κ.λπ., χρησιμοποιώντας εναλλακτικές δρομολογήσεις. Σκοπός αυτού του τύπου ευελιξίας είναι να ελαχιστοποιεί την επίδραση των διακοπών λειτουργίας της παραγωγικής διαδικασίας και το χρόνο αδράνειας του συστήματος. Η ευελιξία δρομολόγησης διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

1. Δυνητική, όταν τα προϊόντα ακολουθούν συγκεκριμένες δρομολογήσεις αλλά μπορούν να επαναδρομολογηθούν όταν εκδηλώνονται απροσδόκητα γεγονότα και,
2. Πραγματική, όταν όμοια προϊόντα παράγονται μέσω διαφορετικών δρομολογήσεων ανεξαρτήτως απροσδόκητων γεγονότων.

Αν και τα οφέλη που απορρέουν από την ευελιξία δρομολόγησης είναι πλήρως κατανοητά μεταξύ των ερευνητών, υπάρχει ακόμα κάποια σύγχυση όσον αφορά τον ακριβή ορισμό της. Ανατρέχοντας κανείς στη βιβλιογραφία, θα παρατηρήσει ότι η ευελιξία δρομολόγησης επαναδιατυπώνεται ως ευελιξία προγραμματισμού, εργασιών, διαδικασίας και, πιο συχνά, ως ευελιξία παραγωγής. Επιτυγχάνεται όταν το σύστημα αποτελείται από πολυμερείς και πλεονάζουσες μηχανές, καθώς και από σύστημα διαχείρισης υλικών, λογισμικό αναδιάταξης ελέγχου και πλεονάζοντα εργαλεία και διαδικασίες. Οι προϋποθέσεις αυτές απαιτούν υψηλές επενδύσεις, καθιστώντας συχνά απαγορευτικά δαπανηρή την παραγωγή.

Η ευελιξία δρομολόγησης είναι μια εγγενής ιδιότητα του συστήματος παραγωγής και εκφράζει την ικανότητά του να ανταποκριθεί στην απροσδόκητες εσωτερικές αλλαγές και διακυμάνσεις (Joze Balic, Yannis A. Phillis, Nikos Tsourveloudis, Ivo

Pahole (2002)). Αυτός ο τύπος ευελιξίας στηρίζεται στην ύπαρξη πλεοναζουσών μηχανών, ικανών να εκτελούν κατεργασίες παρόμοιας ποιότητας. Η ικανότητα ενός συστήματος παραγωγής να αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τις βλάβες, που είναι το κύριο χαρακτηριστικό της ευελιξίας δρομολόγησης, υπάρχει μόνο στην περίπτωση όπου όμοιες κατεργασίες διαφορετικής ποιότητας εκτελούνται σε περισσότερες από μια μηχανές.

Στη συνέχεια, ορίζουμε τις λεκτικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην αποτίμηση της ευελιξίας δρομολόγησης, όπου:

- Κοινές κατεργασίες ( $C_O$ ), εκφράζει τον αριθμό των κοινών κατεργασιών που επιτελεί μια ομάδα μηχανών με στόχο την παραγωγή ενός συνόλου προϊόντων.
- Δείκτης αντικατάστασης ( $S_B$ ), εκφράζει την ικανότητα ενός συστήματος να αναδρομολογεί αποτελεσματικά την παραγωγή σε περιπτώσεις απροσδόκητων γεγονότων. Ο δείκτης αντικατάστασης σχετίζεται με το σύστημα διαχείρισης υλικών, τη χωροταξική διάταξη των μηχανών και την ποιότητα αντικατάστασης των κοινών κατεργασιών.

Η μορφή των κανόνων που αποτελούν τη βάση μέτρησης της  $F_R$  για την εκάστοτε ομάδα μηχανών είναι:

ΑΝ  $C_O$  είναι  $T_{C_O}$  ΚΑΙ  $S_B$  είναι  $T_{S_B}$  ΤΟΤΕ  $F_R$  είναι  $T_{F_R}$

ή ισοδύναμα:

$(T_{C_O} \text{ ΚΑΙ } T_{S_B}) \rightarrow T_{F_R}$

## **1.5 Ανακεφαλαίωση**

Η ανάπτυξη των ευέλικτων συστημάτων παραγωγής αποτελεί μια αποτελεσματική και απαραίτητη για την επιβίωση των βιομηχανικών επιχειρήσεων λύση στον έντονο ανταγωνισμό της σύγχρονης αγοράς. Παρ' όλο που τρόποι μέτρησης της βιομηχανικής ευελιξίας έχουν αναπτυχθεί από διακεκριμένους ερευνητές εδώ και δεκαετίες, ακόμη δεν υπάρχει μια οικουμενικά αποδεκτή μέθοδος μέτρησης, λόγω της δυσκολίας αποσαφηνοποίησης και ταξινόμησης των διαφόρων τύπων ευελιξίας.

## Κεφάλαιο 2: Προσομοίωση Γραμμής Παραγωγής

### 2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα δομικά μέρη του μοντέλου προσομοίωσης γραμμής παραγωγής, το οποίο αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας με χρήση του προγράμματος της Matlab/Simulink® (έκδοση R2009b), και στόχο έχει τη μέτρηση της ευελιξίας μηχανής και την εξαγωγή συμπερασμάτων συνολικά για την ευελιξία της γραμμής παραγωγής.

Πιο συγκεκριμένα, στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται και αναλύονται τα κύρια υποσυστήματα που αποτελούν το μοντέλο της γραμμής παραγωγής, καθώς και οι ασαφείς ελεγκτές που κατασκευάστηκαν για την προσομοίωσή της. Η ανάλυση των εκάστοτε υποσυστημάτων θα περιλαμβάνει την οπτική απεικόνιση και επεξήγηση του προγραμματισμού με τα οποία έχουν αναπτυχθεί. Θεωρείται δεδομένη η στοιχειώδης γνώση της Simulink για την καλύτερη κατανόηση των μοντέλων, ωστόσο, στην περίπτωση που ο αναγνώστης δεν κατέχει την γνώση που απαιτείται, τότε συμβουλεύεται να ανατρέξει στην αντίστοιχη βιβλιογραφία.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση και επεξήγηση του μοντέλου προσομοίωσης της γραμμής παραγωγής στον αναγνώστη, προκειμένου να τον διευκολύνει στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί το μοντέλο και της φιλοσοφίας που υπάρχει πίσω από την προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση της ευελιξίας μηχανής.

## 2.2 Παρουσίαση Μοντέλου

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε προσομοιώνει μια γραμμή παραγωγής η οποία αποτελείται από επτά αριθμητικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές, οι οποίες συνδέονται μέσω κατάλληλου συστήματος διαχείρισης υλικών (ταινιόδρομο) με οκτώ χώρους εναποθήκευσης. Οι μηχανές, αν και πανομοιότυπες, διακρίνονται με διαφορετικά χρώματα προκειμένου για τη διευκόλυνση του χρήστη κατά τη διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων μέσω των εκάστοτε score. Το μοντέλο περιλαμβάνει επτά μέσα προβολής (scope) των εξής στοιχείων:

1. Throughput
2. Mean Buffer Levels
3. Mean WIP
4. Utilization
5. Min Machine Flexibility
6. Max Machine Flexibility
7. Mean Machine Flexibility

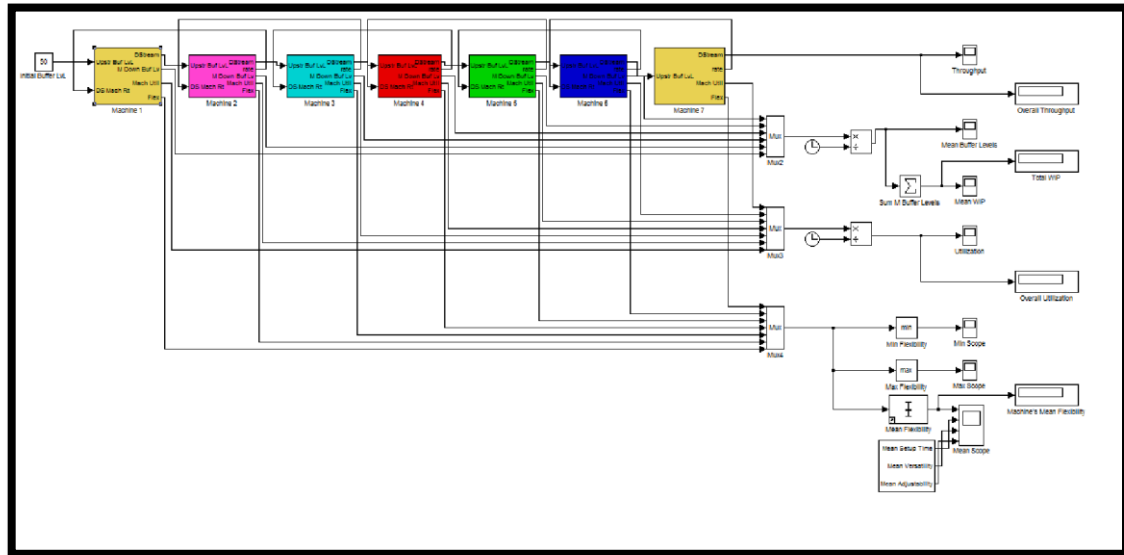
Σε καθένα από τα οποία οι μηχανές διακρίνονται με τα αντίστοιχα χρώματα

- Μηχανή 1: Κίτρινο
- Μηχανή 2: Ροζ
- Μηχανή 3: Κυανό
- Μηχανή 4: Κόκκινο
- Μηχανή 5: Πράσινο
- Μηχανή 6: Σκούρο μπλε
- Μηχανή 7: Κίτρινο

Το μοντέλο που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.1 αποτελεί προϊόν πολυάριθμων αλλαγών και τροποποιήσεων τόσο σε θέμα προγραμματισμού όσο και σε θέμα



προσέγγισης της μέτρησης ευελιξίας μηχανής. Η σωστή λειτουργία του μοντέλου προσομοίωσης τεκμηριώνεται από την ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε στην τελική μορφή του, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.



Εικόνα 2.1 Μοντέλο προσομοίωσης γραμμής παραγωγής Production\_Line.mdl

Η λειτουργία του μοντέλου στηρίζεται στην υπόθεση ότι η ροή των τεμαχίων μέσα στη γραμμή παραγωγής είναι συνεχής. Στην περίπτωση προσομοίωσης συνεχούς ροής, η παραγωγική διαδικασία προσεγγίζεται με την παραγωγή ενός ρευστού προϊόντος. Οι θεωρήσεις που έγιναν κατά την ανάπτυξη του μοντέλου είναι οι εξής:

1. Οι μηχανές παρουσιάζουν βλάβες τυχαία με πιθανότητα  $p_i$ , η οποία δίνεται από  $p_i = \frac{r_i}{c_0}$ ,  $i = 1, 2, \dots, 7$  όπου  $r_i$  ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής  $M_i$  και  $c_0$  μια σταθερά.
2. Οι μηχανές επισκευάζονται τυχαία με πιθανότητα  $pr_i$ . Θεωρούμε ότι είναι πάντα διαθέσιμο το απαραίτητο εργατικό δυναμικό για την επισκευή των βλαβών.
3. Οι χρόνοι μέχρι τη βλάβη και οι χρόνοι για την επισκευή είναι γεωμετρικά κατανομημένοι (διακριτού χρόνου μοντέλο με βήμα 0,1).
4. Όλες οι μηχανές λειτουργούν με γνωστούς, αλλά όχι απαραίτητα ίσους ρυθμούς παραγωγής. Κάθε μηχανή παράγει με ρυθμό  $r_i \leq \mu_i$ , όπου  $\mu_i$  είναι ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής της μηχανής  $M_i$ .

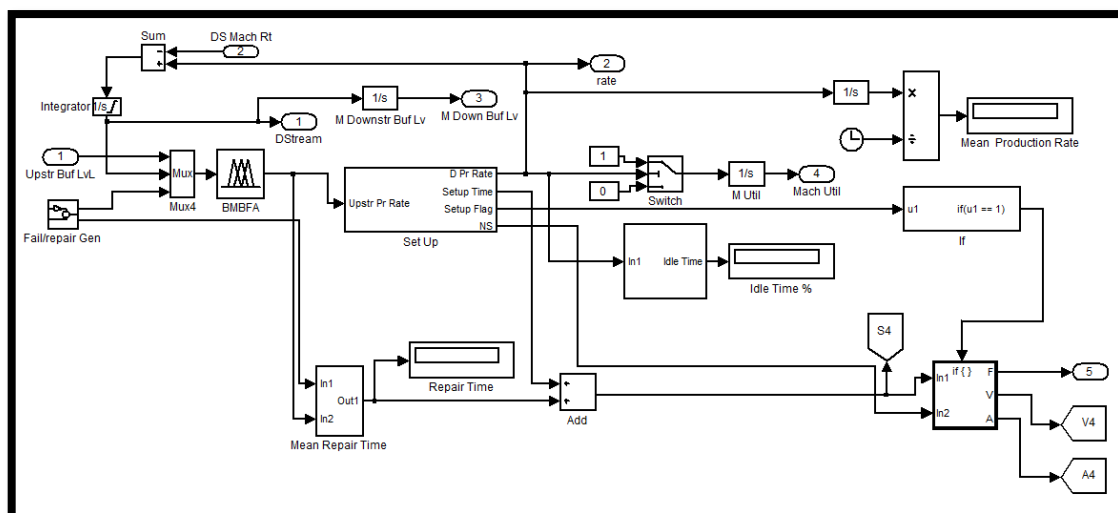
5. Ο αρχικός χώρος εναποθήκευσης είναι πηγή απεριόριστης πρώτης ύλης, με αποτέλεσμα η μηχανή που ακολουθεί να μην θεωρείται ποτέ αποστερημένη.
6. Ο τελευταίος χώρος εναποθήκευσης έχει άπειρη χωρητικότητα, συνεπώς, η τελευταία μηχανή δεν θεωρείται ποτέ αποκλεισμένη.
7. Οι χώροι εναποθήκευσης μεταξύ δυο γειτονικών μηχανών  $M_i, M_j$  έχουν περιορισμένη χωρητικότητα ίση με  $BC_{ij}$ ,  $i, j = 0, 1, 2, \dots, 50$ .
8. Οι μηχανές που αποτελούν τη γραμμή παραγωγής, αν και πανομοιότυπες, δεν παρουσιάζουν απαραίτητα την ίδια συμπεριφορά λόγω διαφορετικών τιμών στις παραμέτρους προσομοίωσης.
9. Ο όγκος των διαφορετικών προϊόντων που παράγονται δεν επηρεάζει τον αντίστοιχο χρόνο φόρτωσης/εκφόρτωσης τεμαχίων και, κατ' επέκταση, το χρόνο προετοιμασίας.
10. Η υπό εξέταση γραμμή παραγωγής παράγει προϊόντα μικρού σχετικά όγκου, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ του  $[0,15, 1,5] m^3$ .
11. Η πολυμέρεια της εκάστοτε μηχανής δεν αναφέρεται σε μια σταθερή τιμή, αλλά σε μια μεταβλητή η οποία αυξάνεται κατά μια μονάδα κάθε φορά που η μηχανή εισέρχεται σε κατάσταση αλλαγής και παράγει ένα διαφορετικό είδος προϊόντος.

Έχοντας παρουσιάσει στον αναγνώστη όλες τις βασικές πληροφορίες του μοντέλου, προχωρούμε στην ανάλυση των δομικών υποσυστημάτων του.

### 2.2.1 Υποσύστημα Μηχανής

Η μηχανή αποτελεί ίσως το πιο βασικό κομμάτι ενός συστήματος παραγωγής. Δέχεται ακατέργαστα κομμάτια ή πρώτες ύλες και επιτελεί ένα σύνολο κατεργασιών πριν τα επαναπροωθήσει στη διαδικασία παραγωγής, μέσω κατάλληλου συστήματος διαχείρισης υλικών.

Κάθε μηχανή χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες τεχνικές προδιαγραφές, οι οποίες ορίζονται από τον κατασκευαστή της και εκφράζουν τις δυνατότητές της. Στα μοντέλα προσομοίωσης που κατασκευάστηκαν στο πλαίσιο της εργασίας αυτής δίνεται η δυνατότητα τροποποίησης των τεχνικών προδιαγραφών των μηχανών προκειμένου να ικανοποιούν κάθε φορά τις ανάγκες του συστήματος παραγωγής που εξετάζεται.

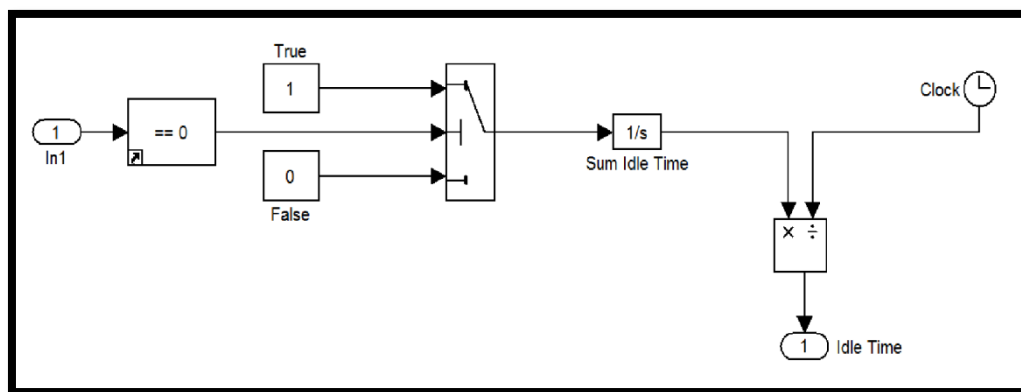


**Εικόνα 2.2 Υποσύστημα μηχανής γραμμής παραγωγής**

Το υποσύστημα της μηχανής το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.2 περιλαμβάνει τους μηχανισμούς υπολογισμού των εξής παραμέτρων:

- **Ρυθμός παραγωγής μηχανής:** Οι τιμές του οποίου κυμαίνονται στο διάστημα από μηδέν έως είκοσι ( παραγόμενα τεμάχια/ χρονική μονάδα προσομοίωσης). Ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής αποτελεί την έξοδο του ασαφούς ελεγκτή ονόματι BMBFA.fis, η ανάλυση του οποίου γίνεται σε ενότητα που ακολουθεί. Το υποσύστημα της μηχανής υπολογίζει κάθε φορά και τη μέση τιμή του ρυθμού παραγωγής της με χρήση κατάλληλου μπλοκ.
- **Χρόνος λειτουργίας μηχανής:** Ανάλογα με το ρυθμό παραγωγής της υπό εξέταση μηχανής, το μπλοκ ονόματι Switch δίνει τις τιμές 1=μηχανή σε λειτουργία, ή 0=μηχανή υπό επισκευή. Στη συνέχεια, το άθροισμα των εξόδων του Switch διαιρείται με τον συνολικό χρόνο προσομοίωσης, από τον οποίο προκύπτει ο ποσοστιαίος χρόνος λειτουργίας της μηχανής και συνολικά της γραμμής παραγωγής.

- Στάθμη χώρου εναποθήκευσης που έπεται: Αποτελεί το άθροισμα των διαφορών των ρυθμών παραγωγής της παρούσας μηχανής και της μηχανής που ακολουθεί για κάθε χρονική μονάδα προσομοίωσης.
- Χρόνος αδράνειας μηχανής: Στην Εικόνα 2.3 παρουσιάζεται ο μηχανισμός που υπολογίζει τον συνολικό χρόνο αδράνειας της μηχανής, όπου αν ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής είναι μηδέν, τότε το μπλοκ τύπου Switch εξάγει τιμές 1=μηχανή σε αδράνεια, αλλιώς 0=μηχανή σε λειτουργία. Στη συνέχεια, το άθροισμα των εξόδων του Switch διαιρείται με τον συνολικό χρόνο προσομοίωσης, από τον οποίο προκύπτει ο ποσοστιαίος χρόνος αδράνειας της μηχανής.



Εικόνα 2.3 Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου αδράνειας μηχανής

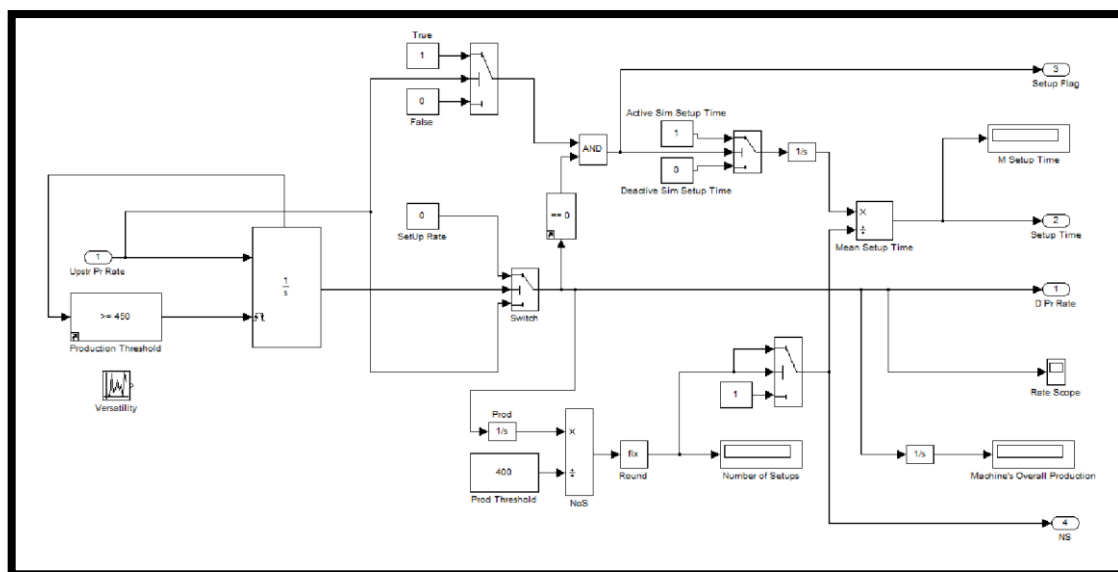
- Χρόνος προετοιμασίας μηχανής: Αποτελεί το άθροισμα του χρόνου αλλαγής και του χρόνου επισκευής της υπό εξέταση μηχανής. Πρόκειται για λεκτική μεταβλητή του ασαφούς ελεγκτή MFC.fis, ο οποίος υπολογίζει την ευελιξία της μηχανής. Η ανάλυση του υποσυστήματος υπολογισμού του χρόνου προετοιμασίας θα πραγματοποιηθεί σε επόμενη ενότητα.
- Μέτρηση ευελιξίας μηχανής: Το υποσύστημα της μέτρησης ευελιξίας μηχανής ενεργοποιείται κάθε φορά που η υπό εξέταση μηχανή εισέρχεται σε

κατάσταση αλλαγής, προϋπόθεση που ικανοποιείται από τη συνθήκη ελέγχου AN-TOTE. Δέχεται ως ορίσματα τον χρόνο προετοιμασίας και τον αριθμό των διαφορετικών κατεργασιών που έχει πραγματοποιήσει η μηχανή μέχρι εκείνη τη στιγμή της προσομοίωσης.

Έχοντας σε αυτό το στάδιο αναλύσει το υποσύστημα της μηχανής, προχωρούμε στη συνέχεια στην ανάλυση του υποσυστήματος υπολογισμού του χρόνου προετοιμασίας της εκάστοτε μηχανής.

### **2.2.2 Υποσύστημα Υπολογισμού Χρόνου Προετοιμασίας**

Όπως έχει ειπωθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο χρόνος προετοιμασίας της μηχανής περιλαμβάνει κυρίως τους χρόνους αλλαγής εργαλείων, εξαρτημάτων, φόρτωσης/εκφόρτωσης τεμαχίων, αλλαγής λογισμικού και επισκευής της μηχανής έπειτα από βλάβη. Προκύπτει από το άθροισμα του χρόνου αλλαγής και του χρόνου επισκευής της μηχανής ύστερα από βλάβη. Αποτελεί λεκτική μεταβλητή του ασαφούς ελεγκτή MFC.fis, ο οποίος εξάγει την τιμή ευελιξίας μηχανής. Στην Εικόνα 2.4 παρουσιάζεται το υποσύστημα το οποίο δέχεται ως είσοδο το ρυθμό παραγωγής της υπό εξέταση μηχανής και υπολογίζει το χρόνο αλλαγής της.



Εικόνα 2.4 Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου αλλαγής

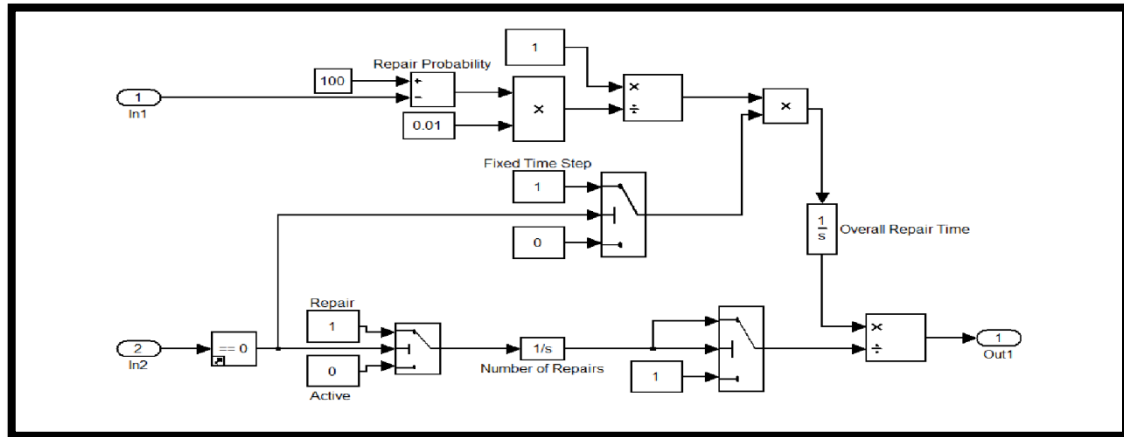
Στο παραπάνω δομικό διάγραμμα διενεργείται πλήθος διεργασιών οι οποίες επεξηγούνται στη συνέχεια:

- Ο χρόνος κατά τον οποίο η μηχανή βρίσκεται σε κατάσταση αλλαγών. Προκειμένου η μηχανή να βρίσκεται σε κατάσταση αλλαγής, προϋποτίθεται η ικανοποίηση δυο λογικών συνθηκών. Η πρώτη λογική συνθήκη προϋποθέτει ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής πριν το μπλοκ Switch να είναι διάφορος του μηδενός. Η δεύτερη λογική συνθήκη προϋποθέτει η τιμή του ρυθμού παραγωγής μετά το μπλοκ Switch να ισούται με το μηδέν. Εάν πληρούνται και οι δύο προϋποθέσεις, τότε το μπλοκ ονόματι Switch1 εξάγει την τιμή 1=Μηχανή σε κατάσταση αλλαγής, αλλιώς 0=Μηχανή λειτουργική. Το άθροισμα των εξόδων του μπλοκ Switch1 για κάθε χρονική μονάδα προσομοίωσης ισούται με τον συνολικό χρόνο κατά τον οποίο η μηχανή βρίσκεται σε κατάσταση αλλαγής.
- Το πλήθος των καταστάσεων αλλαγής στις οποίες έχει εισέλθει η μηχανή. Ο λόγος της συνολικής παραγωγής της μηχανής ως προς τον αριθμό των

τεμαχίων που αποτελούν μια παρτίδα μας δίνει το πλήθος των καταστάσεων αλλαγής. Στην αρχή του κύκλου παραγωγής της γραμμής παραγωγής όλες οι μηχανές του συστήματος βρίσκονται σε κατάσταση προετοιμασίας. Για αυτό το λόγο, η τιμή της πολυμέρειας, αλλά και ο αριθμός των καταστάσεων αλλαγής της εκάστοτε μηχανής, ξεκινούν από την τιμή ένα.

- Ο αριθμός τεμαχίων μέχρι την επομένη παρτίδα. Μόλις το άθροισμα των παραγόμενων τεμαχίων (μπλοκ ονόματι C Prod) φτάσει ένα κατώφλι το οποίο εκφράζει το μέγεθος παρτίδας, τότε μηδενίζεται αυτόματα και εκκινεί εκ νέου από την αρχή για την επόμενη παρτίδα προϊόντος. Η διαφορά των σταθερών ονόματι Production Threshold και Prod Threshold μάς δίνει την ελάχιστη χρονική διάρκεια της κατάστασης αλλαγής πολλαπλασιαζόμενη (σε χρονικές μονάδες προσομοίωσης) με την σταθερά 0,007 (η σταθερά εκφράζει την αναλογία που συνδέει τον αριθμό τεμαχίων με τη χρονική μονάδα προσομοίωσης). Για όσο χρόνο η μηχανή βρίσκεται σε κατάσταση αλλαγής, ο ρυθμός παραγωγής της είναι μηδέν.
- Η μέση χρονική διάρκεια των καταστάσεων αλλαγής. Ο λόγος του συνολικού χρόνου κατά τον οποίο η μηχανή βρίσκεται σε κατάσταση αλλαγής ως προς το πλήθος των καταστάσεων αλλαγής στις οποίες έχει εισέλθει η υπό εξέταση μηχανή μάς δίνει τον μέσο χρόνο διάρκειας κατάστασης αλλαγής.
- Η πολυμέρεια της μηχανής. Η πολυμέρεια της εκάστοτε μηχανής δεν αναφέρεται σε μια σταθερή προδιαγραφή της, αλλά σε μια μεταβλητή, η οποία αυξάνεται κατά μια μονάδα κάθε φορά που η μηχανή εισέρχεται σε κατάσταση αλλαγής και παράγει ένα διαφορετικό είδος προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα, θεωρούμε ότι η μηχανή πραγματοποιεί διαφορετικό είδος κατεργασίας για κάθε νέα παρτίδα προϊόντος.

Στη συνέχεια αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού του χρόνου επισκευής της μηχανής. Υπολογίζεται ο συνολικός χρόνος όπου η μηχανή βρίσκεται σε επισκευή και διαιρείται από τον αριθμό των επισκευών της μηχανής. Το πηλίκο είναι ο μέσος χρόνος επισκευής της μηχανής.



Εικόνα 2.5 Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου επισκευής

Υπενθυμίζουμε σε αυτό το σημείο την θεώρηση κατά την οποία είναι πάντα διαθέσιμο το απαραίτητο εργατικό δυναμικό για την επισκευή των βλαβών των μηχανών του συστήματος.

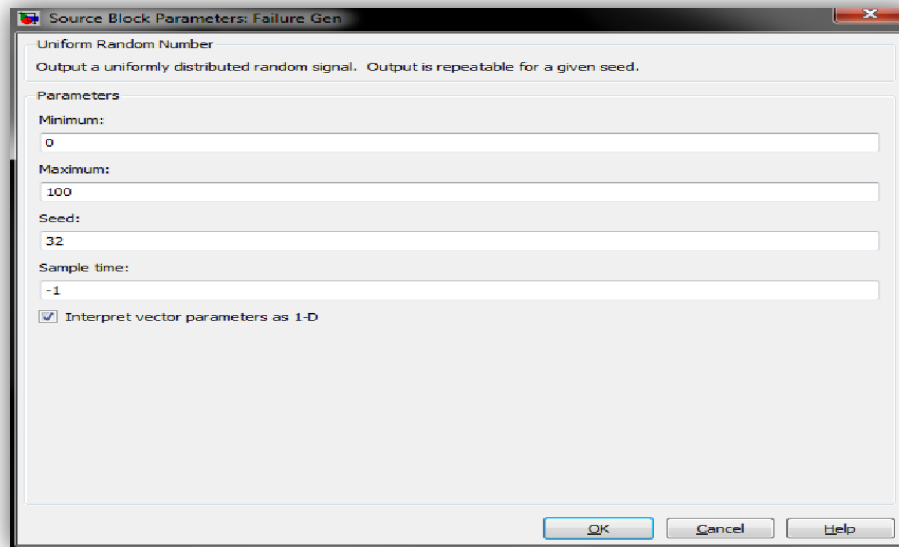
### 2.2.3 Υποσύστημα Υπολογισμού Πιθανότητας Βλάβης/Επισκευής

Όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 2.1, οι μηχανές παρουσιάζουν βλάβες τυχαία με πιθανότητα  $p_i$ , η οποία δίνεται από λόγο  $p_i = \frac{r_i}{c_0}$ ,  $i = 1, 2, \dots, 7$  όπου  $r_i$  ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής  $M_i$  και  $c_0$  μια σταθερά. Οι χρόνοι μέχρι τη βλάβη και οι χρόνοι για την επισκευή είναι γεωμετρικά κατανεμημένοι.

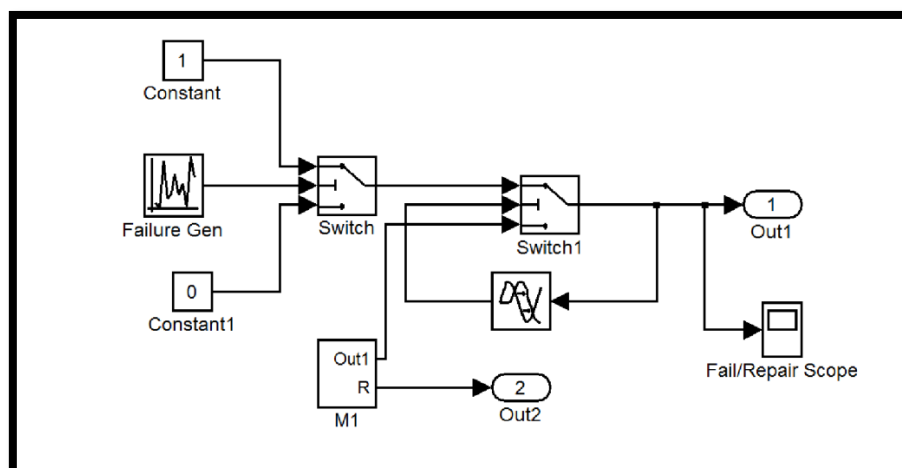
Στο υποσύστημα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.7, το μπλοκ ονόματι Failure Gen παράγει τυχαίους αριθμούς ομοιόμορφα κατανεμημένους σε ένα διάστημα μεταξύ του μηδέν και του εκατό έχοντας ένα ρυθμιζόμενο σπόρο εκκίνησης, ο οποίος λαμβάνει διαφορετικές τιμές για κάθε μηχανή διασφαλίζοντας την τυχαιότητα των



τιμών. Αν η παραγόμενη τιμή είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι του μπλοκ Switch, τότε εξάγεται η τιμή 1=βλάβη, αλλιώς 0=όχι βλάβη. Στο μπλοκ Switch1 γίνεται σύγκριση των τιμών και βάσει αυτής καθορίζεται η λειτουργική κατάσταση της μηχανής. Το μπλοκ ονόματι Transport Delay1 για τιμή της παραμέτρου Time Delay ίση με 0,1 διασφαλίζει τη σειρά και τη διάρκεια του κάθε αποτελέσματος.



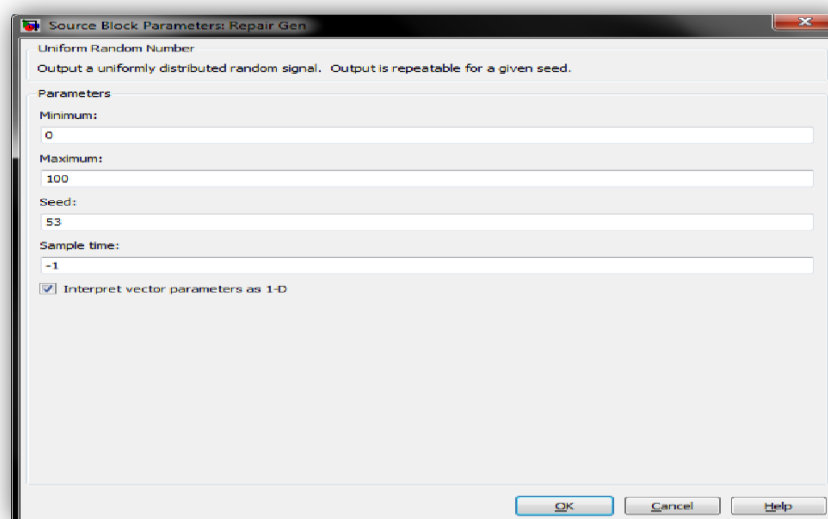
Εικόνα 2.6 Παράμετροι λειτουργίας μπλοκ Failure Gen



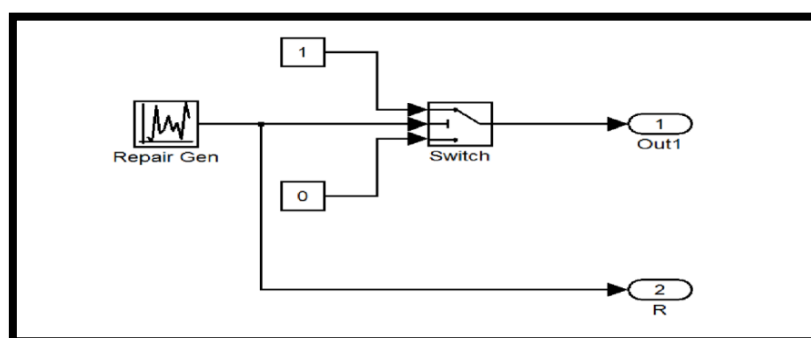
Εικόνα 2.7 Υποσύστημα υπολογισμού πιθανότητας βλάβης

Οι μηχανές επισκευάζονται τυχαία με πιθανότητα  $pr_i$ . Θεωρούμε ότι είναι πάντα διαθέσιμο το απαραίτητο εργατικό δυναμικό για την επισκευή των βλαβών. Το μπλοκ ονόματι Repair Gen παράγει τυχαίους αριθμούς ομοιόμορφα κατανομημένους σε ένα διάστημα μεταξύ του μηδέν και του εκατό έχοντας ένα ρυθμιζόμενο σπόρο εκκίνησης, ο οποίος λαμβάνει διαφορετικές τιμές για κάθε μηχανή διασφαλίζοντας την τυχειότητα των τιμών. Αν η παραγόμενη τιμή είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι του μπλοκ Switch, τότε εξάγεται η τιμή 1=Επισκευή, αλλιώς 0=όχι επισκευή. Στη συνέχεια, ο χρόνος επισκευής της μηχανής εξάγεται προς το υποσύστημα υπολογισμού του συνολικού χρόνου επισκευής.

Στην Εικόνα 2.8 παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου του προγράμματος με τον χρήστη όπου εμφανίζονται οι τιμές των παραμέτρων του μπλοκ Repair Gen.



Εικόνα 2.8 Παράμετροι λειτουργίας μπλοκ Repair Gen

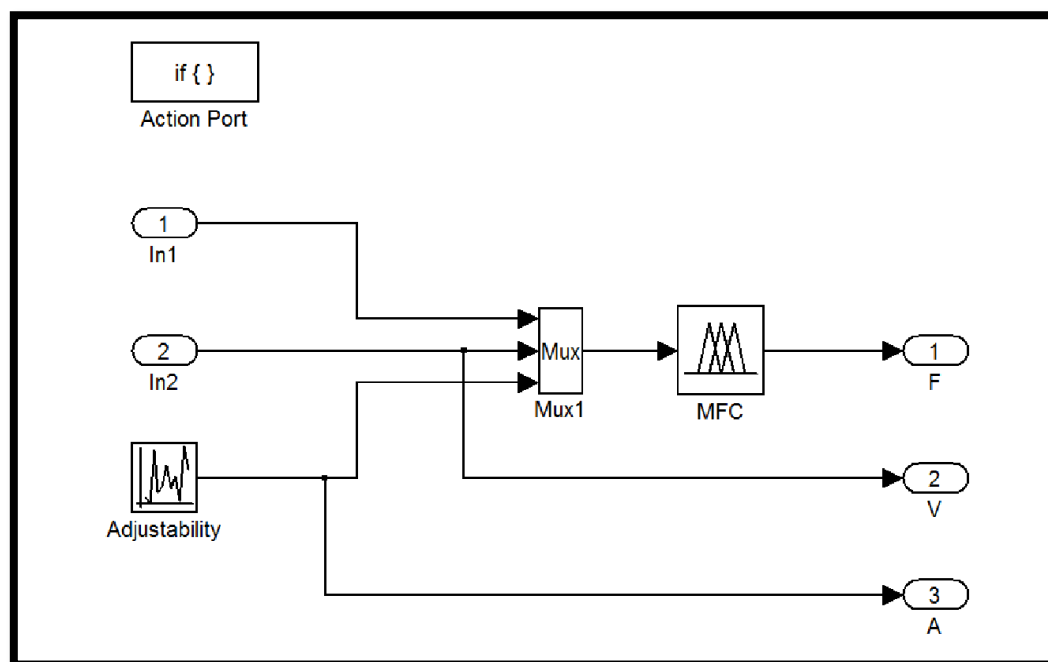


Εικόνα 2.9 Υποσύστημα Υπολογισμού Πιθανότητας Επισκευής

Η δεύτερη έξοδος του υποσυστήματος με την ονομασία R χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μέσου χρόνου επισκευής της μηχανής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.9.

#### 2.2.4 Υποσύστημα Υπολογισμού Ευελιξίας Μηχανής

Το υποσύστημα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.10 υπολογίζει την ευελιξία της μηχανής. Δέχεται δύο ορίσματα, τα οποία είναι ο χρόνος προετοιμασίας της μηχανής (In1) και η πολυμέρεια της μηχανής (In2). Η ενεργοποίηση του υποσυστήματος γίνεται μόνο στην περίπτωση κατά την οποία η μηχανή βρίσκεται σε κατάσταση αλλαγής, προϋπόθεση που ικανοποιείται από τη συνθήκη ελέγχου AN-TOTE. Σε κάθε ενεργοποίηση του υποσυστήματος το μπλοκ ονόματι Adjustability παράγει τυχαίους αριθμούς ομοιόμορφα κατανομημένους σε ένα διάστημα μεταξύ 0,15 με 1,5  $m^3$  (θεωρώντας ότι η συγκεκριμένη γραμμή παραγωγής παράγει σχετικά μικρά σε όγκο προϊόντα), έχοντας ένα ρυθμιζόμενο σπόρο εκκίνησης ο οποίος λαμβάνει διαφορετικές τιμές για κάθε μηχανή διασφαλίζοντας την τυχειότητα των τιμών.



Εικόνα 2.10 Υποσύστημα υπολογισμού ευελιξίας μηχανής

Το μπλοκ MFC αναπαριστά τον ασαφή ελεγκτή MFC.fis, ανάλυση του οποίου θα γίνει στην ενότητα που ακολουθεί.

### **2.2.5 Ασαφής Ελεγκτής MFC.fis**

Η εργαλειοθήκη ασαφούς λογικής είναι μια συλλογή από συναρτήσεις που δημιουργούνται στο περιβάλλον αριθμητικού υπολογισμού της Matlab. Παρέχει τα εργαλεία για τη δημιουργία και την εισαγωγή ασαφών συστημάτων εξαγωγής συμπερασμάτων σε προσομοιώσεις δυναμικών μοντέλων με το λογισμικό πακέτο της Simulink.

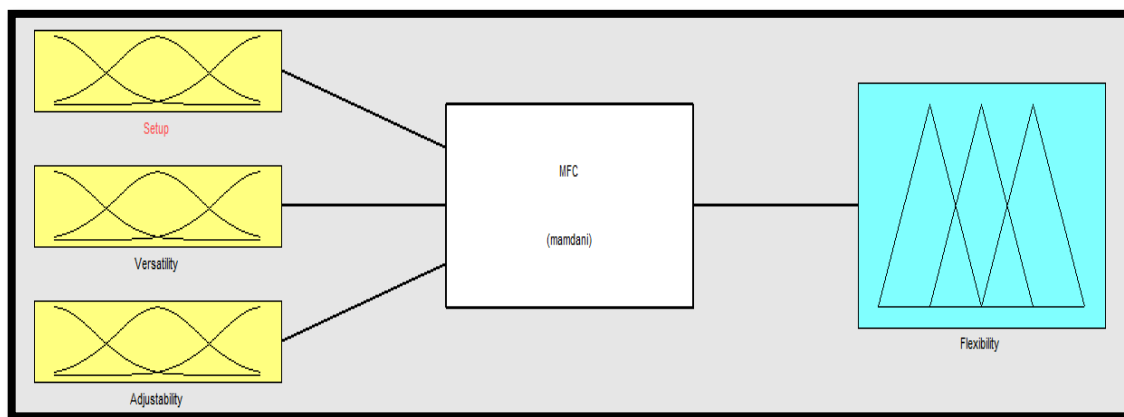
Ο έλεγχος διαδικασιών ή συστημάτων με ασαφείς ελεγκτές προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιων λεκτικών κανόνων που περιγράφουν τις αντιδράσεις ενός ανθρώπου-χειριστή. Αυτοί οι κανόνες περιγράφονται από ένα σύνολο προτάσεων της μορφής "ΑΝ Α ΤΟΤΕ Β". Είναι προφανές ότι σε πολύπλοκες διαδικασίες δεν είναι γνωστοί όλοι οι κανόνες εκ των προτέρων. Συνεπώς, απαιτείται ένας μηχανισμός που να μπορεί να παίρνει αποφάσεις με ελλιπή στοιχεία, πράγμα που η ασαφής λογική αποδεικνύεται ότι μπορεί να κάνει.

Τα βασικά στοιχεία (Ροβέρτος Ε. Κινγκ (2004)) ενός ασαφούς ελεγκτή είναι τα ακόλουθα:

1. Βάση γνώσης: Σε αυτή είναι αποθηκευμένοι οι κανόνες ελέγχου της διαδικασίας.
2. Ασαφή σύνολα: Έχοντας ορίσει τα ασαφή σύνολα είναι δυνατή η μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.
3. Ασαφοποιητής: Αναλαμβάνει τη μετατροπή των πραγματικών τιμών των μεταβλητών εισόδου του ελεγκτή σε ασαφή σύνολα.
4. Μηχανισμός συμπερασμού: Εκεί παράγονται μέσω συνεπαγωγών τα ασαφή σύνολα των συμπερασμών.

5. Αποασαφοποιητής: Τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων μετατρέπονται σε πραγματικούς αριθμούς έτσι, ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση της δράσης ελέγχου στη διαδικασία.

Στην Εικόνα 2.11 που ακολουθεί παρουσιάζεται το διάγραμμα του ασαφούς ελεγκτή MFC.fis, το οποίο περιέχει πληροφορίες που αφορούν τα ορίσματα που διαχειρίζεται και τη μέθοδο συμπερασμού που χρησιμοποιεί.



Εικόνα 2.11 Ασαφής ελεγκτής MFC.fis

Ο ελεγκτής MFC.fis δέχεται ως ορίσματα τον χρόνο προετοιμασίας (Setup), την πολυμέρεια (Versatility) και την προσαρμοστικότητα (Adjustability) της εκάστοτε μηχανής και εξάγει ως αποτέλεσμα την τιμή της ευελιξίας της (Flexibility).

Προκειμένου να οριστεί πλήρως ο μηχανισμός συμπερασμού του ελεγκτή, χρειάζεται πρώτα να οριστεί ο τελεστής συνεπαγωγής, ο τελεστής σύνθεσης που χρησιμοποιείται, το συνδετικό μεταξύ των είκοσι επτά λεκτικών κανόνων και ο τελεστής "ΚΑΙ" που ενώνει τις προϋποθέσεις των κανόνων. Στον Πίνακα 2.1 που παρουσιάζεται στη συνέχεια εμπεριέχονται τα πορίσματα που απαιτούνται.

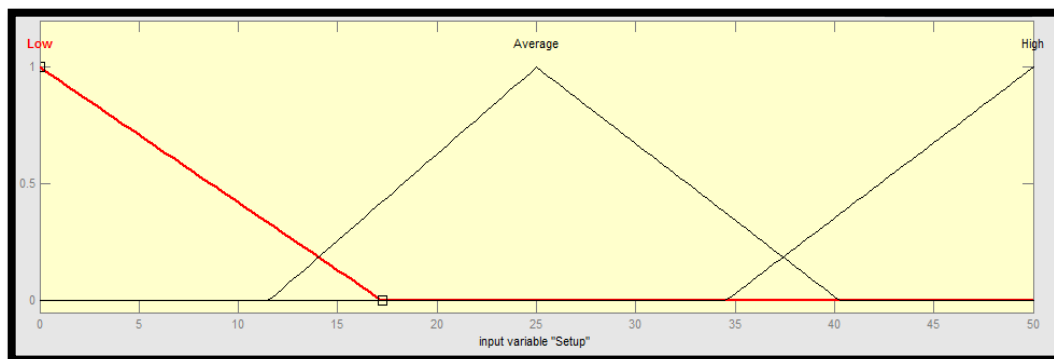
**Πίνακας 2.1 Μηχανισμός συμπερασμού MFC.fis**

Μέθοδος Συμπερασμού	mamdani
Τελεστής “ΚΑΙ”	min
Τελεστής “Η”	max
Τελεστής Συνεπαγωγής	min
Τελεστής Σύνθεσης	max
Αποασαφοποίηση	centroid

Η τιμή του χρόνου προετοιμασίας της εκάστοτε μηχανής εξαρτάται από μια πληθώρα παραμέτρων της παραγωγής, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι εξής:

- Το πλήθος των βλαβών και η διάρκεια των επισκευών,
- Το πλήθος των καταστάσεων αλλαγής.

Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω, η τιμή της μεταβλητής εισόδου του χρόνου προετοιμασίας δεν είναι σταθερή και διαφοροποιείται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Στη συνέχεια, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.12, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “Setup”, βάσει των οποίων θα γίνει μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.



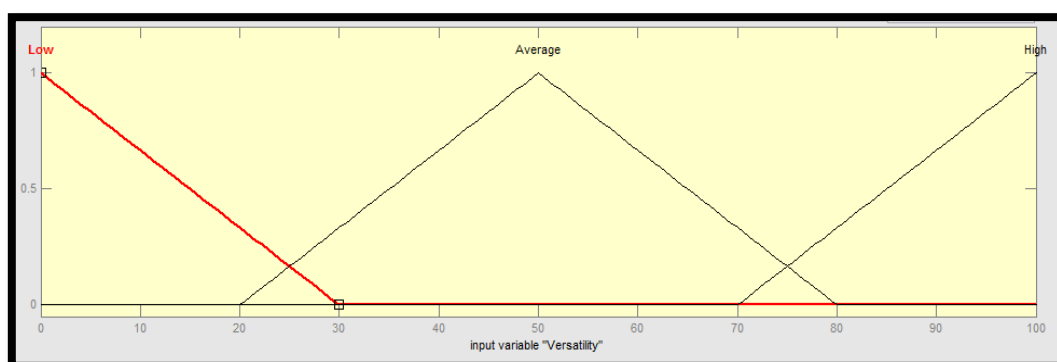
**Εικόνα 2.12 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Setup”**

**Πίνακας 2.2 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Setup”**

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
Low (trimf)	[0 0 17,26]
Average (trimf)	[11,51 25 40,27]
High (trimf)	[34,52 50 50]

Η λεκτική μεταβλητή της πολυμέρειας εκφράζει το πλήθος των διαφορετικών κατεργασιών που η μηχανή επιτέλεσε καθ'όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Κάθε φορά που η μηχανή εισερχόταν σε κατάσταση αλλαγής, το πλήθος των κατεργασιών αυξανόταν κατά μια μονάδα. Θεωρούμε ότι σε 2000 χρονικές μονάδες προσομοίωσης το μέγιστο πλήθος κατεργασιών που μπορεί να φτάσει η μηχανή είναι 100.

Πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “Versatility” δίνονται στην Εικόνα 2.13 που ακολουθεί καθώς και στον **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..**



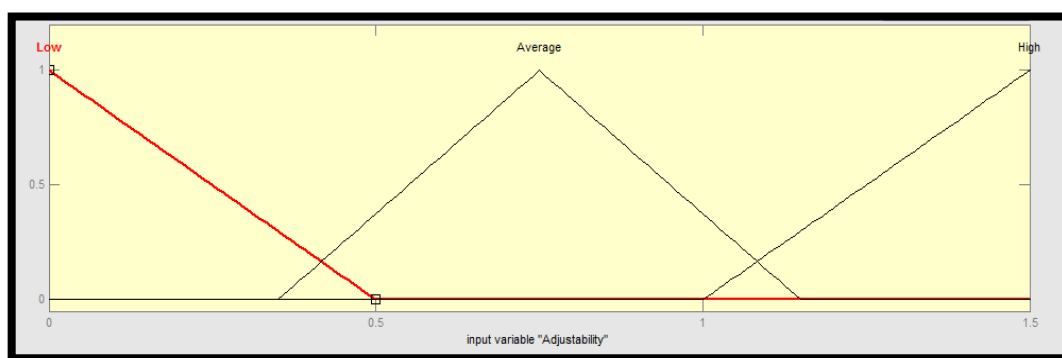
**Εικόνα 2.13 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Versatility”**

Πίνακας 2.3 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Versatility”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
Low (trimf)	[0 0 30]
Average (trimf)	[20 50 80]
High (trimf)	[70 100 100]

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου, η προσαρμοστικότητα της μηχανής (Adjustability) ως μεταβλητή εισόδου του ασαφούς ελεγκτή MFC.fis παίρνει τις τιμές της από το μπλοκ ονόματι Adjustability, το οποίο παράγει τυχαίους αριθμούς ομοιόμορφα κατανεμημένους σε ένα διάστημα μεταξύ 0,15 με  $1,5 \text{ m}^3$  (θεωρώντας ότι το συγκεκριμένο σύστημα παράγει σχετικά μικρά σε όγκο προϊόντα). Η τιμή της μεταβλητής εισόδου παίρνει νέες τιμές κάθε φορά που η μηχανή εισέρχεται σε κατάσταση αλλαγής για διαφορετικό είδος προϊόντος.

Ομοίως με τα προηγούμενα, πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “Adjustability” δίνονται στην Εικόνα 2.14 που ακολουθεί καθώς και στον Πίνακα 2.4.



Εικόνα 2.14 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Adjustability”

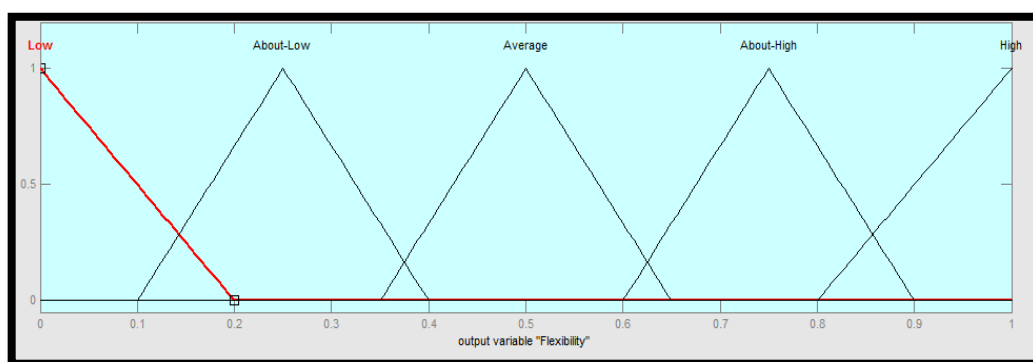


Πίνακας 2.4 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Adjustability”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
Low (trimf)	[0 0 0,5]
Average (trimf)	[0,35 0,75 1,15]
High (trimf)	[1 1,5 1,5]

Έπειτα από την αποασαφηνopoίηση και τη μετατροπή των ασαφών συνόλων των συμπερασμάτων σε πραγματικούς αριθμούς βάσει του μηχανισμού συμπερασμού του ελεγκτή MFC.fis, εξάγεται η τιμή της ευελιξίας της μηχανής. Η ευελιξία της μηχανής σχετίζεται με την ταχύτητα προσαρμογής της μηχανής σε νέες συνθήκες παραγωγής. Κάθε παράμετρος της παραγωγικής διαδικασίας επηρεάζει με συγκεκριμένο τρόπο την τιμή της ευελιξίας μηχανής, όπως αναλύθηκε και στην Ενότητα 1.3.

Στη συνέχεια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.15 και στον **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εξόδου “Flexibility”, βάσει των οποίων θα γίνει μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.



Εικόνα 2.15 Πεδίο Γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “Flexibility”

**Πίνακας 2.5 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “Flexibility”**

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
Low (trimf)	[0 0 0,2]
About Low (trimf)	[0,1 0,25 0,4]
Average (trimf)	[0,35 0,5 0,65]
About High (trimf)	[0,6 0,75 0,9]
High (trimf)	[0,8 1 1]

Η σχεδίαση ενός ασαφούς ελεγκτή εντοπίζεται κυρίως στην εύρεση κατάλληλων λεκτικών κανόνων έτσι, ώστε το κλειστό σύστημα να ικανοποιεί κάποιες δεδομένες προϋποθέσεις. Δυστυχώς, στη θεωρία των ασαφών ελεγκτών δεν υπάρχουν συγκεκριμένες διαδικασίες ούτως ώστε να σχεδιαστεί ένας τέτοιος ελεγκτής, σε αντίθεση με τη γραμμική θεωρία αυτομάτου ελέγχου όπου υπάρχουν τεχνικές όπως ο γεωμετρικός τόπος ριζών, τα διαγράμματα Nyquist κλπ. Το πρόβλημα είναι ότι η σχέση εισόδου/εξόδου του ελεγκτή είναι μη γραμμική και πολύ δύσκολο να περιγραφεί μαθηματικά. Παρ’ όλα αυτά, δημιουργήθηκαν κάποιες δοκιμές με σκοπό να δείξουν αν μια βάση κανόνων πληροί ορισμένα βασικά κριτήρια, όπως αν είναι πλήρης κ.λπ. Τα βασικά κριτήρια για την ανάλυση των κανόνων είναι τα ακόλουθα:

- **Πληρότητα** - Είναι αρκετοί οι κανόνες που δημιουργήθηκαν;
- **Συνέπεια** - Μήπως οι κανόνες αλληλοσυγκρούονται;
- **Πλεονασμός** - Μήπως υπάρχουν στη βάση κανόνων κάποιοι περιττοί κανόνες;
- **Αλληλεπίδραση** - Υπάρχουν κάποιοι κανόνες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους;

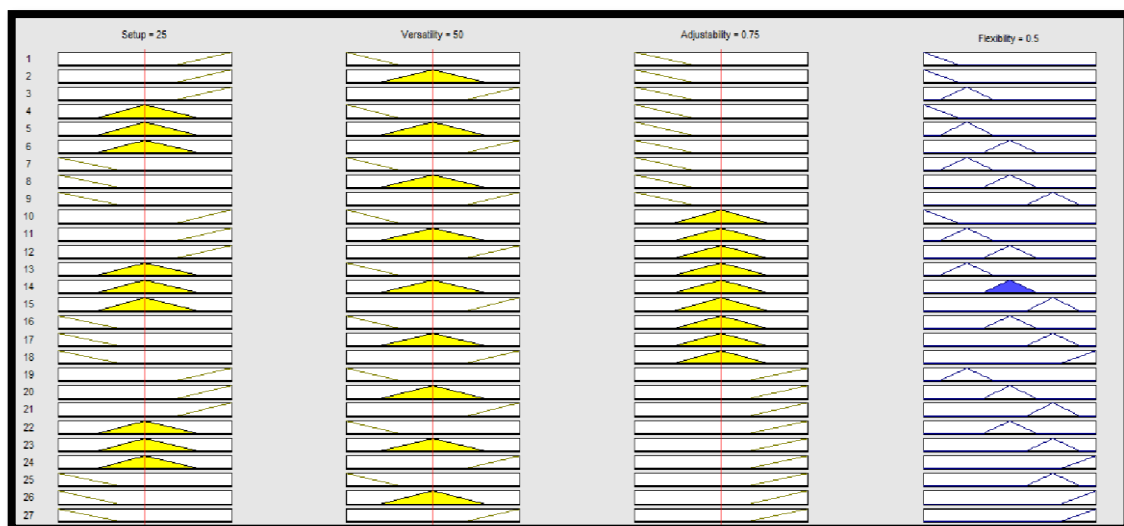
Ικανοποιώντας τα παραπάνω κριτήρια, δημιουργήθηκαν οι **είκοσι επτά λεκτικοί κανόνες** της βάσης γνώσης που παρουσιάζονται στη συνέχεια μαζί με τα βάρη τους.

1. AN (Setup είναι High) KAI (Versatility είναι Low) KAI (Adjustability είναι Low) TOTE (Flexibility είναι Low) (1)
2. AN (Setup είναι High) KAI (Versatility είναι Average) KAI (Adjustability είναι Low) TOTE

- (Flexibility είναι Low) (1)
3. AN (Setup είναι High) KAI (Versatility είναι High) KAI (Adjustability είναι Low) TOTE (Flexibility είναι About-Low) (1)
  4. AN (Setup είναι Average) KAI (Versatility είναι Low) KAI (Adjustability είναι Low) TOTE (Flexibility είναι Low) (1)
  5. AN (Setup είναι Average) KAI (Versatility είναι Average) KAI (Adjustability είναι Low) TOTE (Flexibility είναι About-Low) (1)
  6. AN (Setup είναι Average) KAI (Versatility είναι High) KAI (Adjustability είναι Low) TOTE (Flexibility είναι Average) (1)
  7. AN (Setup είναι Low) KAI (Versatility είναι Low) KAI (Adjustability είναι Low) TOTE (Flexibility είναι About-Low) (1)
  8. AN (Setup είναι Low) KAI (Versatility είναι Average) KAI (Adjustability είναι Low) TOTE (Flexibility είναι Average) (1)
  9. AN (Setup είναι Low) KAI (Versatility είναι High) KAI (Adjustability είναι Low) TOTE (Flexibility είναι About-High) (1)
  10. AN (Setup είναι High) KAI (Versatility είναι Low) KAI (Adjustability είναι Average) TOTE (Flexibility είναι Low) (1)
  11. AN (Setup είναι High) KAI (Versatility είναι Average) KAI (Adjustability είναι Average) TOTE (Flexibility είναι About-Low) (1)
  12. AN (Setup είναι High) KAI (Versatility είναι High) KAI (Adjustability είναι Average) TOTE (Flexibility είναι Average) (1)
  13. AN (Setup είναι Average) KAI (Versatility είναι Low) KAI (Adjustability είναι Average) TOTE (Flexibility είναι About-Low) (1)
  14. AN (Setup είναι Average) KAI (Versatility είναι Average) KAI (Adjustability είναι Average) TOTE (Flexibility είναι Average) (1)
  15. AN (Setup είναι Average) KAI (Versatility είναι High) KAI (Adjustability είναι Average) TOTE (Flexibility είναι About-High) (1)
  16. AN (Setup είναι Low) KAI (Versatility είναι Low) KAI (Adjustability είναι Average) TOTE (Flexibility είναι Average) (1)
  17. AN (Setup είναι Low) KAI (Versatility είναι Average) KAI (Adjustability είναι Average) TOTE (Flexibility είναι About-High) (1)
  18. AN (Setup είναι Low) KAI (Versatility είναι High) KAI (Adjustability είναι Average) TOTE (Flexibility είναι High) (1)
  19. AN (Setup είναι High) KAI (Versatility είναι Low) KAI (Adjustability είναι High) TOTE (Flexibility είναι About-Low) (1)
  20. AN (Setup είναι High) KAI (Versatility είναι Average) KAI (Adjustability είναι High) TOTE (Flexibility είναι Average) (1)
  21. AN (Setup είναι High) KAI (Versatility είναι High) KAI (Adjustability είναι High) TOTE (Flexibility είναι About-High) (1)
  22. AN (Setup είναι Average) KAI (Versatility είναι Low) KAI (Adjustability είναι High) TOTE (Flexibility είναι Average) (1)
  23. AN (Setup είναι Average) KAI (Versatility είναι Average) KAI (Adjustability είναι High) TOTE (Flexibility είναι About-High) (1)
  24. AN (Setup είναι Average) KAI (Versatility είναι High) KAI (Adjustability είναι High) TOTE (Flexibility είναι High) (1)
  25. AN (Setup είναι Low) KAI (Versatility είναι Low) KAI (Adjustability είναι High) TOTE (Flexibility είναι About-High) (1)
  26. AN (Setup είναι Low) KAI (Versatility είναι Average) KAI (Adjustability είναι High) TOTE (Flexibility είναι High) (1)
  27. AN (Setup είναι Low) KAI (Versatility είναι High) KAI (Adjustability είναι High) TOTE (Flexibility είναι High) (1)

Έχοντας επιλέξει ως μέθοδο αποασαφοποίησης τη μέθοδο του κέντρου βάρους παράγεται η δράση ελέγχου που απεικονίζεται στην Εικόνα 2.16, όπου κάθε κανόνας είναι μία γραμμή από γραφήματα, και κάθε στήλη είναι μία μεταβλητή

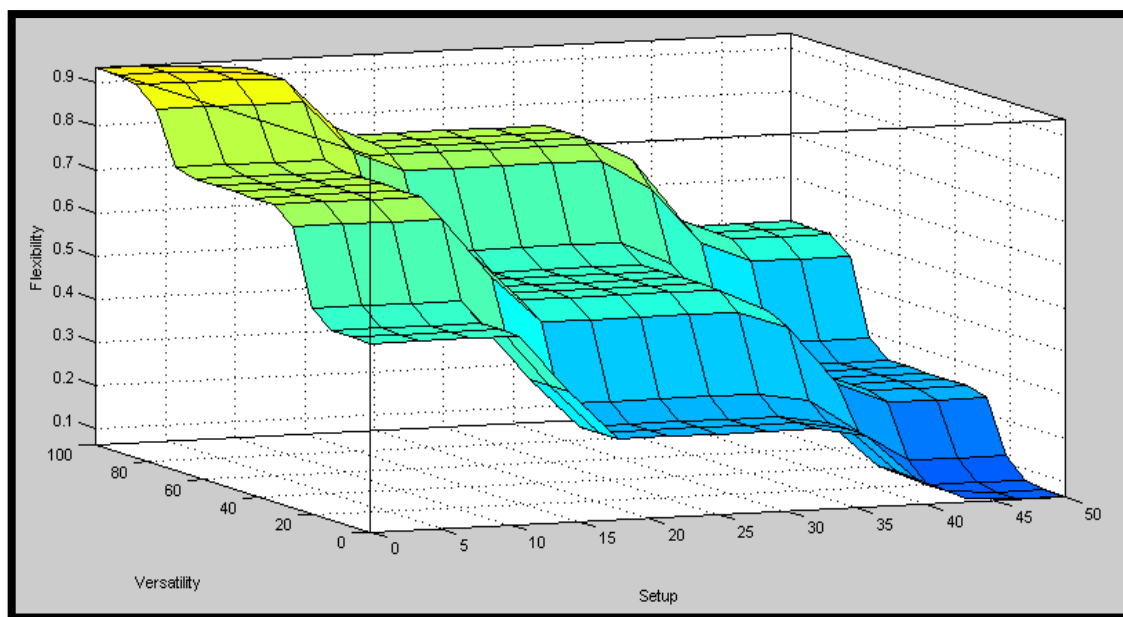
Εισόδου/Εξόδου αντίστοιχα.



Εικόνα 2.16 Rules Viewer: MFC.fis

- Οι τρεις πρώτες στήλες γραφημάτων δείχνουν τις συναρτήσεις συμμετοχής που αναφέρονται στο μέρος αν (if-part) του κάθε λεκτικού κανόνα.
- Η τέταρτη στήλη γραφημάτων δείχνει τις συναρτήσεις συμμετοχής που αναφέρονται στο επακόλουθο μέρος (then-part) του κάθε λεκτικού κανόνα.
- Το εικοστό όγδοο γράφημα στην τέταρτη στήλη των γραφημάτων αντιπροσωπεύει τη συνολική σταθμισμένη απόφαση για το δεδομένο σύστημα εξαγωγής συμπερασμάτων. Αυτή η απόφαση θα εξαρτάται από τις μεταβλητές εισόδου του συστήματος.

Το παρακάτω γράφημα, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.17, απεικονίζει τη δράση ελέγχου σε σχέση με τις τρεις μεταβλητές εισόδου του ελεγκτή.

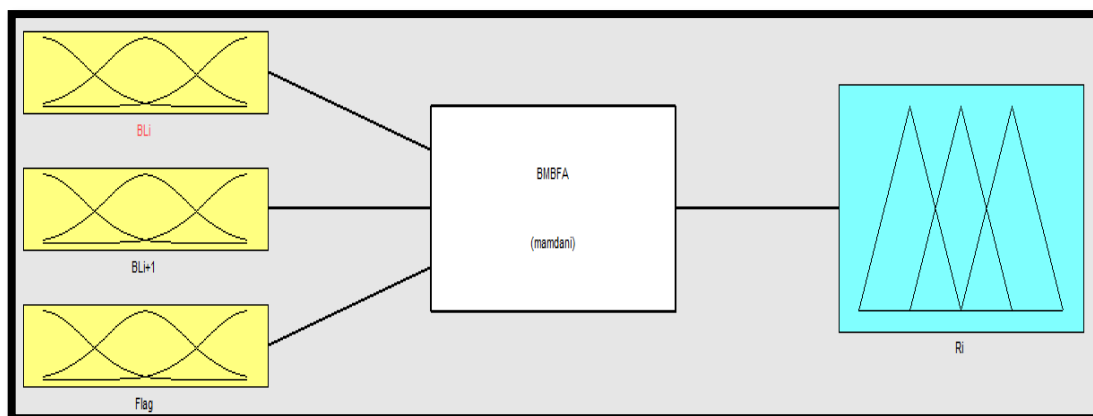


**Εικόνα 2.17 Surface Viewer: MFC.fis**

Έχοντας σε αυτό το στάδιο ολοκληρώσει την παρουσίαση του ασαφούς ελεγκτή MFC.fis, προχωρούμε στην ανάλυση του τελευταίου ελεγκτή που χρησιμοποιείται στο μοντέλο προσομοίωσης της γραμμής παραγωγής.

### **2.2.6 Ασαφής Ελεγκτής BMBFA.fis**

Στην υποενότητα αυτή εξετάζεται ο ασαφής ελεγκτής ονόματι BMBFA.fis, ο οποίος εξάγει έπειτα από την κατάλληλη αποασαφηνοποίηση των λεκτικών μεταβλητών τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής. Στη συνέχεια, όπως φαίνεται στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**, παρουσιάζεται το διάγραμμα του ασαφούς ελεγκτή.



**Εικόνα 2.18 Ασαφής ελεγκτής BMBFA.fis**

Ο ελεγκτής BMBFA.fis δέχεται ως ορίσματα τη στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που προηγείται ( $BL_i$ ), τη στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που έπεται ( $BL_{i+1}$ ) και την κατάσταση λειτουργίας της εκάστοτε μηχανής (Flag), και εξάγει ως συμπέρασμα τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής ( $R_i$ ).

Η μετάδοση της δράσης ελέγχου στην παραγωγική διαδικασία είναι δυνατή εφόσον μετατραπούν τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων σε πραγματικούς αριθμούς μέσω κατάλληλων συνεπαγωγών που πραγματοποιούνται βάσει του μηχανισμού συμπερασμού. Στον πίνακα Πίνακας 2.6 που ακολουθεί ορίζονται οι παράμετροι του μηχανισμού συμπερασμού του ασαφούς ελεγκτή.

**Πίνακας 2.6 Μηχανισμός συμπερασμού BMBFA.fis**

Μέθοδος Συμπερασμού	mamdani
Τελεστής "ΚΑΙ"	min
Τελεστής "Η"	max
Τελεστής συνεπαγωγής	min
Τελεστής σύνθεσης	max
Αποασαφοποίηση	centroid

Η στάθμη του κάθε χώρου εναποθήκευσης μέσα σε ένα δίκτυο παραγωγής εξαρτάται κυρίως από τις εξής παραμέτρους:

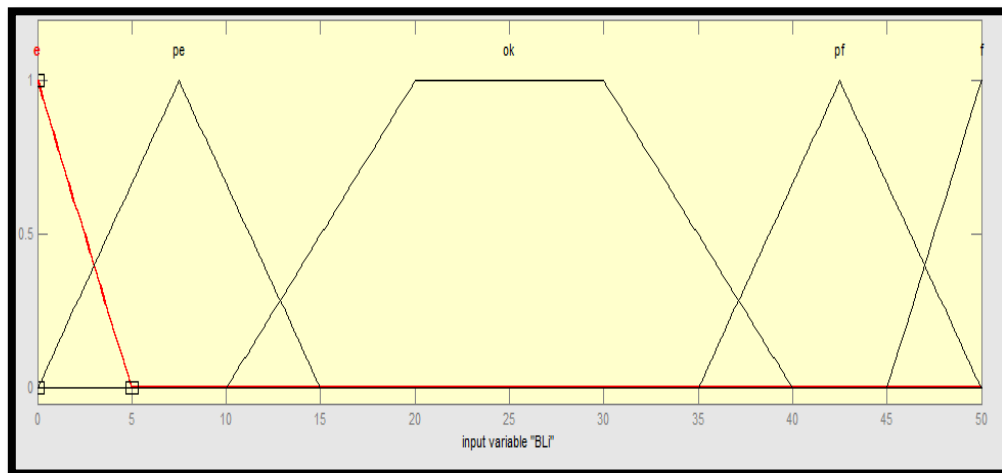
- Τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής που προηγείται,
- Τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής που έπεται.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια τυπικά παραδείγματα που περιγράφουν την αμφίδρομη σχέση επιρροής μεταξύ του ρυθμού παραγωγής και της στάθμης του χώρου εναποθήκευσης.

- Στην περίπτωση όπου μια μηχανή υποστεί βλάβη (συνεπώς έχει μηδενικό ρυθμό παραγωγής), η στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που έπεται μειώνεται, ενώ η στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που προηγείται αυξάνεται. Εάν ο χρόνος επισκευής της μηχανής είναι μεγάλος, τότε η μηχανή που έπεται θα θεωρείται αποστερημένη, ενώ η μηχανή που προηγείται θα θεωρείται αποκλεισμένη. Με το πέρασμα του χρόνου αυτό το μεμονωμένο γεγονός θα διαδοθεί στο σύστημα παραγωγής.
- Στην περίπτωση όπου μια μηχανή είναι λειτουργική, θεωρείται αποστερημένη όταν η στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που προηγείται της μηχανής είναι μηδέν. Τότε ο ρυθμός παραγωγής της υπό εξέταση μηχανής ταυτίζεται με εκείνον της μηχανής που προηγείται του χώρου εναποθήκευσης.
- Στην περίπτωση όπου μια μηχανή είναι λειτουργική, θεωρείται αποκλεισμένη όταν η στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που έπεται έχει φτάσει τη μέγιστη δυνατή χωρητικότητα. Τότε ο ρυθμός παραγωγής της υπό εξέταση μηχανής ταυτίζεται με εκείνον της μηχανής που έπεται του χώρου εναποθήκευσης.

Στην συνέχεια παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “BLi” (στάθμη χώρου εναποθήκευσης που προηγείται), βάσει

των οποίων θα γίνει μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.



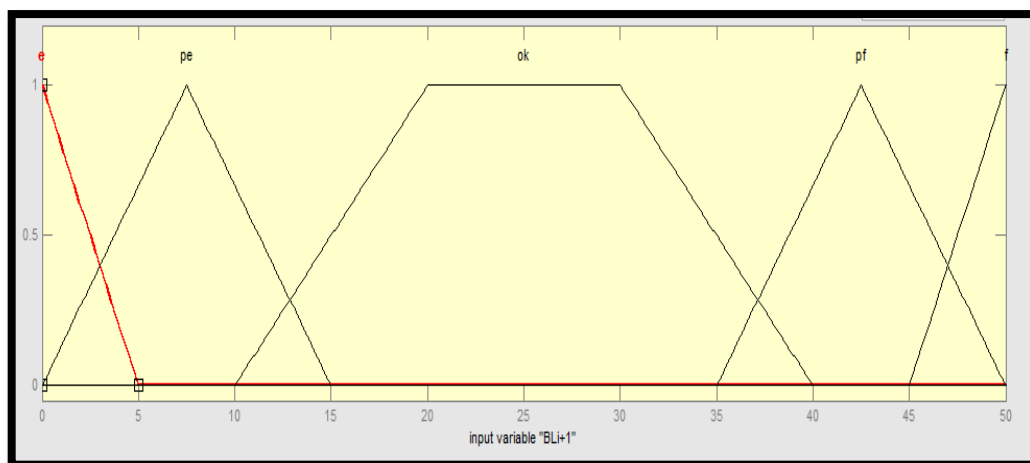
Εικόνα 2.19 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “BLi”

Πίνακας 2.7 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “BLi”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
e (trimf)	[0 0 5]
pe (trimf)	[0 7,5 15]
ok (trapmf)	[10 20 30 40]
pf (trimf)	[35 42,5 50]
f (trimf)	[45 50 50]

Ομοίως και για τη δεύτερη λεκτική μεταβλητή, τη στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που έπεται “BLi+1”, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα, βάσει των οποίων θα γίνει μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.





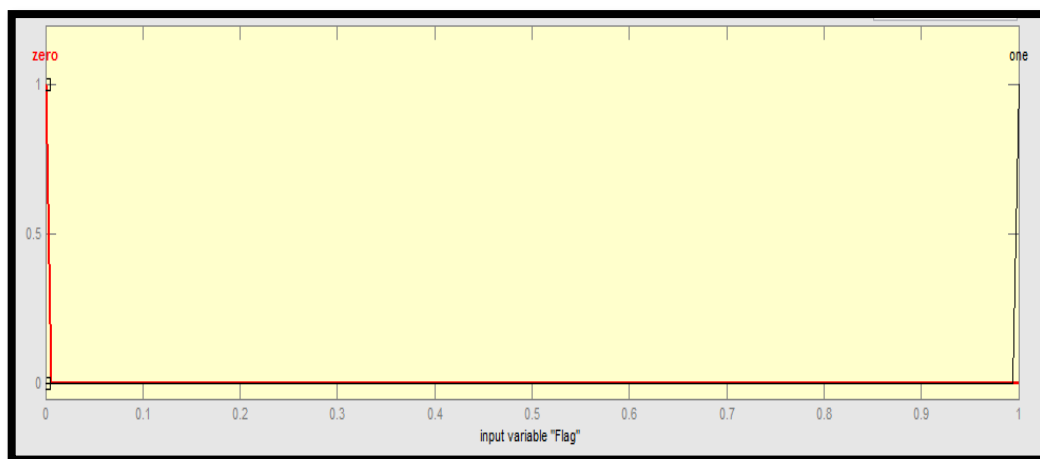
Εικόνα 2.20 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “BLi+1”

Πίνακας 2.8 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “BLi+1”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
e (trimf)	[0 0 5]
pe (trimf)	[0 7,5 15]
ok (trapmf)	[10 20 30 40]
pf (trimf)	[35 42,5 50]
f (trimf)	[45 50 50]

Η λεκτική μεταβλητή “Flag” εκφράζει τη λειτουργική κατάσταση της μηχανής. Στην υποενότητα 2.2.3 παρουσιάστηκε με αναλυτικό τρόπο η λειτουργία του υποσυστήματος υπολογισμού πιθανότητας βλάβης/επισκευής που καθορίζει τη λειτουργική κατάσταση της μηχανής.

Στην Εικόνα 2.21 καθώς και στον Πίνακα 2.9 παρέχονται πληροφορίες που αφορούν τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “Flag”.

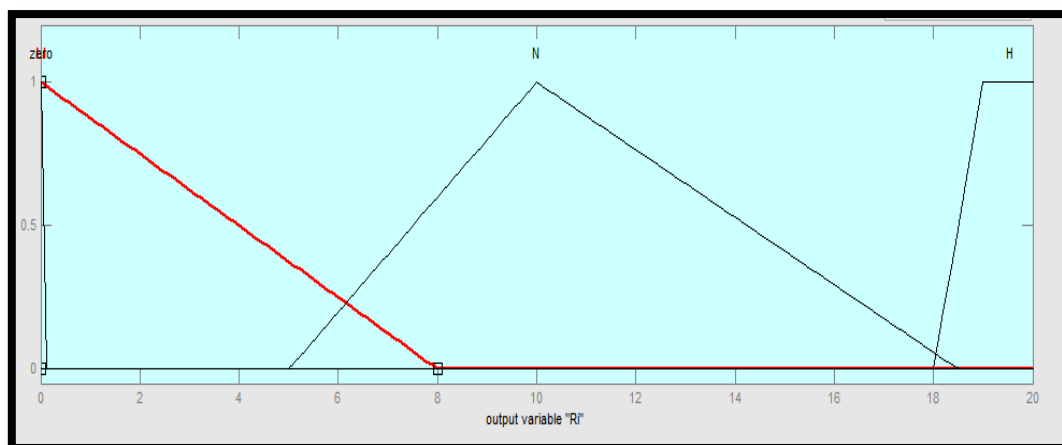


**Εικόνα 2.21** Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Flag”

**Πίνακας 2.9** Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Flag”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
zero (trimf)	[0 0 0]
one (trimf)	[1 1 1]

Έπειτα από την κατάλληλη αποασαφηνοποίηση των λεκτικών μεταβλητών, ο ασαφής ελεγκτής εξάγει ως συμπέρασμα της δράσης ελέγχου τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής “Ri”. Ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής εκφράζει τη λειτουργική της κατάσταση. Πληροφορίες σχετικά με τα είδη των συναρτήσεων συμμετοχής καθώς και τα εύρη τους αναφέρονται στη συνέχεια.



Εικόνα 2.22 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “Ri”

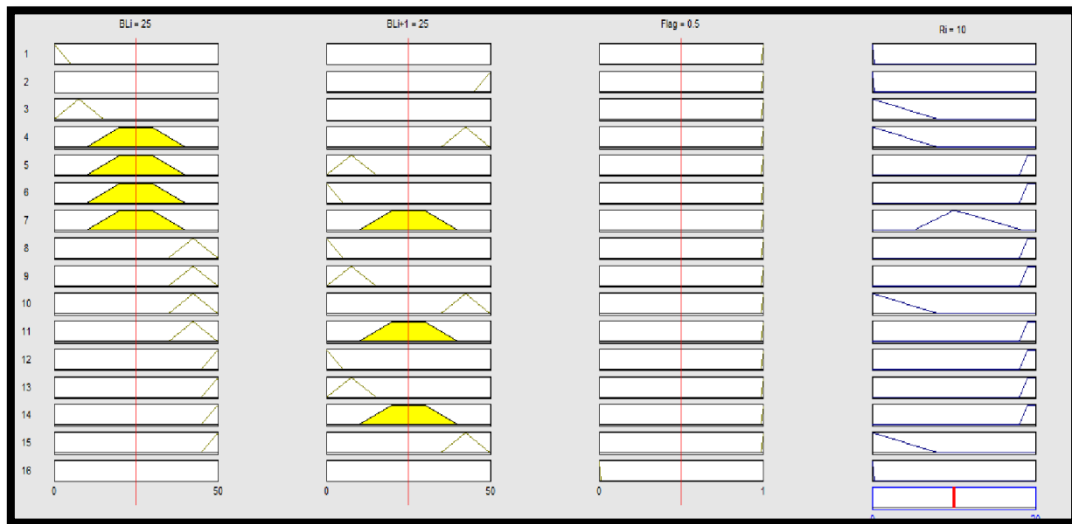
Πίνακας 2.10 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “Ri”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
LI (trimf)	[0 0 8]
N (trimf)	[5 10 18,5]
H (trapmf)	[18 19 20 20]

Στη συνέχεια, προχωρούμε στην παρουσίαση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης οι οποίοι ικανοποιούν τα βασικά κριτήρια που αναλύθηκαν στην υποενότητα 2.2.5. Ο αριθμός των κανόνων που ακολουθούν είναι **δέκα έξι** και συνοδεύονται από τα αντίστοιχα βάρη συμμετοχής τους μέσα σε παρενθέσεις.

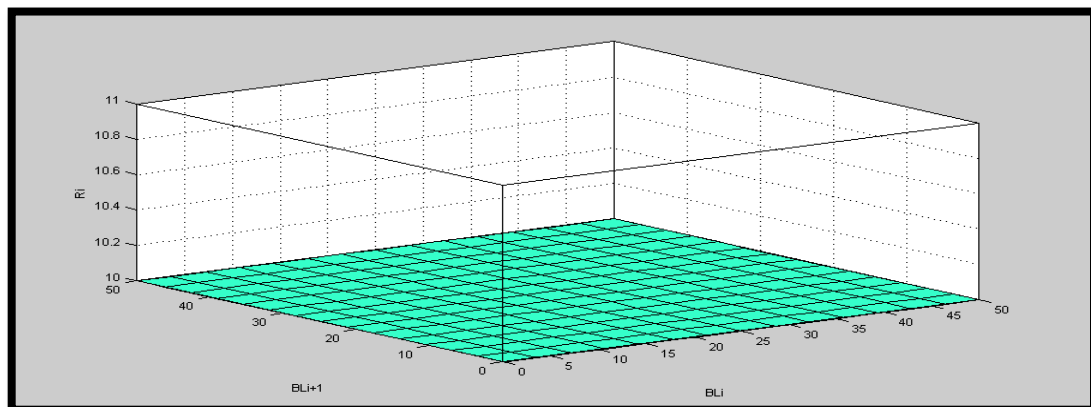
1. AN (BLi είναι e) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι zero) (1)
2. AN (BLi+1 είναι f) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι zero) (1)
3. AN (BLi είναι pe) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι LI) (1)
4. AN (BLi είναι ok) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pf) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι LI) (1)
5. AN (BLi είναι ok) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pe) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
6. AN (BLi είναι ok) ΚΑΙ (BLi+1 είναι e) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
7. AN (BLi είναι ok) ΚΑΙ (BLi+1 είναι ok) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι N) (1)
8. AN (BLi είναι pf) ΚΑΙ (BLi+1 είναι e) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι N) (1)
9. AN (BLi είναι pf) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pe) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
10. AN (BLi είναι pf) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pf) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι LI) (1)
11. AN (BLi είναι pf) ΚΑΙ (BLi+1 είναι ok) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
12. AN (BLi είναι f) ΚΑΙ (BLi+1 είναι e) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
13. AN (BLi είναι f) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pe) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
14. AN (BLi είναι f) ΚΑΙ (BLi+1 είναι ok) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
15. AN (BLi είναι f) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pf) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι LI) (1)
16. AN (Flag είναι zero) TOTE (Ri είναι zero) (1)

Έχοντας επιλέξει ως μέθοδο αποασαφοποίησης τη μέθοδο του κέντρου βάρους, παράγεται η δράση ελέγχου που απεικονίζεται στην Εικόνα 2.23, όπου κάθε κανόνας είναι μία γραμμή από γραφήματα και κάθε στήλη είναι μία μεταβλητή Εισόδου/Εξόδου αντίστοιχα.



Εικόνα 2.23 Rules Viewer: BMBFA.fis

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει τη δράση ελέγχου σε σχέση με τις τρεις μεταβλητές εισόδου του ελεγκτή.



Εικόνα 2.24 Surface Viewer: BMBFA.fis

Έχοντας σε αυτό το στάδιο ολοκληρώσει την παρουσίαση του ασαφούς ελεγκτή BMBFA.fis, προχωρούμε στον ορισμό των παραμέτρων του μοντέλου Production\_Line.mdl, βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση.

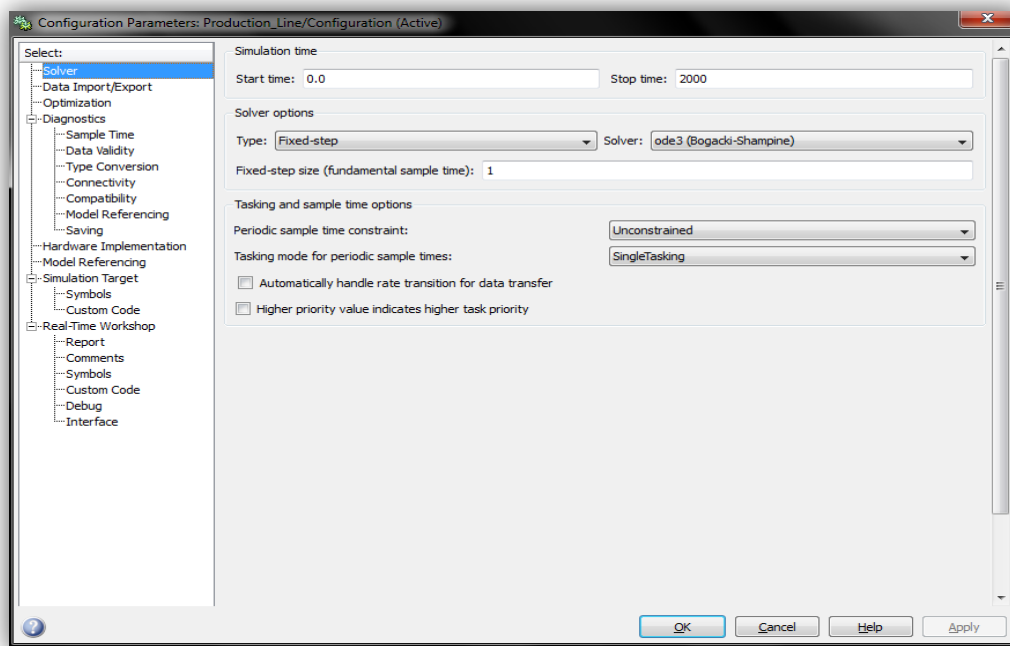
### 2.3 Παράμετροι Προσομοίωσης

Στην ενότητα αυτή ορίζονται οι παράμετροι βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε η εκτέλεση της προσομοίωσης του μοντέλου Production\_Line.mdl. Οι παράμετροι αυτοί παίζουν κυρίαρχο ρόλο τόσο κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης όσο και στο τελικό αποτέλεσμά της.

**Πίνακας 2.11 Παράμετροι Προσομοίωσης Production\_Line.mdl**

Παράμετροι	Τιμές παραμέτρων
Simulation stop time	2.000 ΧΜΠ
Πιθανότητα επισκευής	50%
Πιθανότητα βλάβης	10%
Μέγεθος παρτίδας	400 τεμάχια
Μέσος Χρόνος αλλαγής μηχανής	3,5 ΧΜΠ
Εύρος τιμών Προσαρμοστικότητας	$[0,15 \ 1,5] \ m^3$

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου της Matlab με τον χρήστη, στο οποίο ορίζεται η παραμετροποίηση της διαδικασίας λύσης του μοντέλου.



**Εικόνα 2.25 Configuration parameters: Solver**

Σχετικά με περισσότερες πληροφορίες που αφορούν τις παραμέτρους της προσομοίωσης ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο μοντέλο Production\_Line.mdl Simulation→Configuration Parameters.

## 2.4 Ανακεφαλαίωση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν τα δομικά μέρη του μοντέλου προσομοίωσης της γραμμής παραγωγής, το οποίο αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας με χρήση του προγράμματος της Matlab/Simulink® και ως στόχο έχει τη μέτρηση της ευελιξίας μηχανής και την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις παραμέτρους και τους τρόπους με τους οποίους αυτές επηρεάζουν την ευελιξία κατά τη διάρκεια του κύκλου παραγωγής.

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν τα κύρια υποσυστήματα που αποτελούν το μοντέλο της γραμμής παραγωγής, καθώς και οι ασαφείς ελεγκτές που κατασκευάστηκαν για την προσομοίωσή της.

## **Κεφάλαιο 3: Προσομοίωση Δικτύου Παραγωγής**

### **3.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν δυο μοντέλα προσομοίωσης, αυτό της γραμμής συναρμολόγησης και της γραμμής αποσυναρμολόγησης. Ο συνδυασμός των μοντέλων αυτών είναι δυνατόν να αναπαραστήσει ένα οποιοδήποτε δίκτυο παραγωγής. Τα μοντέλα αυτά αναπτύχθηκαν με χρήση του προγράμματος της Matlab/Simulink® (έκδοση R2009b) και έχουν ως στόχο τη μέτρηση της ευελιξίας δρομολόγησης των εκάστοτε δικτύων και την εξαγωγή συμπερασμάτων που θα αφορούν τις παραμέτρους και τους τρόπους με τους οποίους αυτές επηρεάζουν την ευελιξία δρομολόγησης κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Πιο συγκεκριμένα, στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται και αναλύονται τα κύρια υποσυστήματα από τα οποία αποτελούνται τα δυο μοντέλα προσομοίωσης, καθώς και οι ασαφείς ελεγκτές που κατασκευάστηκαν για την προσομοίωσή τους. Η ανάλυση των εκάστοτε υποσυστημάτων θα διεξαχθεί με τον ίδιο τρόπο που ακολουθήθηκε στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση και επεξήγηση των μοντέλων προσομοίωσης της γραμμής συναρμολόγησης και της γραμμής αποσυναρμολόγησης στον αναγνώστη, προκειμένου να τον διευκολύνει στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν τα μοντέλα και της φιλοσοφίας που υπάρχει πίσω από την προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση της ευελιξίας δρομολόγησης.

### **3.2 Παρουσίαση Μοντέλων**

Τα μοντέλα προσομοίωσης γραμμής συναρμολόγησης και γραμμής αποσυναρμολόγησης, που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, αποτελούνται από είκοσι

δύο αριθμητικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές, οι οποίες συνδέονται μέσω κατάλληλου συστήματος διαχείρισης υλικών (ταινιόδρομο) με είκοσι τέσσερις χώρους εναποθήκευσης. Οι μηχανές, αν και πανομοιότυπες, διακρίνονται με διαφορετικά χρώματα για τη διευκόλυνση του χρήστη κατά τη διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων μέσω των εκάστοτε score. Τα μοντέλα περιλαμβάνουν έκαστο πέντε μέσα προβολής (scope) των εξής στοιχείων:

1. Throughput
2. Mean Routing Flexibility
3. Max Routing Flexibility
4. Min Routing Flexibility
5. RFlexibility

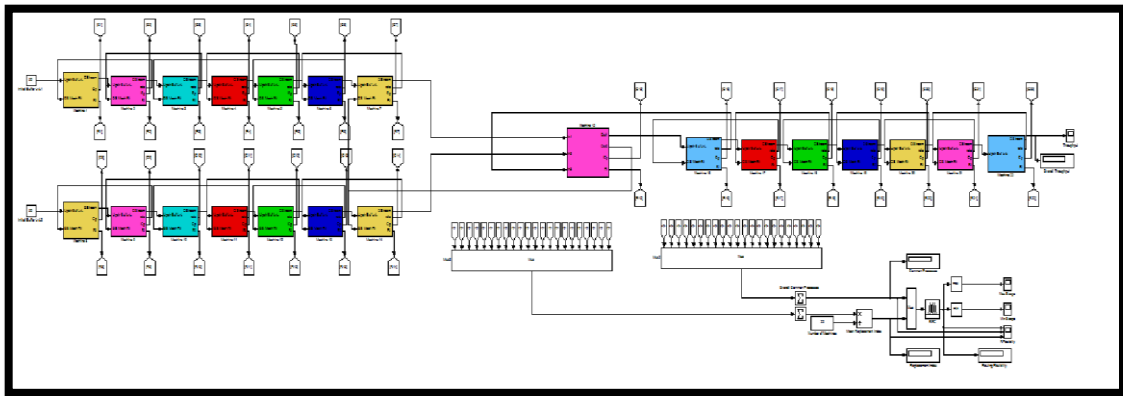
Η λειτουργία και αυτών των μοντέλων στηρίζεται στην υπόθεση ότι η ροή των τεμαχίων μέσα στο σύστημα παραγωγής είναι συνεχής. Στην περίπτωση προσομοίωσης συνεχούς ροής, η παραγωγική διαδικασία προσεγγίζεται ομοίως με την παραγωγή ενός ρευστού προϊόντος. Οι κοινές θεωρήσεις που έγιναν κατά την ανάπτυξη των μοντέλων προσομοίωσης είναι οι εξής:

1. Οι μηχανές παρουσιάζουν βλάβες τυχαία με πιθανότητα  $p_i$ , η οποία δίνεται από  $p_i = \frac{r_i}{c_0}$ ,  $i = 1, 2, \dots, 22$  όπου  $r_i$  ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής  $M_i$  και  $c_0$  μια σταθερά.
2. Οι μηχανές επισκευάζονται τυχαία με πιθανότητα  $pr_i$ . Θεωρούμε ότι είναι πάντα διαθέσιμο το απαραίτητο εργατικό δυναμικό για την επισκευή των βλαβών.
3. Οι χρόνοι μέχρι τη βλάβη και οι χρόνοι για την επισκευή είναι γεωμετρικά κατανομημένοι (διακριτού χρόνου μοντέλο με βήμα 0,1).
4. Όλες οι μηχανές λειτουργούν με γνωστούς, αλλά όχι απαραίτητα ίσους, ρυθμούς παραγωγής. Κάθε μηχανή παράγει με ρυθμό  $r_i \leq \mu_i$ , όπου  $\mu_i$  είναι ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής της μηχανής  $M_i$ .
5. Ο αρχικός χώρος εναποθήκευσης για κάθε γραμμή παραγωγής είναι πηγή απεριόριστης πρώτης ύλης, με αποτέλεσμα η μηχανή που ακολουθεί να μην θεωρείται ποτέ αποστερημένη.

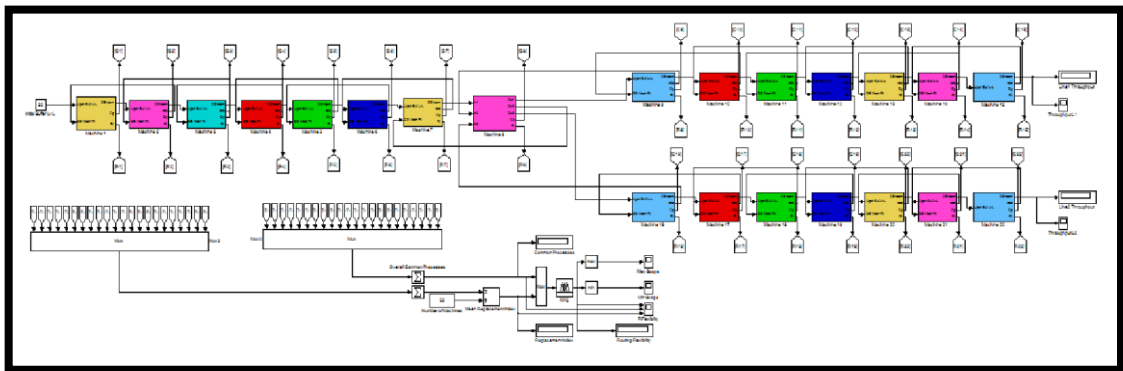


6. Ο τελευταίος χώρος εναποθήκευσης για κάθε γραμμή παραγωγής έχει άπειρη χωρητικότητα, συνεπώς, η τελευταία μηχανή δεν θεωρείται ποτέ αποκλεισμένη.
7. Οι χώροι εναποθήκευσης μεταξύ δυο γειτονικών μηχανών  $M_i$ ,  $M_j$  έχουν περιορισμένη χωρητικότητα ίση με  $BC_{ij}$ ,  $i, j = 0, 1, 2, \dots, 50$ .
8. Οι μηχανές που αποτελούν το σύστημα παραγωγής, αν και πανομοιότυπες, δεν παρουσιάζουν απαραίτητα την ίδια συμπεριφορά λόγω διαφορετικών τιμών στις παραμέτρους προσομοίωσης.
9. Το σύστημα παραγωγής παράγει έπειτα από κάθε κατάσταση αλλαγής προϊόντα με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά.
10. Όμοιες κατεργασίες διαφορετικής ποιότητας εκτελούνται σε περισσότερες από μια μηχανές του συστήματος παραγωγής για κάθε είδος προϊόντος που παράγεται.

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα μοντέλα της γραμμής συναρμολόγησης και της γραμμής αποσυναρμολόγησης αντίστοιχα.



**Εικόνα 3.1 Μοντέλο προσομοίωσης γραμμής συναρμολόγησης Assembly\_Network.mdl**

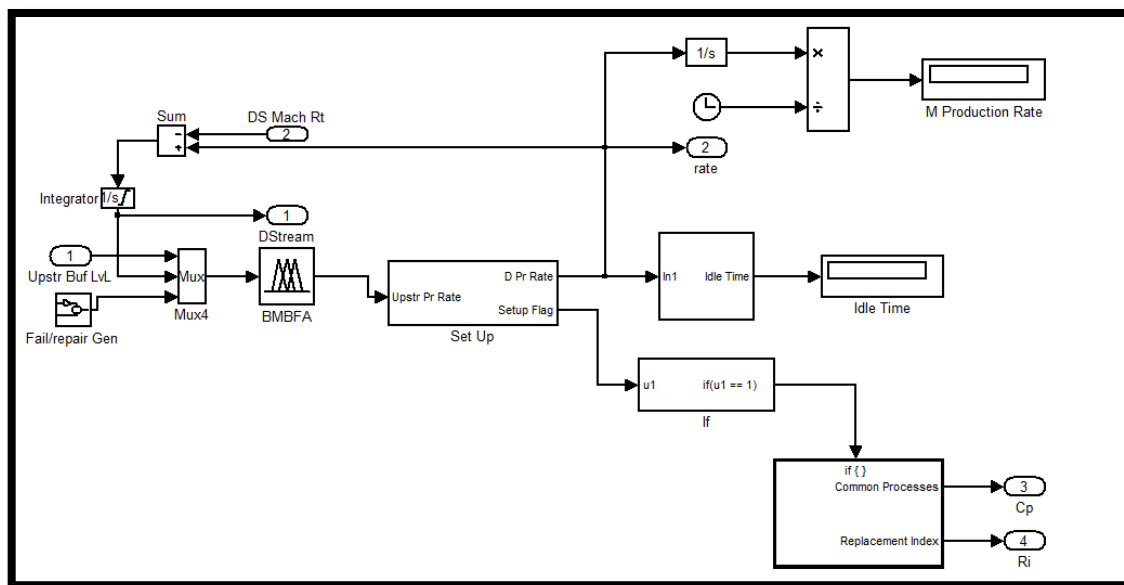


**Εικόνα 3.2 Μοντέλο προσομοίωσης γραμμής αποσυναρμολόγησης Disassembly\_Network.mdl**

Όπως θα γίνει κατανοητό και στη συνέχεια, τα δύο μοντέλα που θα παρουσιαστούν διαφέρουν στις μηχανές που διενεργούν τη συναρμολόγηση και την αποσυναρμολόγηση των τεμαχίων, καθώς και στους ασαφείς ελεγκτές που καθορίζουν τον ρυθμό παραγωγής τους αντίστοιχα. Έχοντας παρουσιάσει στον αναγνώστη όλες τις βασικές πληροφορίες του μοντέλου, προχωρούμε στην ανάλυση των δομικών υποσυστημάτων του.

### 3.2.1 Υποσύστημα Μηχανής

Το υποσύστημα της μηχανής είναι όμοιο και στα δύο μοντέλα προσομοίωσης, ενώ τα κύρια χαρακτηριστικά της λειτουργίας του είναι ίδια με εκείνα του μοντέλου της προσομοίωσης της γραμμής παραγωγής στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.



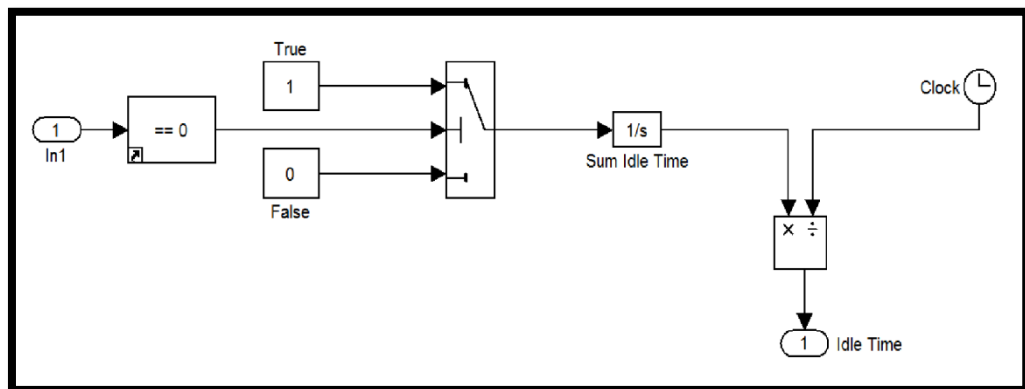
Εικόνα 3.3 Υποσύστημα μηχανής δικτύου παραγωγής

Το υποσύστημα της μηχανής περιλαμβάνει τους μηχανισμούς υπολογισμού των εξής παραμέτρων:

- Ρυθμός παραγωγής μηχανής: Οι τιμές του οποίου κυμαίνονται στο διάστημα από μηδέν έως είκοσι ( παραγόμενα τεμάχια/ χρονική μονάδα προσομοίωσης). Ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής αποτελεί την έξοδο του ασαφούς ελεγκτή

ονόματι BMBFA.fis, η ανάλυση του οποίου γίνεται σε ενότητα που ακολουθεί. Το υποσύστημα της μηχανής υπολογίζει κάθε φορά και τη μέση τιμή του ρυθμού παραγωγής της με χρήση κατάλληλου μπλοκ.

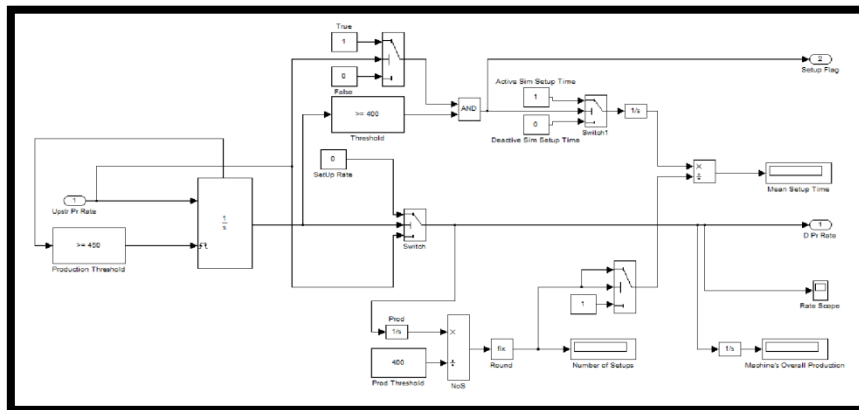
- Στάθμη χώρου εναποθήκευσης που έπεται: Αποτελεί το άθροισμα των διαφορών των ρυθμών παραγωγής της παρούσας μηχανής και της μηχανής που ακολουθεί για κάθε χρονική μονάδα προσομοίωσης.
- Χρόνος αδράνειας μηχανής: Στην Εικόνα 3.4 παρουσιάζεται ο μηχανισμός που υπολογίζει τον συνολικό χρόνο αδράνειας της μηχανής, όπου αν ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής είναι μηδέν, τότε το μπλοκ τύπου Switch εξάγει τιμές 1=μηχανή σε αδράνεια, αλλιώς 0=μηχανή σε λειτουργία. Στη συνέχεια, το άθροισμα των εξόδων του Switch διαιρείται με τον συνολικό χρόνο προσομοίωσης, από τον οποίο προκύπτει ο ποσοστιαίος χρόνος αδράνειας της μηχανής.



Εικόνα 3.4 Υποσύστημα υπολογισμού χρόνου αδράνειας μηχανής

- Κατάσταση αλλαγής μηχανής: Στο υποσύστημα αυτό υπολογίζεται το πλήθος των φορών που η μηχανή έχει εισέλθει σε κατάσταση αλλαγής κατά την διάρκεια της οποίας ο ρυθμός παραγωγής της ισούται με το μηδέν. Οι λόγοι για του οποίους μια μηχανή εισέρχεται σε κατάσταση αλλαγής είναι κυρίως η

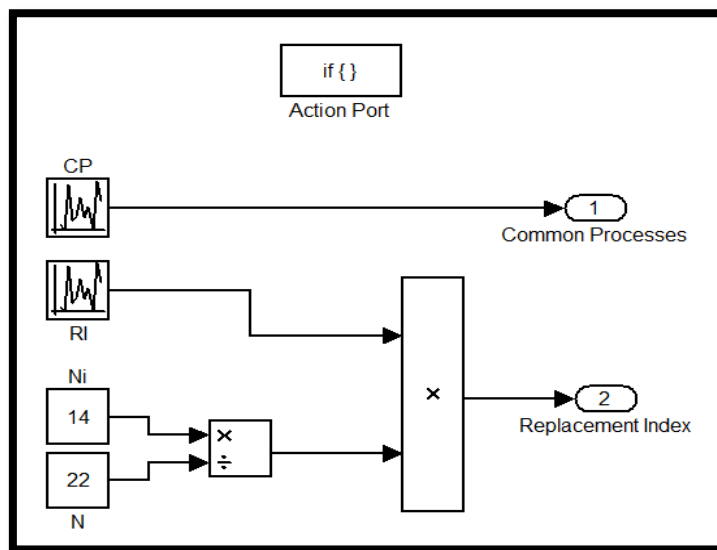
αλλαγή εργαλείων, εξαρτημάτων, φόρτωση/εκφόρτωση τεμαχίων και η αλλαγή λογισμικού. Στο υποσύστημα της Εικόνα 3.5 υπολογίζεται επίσης και το πλήθος των καταστάσεων αλλαγής στις οποίες έχει εισέλθει η μηχανή. Ο λόγος της συνολικής παραγωγής της μηχανής ως προς τον αριθμό των τεμαχίων που αποτελούν μια παρτίδα μας δίνει το πλήθος των καταστάσεων αλλαγής. Στην αρχή του κύκλου παραγωγής της γραμμής παραγωγής όλες οι μηχανές του συστήματος βρίσκονται σε κατάσταση προετοιμασίας. Για αυτό το λόγο, η τιμή της πολυμέρειας αλλά και ο αριθμός των καταστάσεων αλλαγής της εκάστοτε μηχανής ξεκινούν από ένα.



**Εικόνα 3.5 Υποσύστημα υπολογισμού κατάστασης αλλαγής μηχανής**

- Λεκτικές μεταβλητές ελεγκτή RFC.fis: Κάθε φορά που η μηχανή εισέρχεται σε κατάσταση προετοιμασίας λόγω αλλαγής παρτίδας το υποσύστημα της Εικόνας 3.6 ενεργοποιείται, με την προϋπόθεση να ικανοποιείται η συνθήκη ελέγχου AN-TOTE. Σε κάθε ενεργοποίηση του υποσυστήματος τα μπλοκ ονόματι CP και RI παράγουν τυχαίους αριθμούς ομοιόμορφα κατανομημένους σε ένα διάστημα μεταξύ ένα και δεκατέσσερα (το διάστημα αυτό εκφράζει τον αριθμό των μηχανών που έχουν τη δυνατότητα να επιτελέσουν την ίδια κατεργασία με εφάμιλλη ποιότητα) για το μπλοκ CP, και μηδέν με ένα για το

μπλοκ RI (δείκτης αντικατάστασης μηχανής). Οι γεννήτριες τυχαίων αριθμών CP και RI λαμβάνουν για την εκάστοτε μηχανή ένα διαφορετικό σπόρο εκκίνησης διασφαλίζοντας την τυχαιότητα των τιμών. Τέλος, ο λόγος των σταθερών  $\frac{N_i}{N}$  που παρουσιάζεται στο δομικό διάγραμμα που ακολουθεί, εκφράζει το βαθμό επικοινωνίας της συγκεκριμένης μηχανής με τις υπόλοιπες και εξαρτάται από τη χωροταξική διάταξη των μηχανών του συστήματος παραγωγής.



Εικόνα 3.6 Υποσύστημα υπολογισμού λεκτικών μεταβλητών ελεγκτή RFC.fis

Στην ενότητα που ακολουθεί παρουσιάζεται και αναλύεται το υποσύστημα της μηχανής συναρμολόγησης του δικτύου παραγωγής.

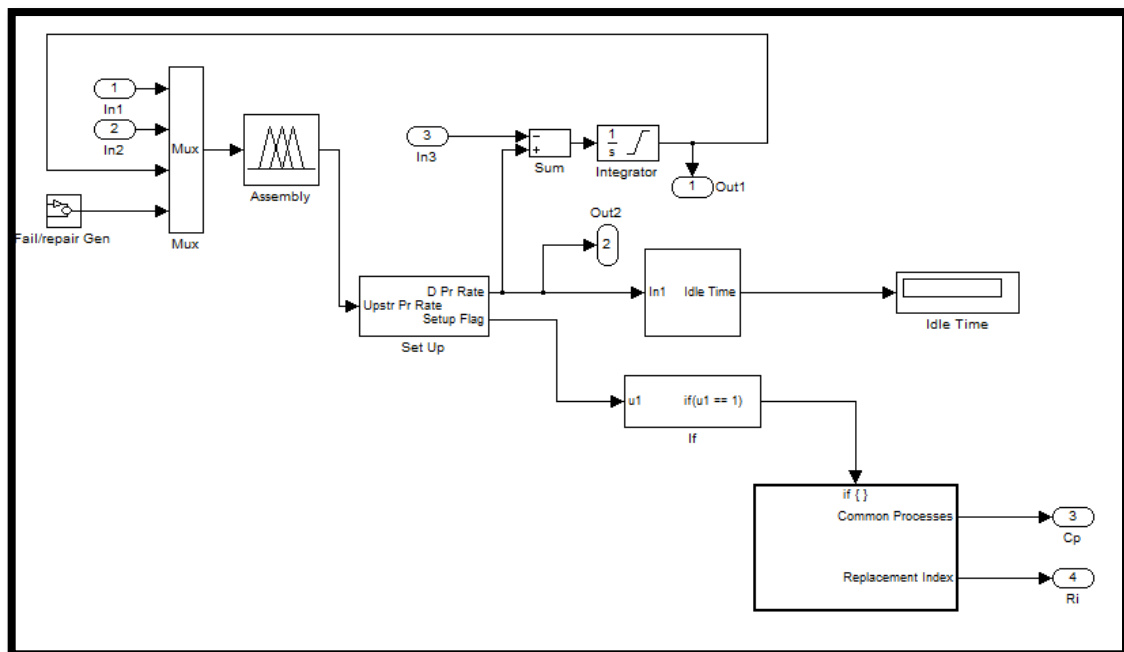
### 3.2.2 Υποσύστημα Μηχανής Συναρμολόγησης

Το δομικό διάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.7 είναι το υποσύστημα του μοντέλου προσομοίωσης της γραμμής συναρμολόγησης. Η λειτουργία της μηχανής συναρμολόγησης είναι όμοια με εκείνη της απλής μηχανής πέραν κάποιων διαφορών οι οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια. Η μηχανή συναρμολόγησης δέχεται τρεις εισόδους, οι οποίες είναι:

1. Στάθμη πρώτου χώρου εναποθήκευσης που προηγείται
2. Στάθμη δεύτερου χώρου εναποθήκευσης που προηγείται
3. Ρυθμός παραγωγής της μηχανής που έπεται

Ενώ εξάγει τα εξής:

1. Στάθμη χώρου εναποθήκευσης που έπεται
2. Ρυθμό παραγωγής της μηχανής συναρμολόγησης
3. Πλήθος κοινών κατεργασιών της μηχανής συναρμολόγησης
4. Τιμή του δείκτη αντικατάστασης



**Εικόνα 3.7 Υποσύστημα μηχανής συναρμολόγησης**

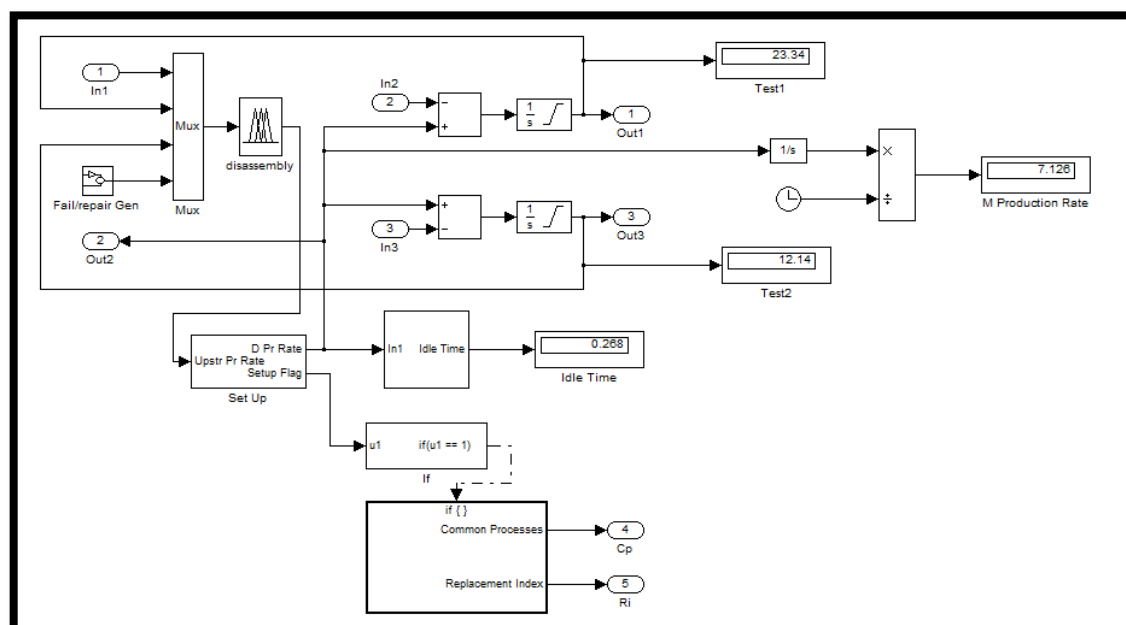
Η ειδοποιός διαφορά την μηχανής συναρμολόγησης με την απλή μηχανή είναι ο ασαφής ελεγκτής που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του ρυθμού παραγωγής. Ο ασαφής ελεγκτής ονομάζεται *Assembly.fis* και θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου.

### 3.2.3 Υποσύστημα Μηχανής Αποσυναρμολόγησης

Η μηχανή αποσυναρμολόγησης, το δομικό διάγραμμα της οποίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.8, διαφέρει από μια απλή μηχανή όχι μόνο στον αριθμό ορισμάτων που διαχειρίζεται αλλά και στον τρόπο λειτουργίας της.

Το υποσύστημα της μηχανής αποσυναρμολόγησης αναλαμβάνει το διαχωρισμό του αρχικού τεμαχίου που δέχεται στην είσοδο σε δύο νέα τεμάχια. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται οι στάθμες των χώρων εναποθήκευσης που έπονται της μηχανής είναι παρόμοιος με εκείνον που αναλύθηκε στην υποενότητα 2.2.1. Σε κάθε χώρο εναποθήκευσης η στάθμη ισούται με το άθροισμα των διαφορών των ρυθμών παραγωγής της παρούσας μηχανής και της μηχανής που ακολουθεί για κάθε χρονική μονάδα προσομοίωσης.

Μια ακόμη σημαντική διαφορά της μηχανής αποσυναρμολόγησης σε σχέση με την απλή μηχανή είναι ο ασαφής ελεγκτής που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του ρυθμού παραγωγής. Ο ασαφής ελεγκτής ονομάζεται *disassembly.fis* και θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου.



Εικόνα 3.8 Υποσύστημα μηχανής αποσυναρμολόγησης

Η μηχανή αποσυναρμολόγησης δέχεται τρεις εισόδους, οι οποίες είναι:

1. Στάθμη πρώτου χώρου εναποθήκευσης που προηγείται
2. Ρυθμός παραγωγής της πρώτης μηχανής που έπεται
3. Ρυθμός παραγωγής της δεύτερης μηχανής που έπεται

Ενώ εξάγει τα εξής:

1. Στάθμη πρώτου χώρου εναποθήκευσης που έπεται
2. Ρυθμό παραγωγής της μηχανής αποσυναρμολόγησης
3. Στάθμη δεύτερου χώρου εναποθήκευσης που έπεται
4. Πλήθος κοινών κατεργασιών της μηχανής αποσυναρμολόγησης
5. Τιμή του δείκτη αντικατάστασης

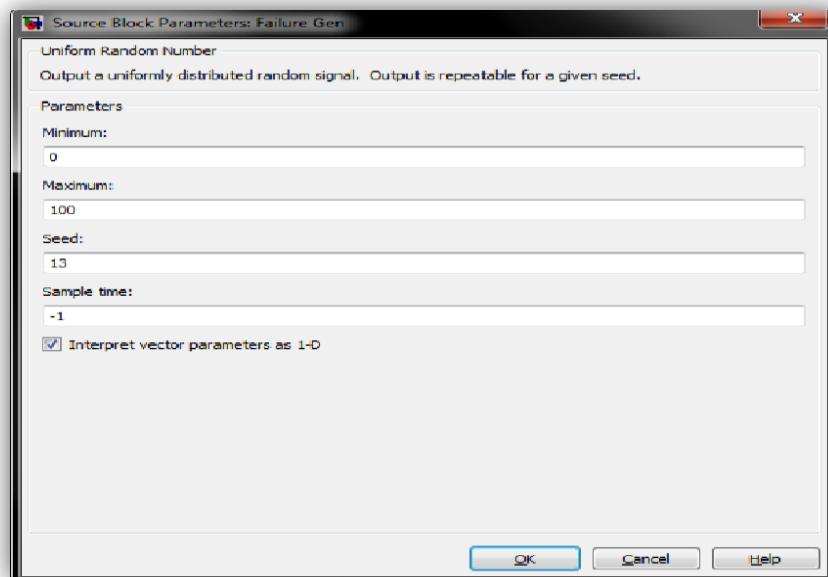
Στην ενότητα που ακολουθεί γίνεται ανάλυση του υποσυστήματος υπολογισμού των πιθανοτήτων βλάβης και επισκευής της μηχανής.

### **3.2.4 Υποσύστημα Υπολογισμού Πιθανότητας Βλάβης/Επισκευής**

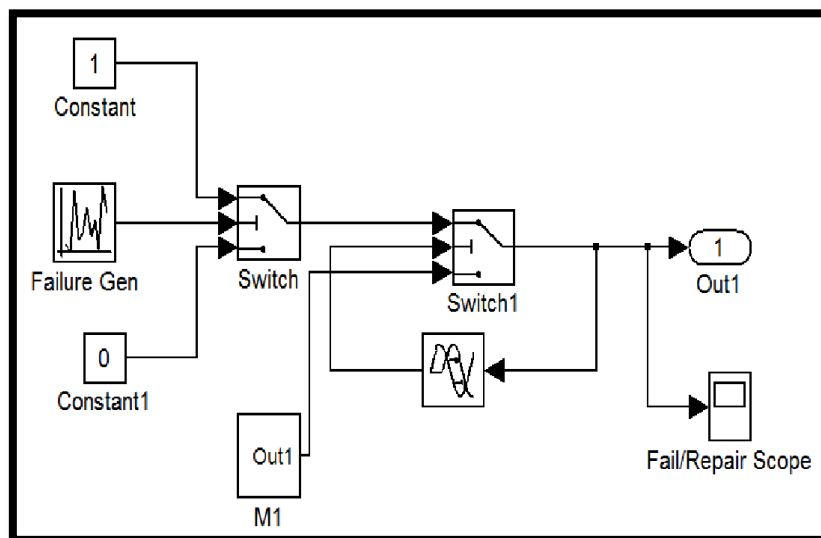
Όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 2.1, οι μηχανές παρουσιάζουν βλάβες τυχαία με πιθανότητα  $p_i$ , η οποία δίνεται από τον λόγο  $p_i = \frac{r_i}{c_0}$ ,  $i = 1, 2, \dots, 22$  όπου  $r_i$  ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής  $M_i$  και  $c_0$  μια σταθερά. Οι χρόνοι μέχρι τη βλάβη και οι χρόνοι για την επισκευή είναι γεωμετρικά κατανεμημένοι. Στο υποσύστημα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.10 το μπλοκ ονόματι Failure Gen παράγει τυχαίους αριθμούς ομοιόμορφα κατανεμημένους σε ένα διάστημα μεταξύ του μηδέν και του εκατό έχοντας ένα ρυθμιζόμενο σπόρο εκκίνησης, ο οποίος λαμβάνει διαφορετικές τιμές για κάθε μηχανή διασφαλίζοντας την τυχειότητα των τιμών. Αν η παραγόμενη τιμή είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι του μπλοκ Switch τότε εξάγεται η τιμή 1=βλάβη αλλιώς, 0=όχι βλάβη. Στο μπλοκ Switch1 γίνεται σύγκριση των τιμών και βάσει αυτής καθορίζεται η λειτουργική κατάσταση της μηχανής. Το μπλοκ Transport



Delay1 για τιμή της παραμέτρου Time Delay ίση με 0,1 διασφαλίζει τη σειρά και τη διάρκεια του κάθε αποτελέσματος.



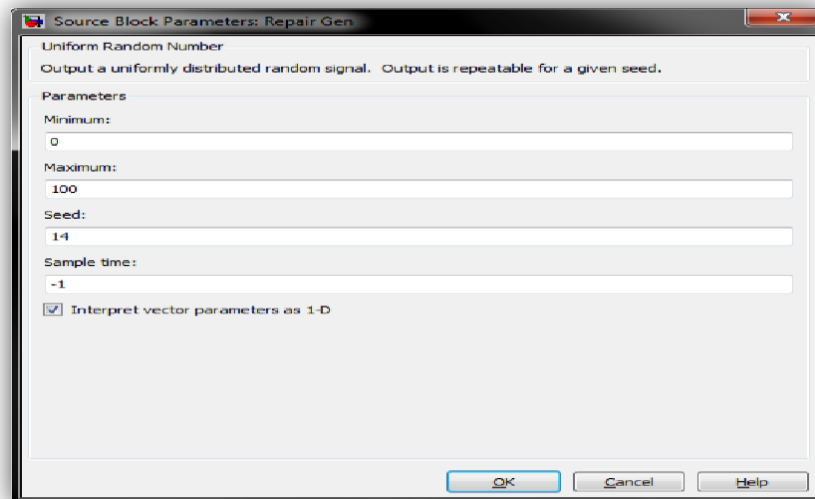
Εικόνα 3.9 Παράμετροι λειτουργίας μπλοκ Failure Gen



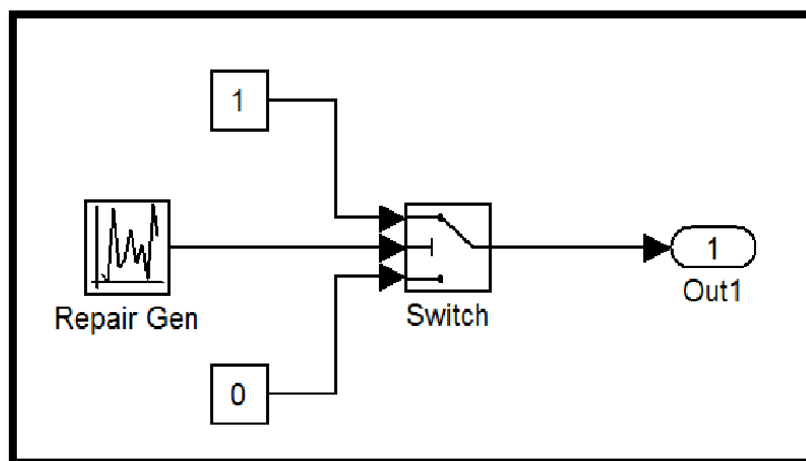
Εικόνα 3.10 Υποσύστημα υπολογισμού πιθανότητας βλάβης

Οι μηχανές επισκευάζονται τυχαία με πιθανότητα  $pr_i$ . Θεωρούμε ότι είναι πάντα διαθέσιμο το απαραίτητο εργατικό δυναμικό για την επισκευή των βλαβών. Το μπλοκ ονόματι Repair Gen παράγει τυχαίους αριθμούς ομοιόμορφα κατανομημένους σε ένα διάστημα μεταξύ του μηδέν και του εκατό έχοντας ένα ρυθμιζόμενο σπόρο εκκίνησης

ο οποίος λαμβάνει διαφορετικές τιμές για κάθε μηχανή διασφαλίζοντας την τυχαιότητα των τιμών. Αν η παραγόμενη τιμή είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι του μπλοκ Switch, τότε εξάγεται η τιμή 1=Επισκευή, αλλιώς 0=όχι επισκευή. Στην Εικόνα 3.11 που ακολουθεί παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου του προγράμματος με τον χρήστη, όπου εμφανίζονται οι τιμές των παραμέτρων του μπλοκ Repair Gen.



Εικόνα 3.11 Παράμετροι λειτουργίας μπλοκ Repair Gen



Εικόνα 3.12 Υποσύστημα υπολογισμού πιθανότητας επισκευής

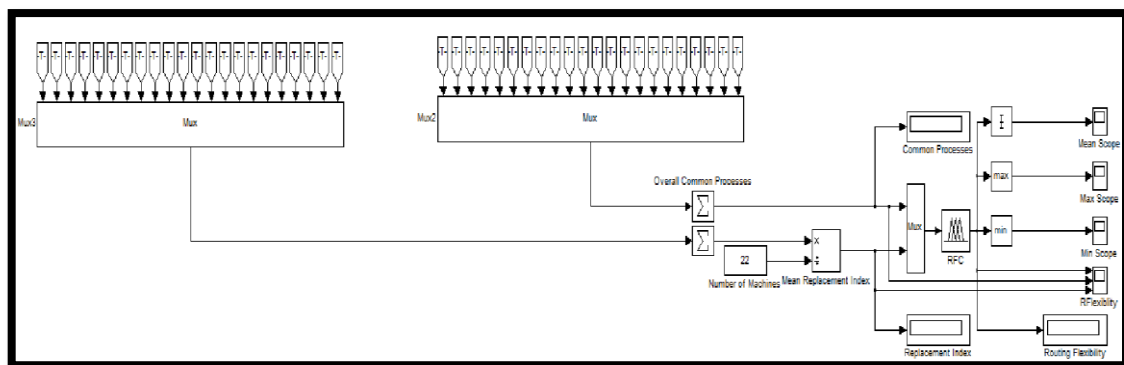
Το μπλοκ ονόματι Switch έχει την τιμή πενήντα στην παράμετρο Threshold, πράγμα που σημαίνει πως η μηχανή έχει 50% πιθανότητα να επισκευαστεί εγκαίρως.

Στην επόμενη ενότητα γίνεται ανάλυση του υποσυστήματος υπολογισμού της ευελιξίας δρομολόγησης.

### 3.2.5 Υποσύστημα Υπολογισμού Ευελιξίας Δρομολόγησης

Το δομικό διάγραμμα της Εικόνα 3.13 υπολογίζει κάθε φορά που οι μηχανές εισέρχονται σε κατάσταση αλλαγής, την τιμή της ευελιξίας δρομολόγησης της γραμμής συναρμολόγησης ή της γραμμής αποσυναρμολόγησης, ανάλογα με το μοντέλο προσομοίωσης που εξετάζουμε.

Πιο συγκεκριμένα, με χρήση του μπλοκ GO TO-FROM δέχεται τις τιμές των παραμέτρων, του πλήθους των κοινών κατεργασιών και του μέσου δείκτη αντικατάστασης των μηχανών όπως προκύπτουν από τις αντίστοιχες γεννήτριες τιμών της κάθε μηχανής και στη συνέχεια τις αθροίζει με χρήση του μπλοκ ονόματι Overall Common Processes. Οι τιμές αυτές εισάγονται στον ασαφή ελεγκτή ονόματι RFC.fis, ο οποίος και εξάγει μια τιμή για την ευελιξία δρομολόγησης του δικτύου. Για λόγους πληρότητας υπολογίζεται επιπλέον η μέση τιμή, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της ευελιξίας δρομολόγησης με χρήση κατάλληλου μπλοκ.

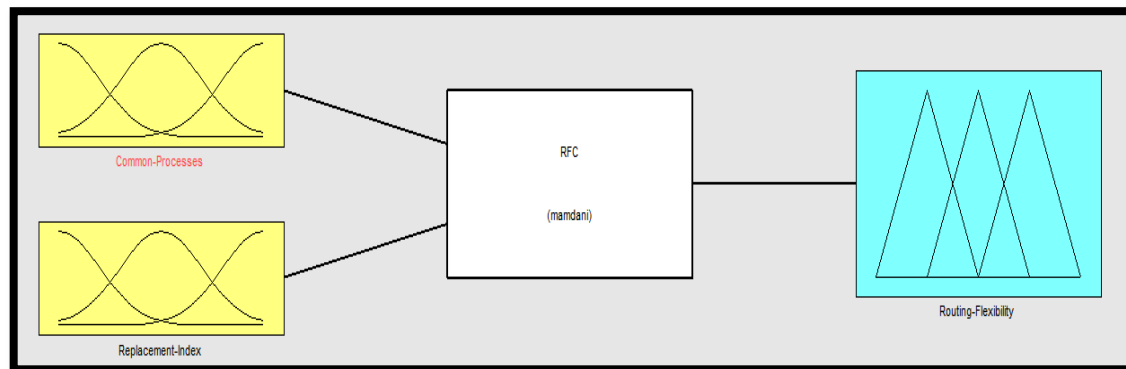


Εικόνα 3.13 Υποσύστημα υπολογισμού ευελιξίας δρομολόγησης

Η ύπαρξη των score έχει ως στόχο τη διευκόλυνση του χρήστη κατά τη διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων.

### 3.2.6 Ασαφής Ελεγκτής RFC.fis

Ο ασαφής ελεγκτής RFC.fis εξάγει ως συμπέρασμα της δράσης ελέγχου την τιμή της ευελιξίας δρομολόγησης του εκάστοτε δικτύου παραγωγής στο οποίο χρησιμοποιείται. Το διάγραμμα που ακολουθεί παρέχει τις πρώτες βασικές πληροφορίες σχετικά με τον υπό εξέταση ελεγκτή.



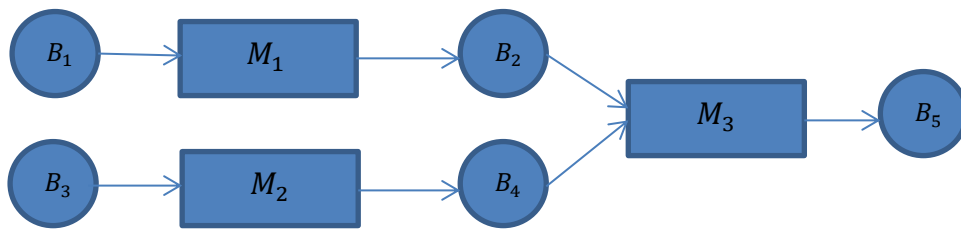
Εικόνα 3.14 Ασαφής Ελεγκτής RFC.fis

Ο ελεγκτής δέχεται ως ορίσματα το άθροισμα των συγκρίσεων όλων των δυνατών συνδυασμών των μηχανών που ανήκουν στο σύστημα παραγωγής (Common Processes) καθώς και τη μέση τιμή του δείκτη αντικατάστασης του συστήματος (Replacement Index) και εξάγει τιμή για την ευελιξία δρομολόγησης (Routing Flexibility). Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποιες βασικές θεωρήσεις που έγιναν στο πλαίσιο αυτής της εργασίας και αφορούν την προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση της ευελιξίας δρομολόγησης.

- Τα μέτρα που ορίζονται για τον ασαφή ελεγκτή βασίζονται στην υπόθεση ότι όμοιες κατεργασίες διαφορετικής ποιότητας εκτελούνται σε περισσότερες από μια μηχανές του δικτύου παραγωγής.
- Το σύστημα παραγωγής παράγει ένα είδος προϊόντος ( $P=1$ ) κάθε φορά, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οποίου αλλάζουν με την κάθε παρτίδα.

- Ένα προϊόν, για να παραχθεί, θα πρέπει να υποστεί  $N$  διαφορετικές κατεργασίες ώστε να θεωρηθεί τελικό, όπου  $N$  ο αριθμός των μηχανών του υπό εξέταση συστήματος παραγωγής.
- Ελέγχονται ως προς το πλήθος των κοινών κατεργασιών μόνο οι μηχανές που ανήκουν σε γραμμές παραγωγής με άμεση επικοινωνία μεταξύ τους.

Παραδείγματος χάριν,



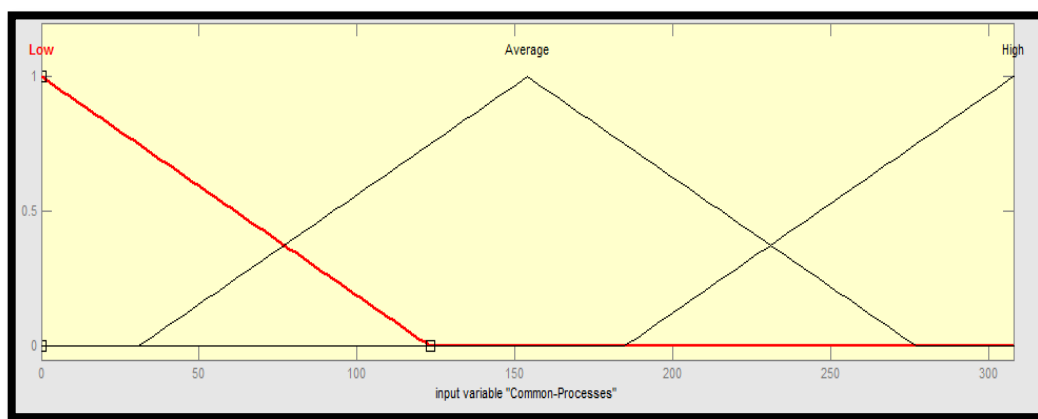
Δυνατές συγκρίσεις  $M_1 M_3$ ,  $M_2 M_3$  όχι  $M_1 M_2$

Η μετάδοση της δράσης ελέγχου στην παραγωγική διαδικασία είναι δυνατή εφόσον μετατραπούν τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων σε πραγματικούς αριθμούς μέσω κατάλληλων συνεπαγωγών που πραγματοποιούνται βάσει του μηχανισμού συμπερασμού. Στον πίνακα που ακολουθεί ορίζονται οι παράμετροι του μηχανισμού συμπερασμού του ασαφούς ελεγκτή.

**Πίνακας 3.1 Μηχανισμός συμπερασμού RFC.fis**

Μέθοδος Συμπερασμού	mamdani
Τελεστής "ΚΑΙ"	min
Τελεστής "Η"	max
Τελεστής συνεπαγωγής	min
Τελεστής σύνθεσης	max
Αποασαφοποίηση	centroid

Η πρώτη λεκτική μεταβλητή που δέχεται ο ασαφής ελεγκτής ονομάζεται “Common Processes” και εκφράζει το πλήθος των κοινών κατεργασιών της εκάστοτε μηχανής, το οποίο προκύπτει έπειτα από σύγκρισή της με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς μηχανών που επικοινωνούν μέσα στο σύστημα παραγωγής. Στη συνέχεια, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “Common Processes”, βάσει των οποίων θα γίνει μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.



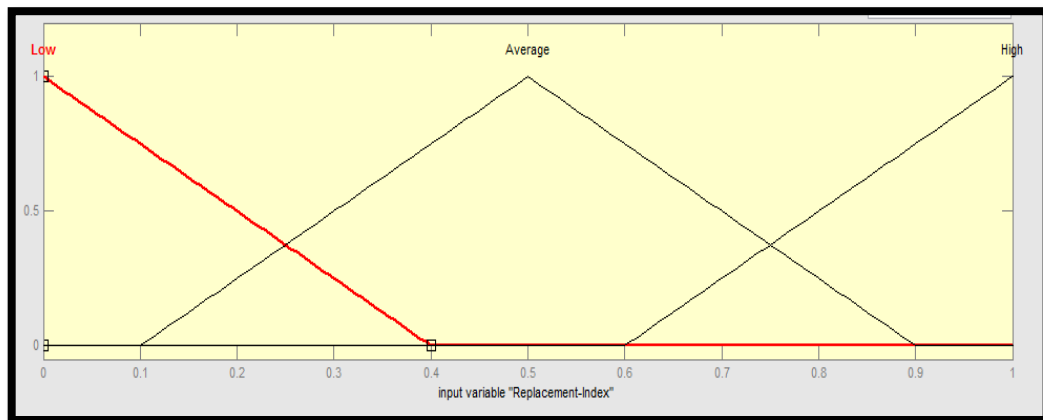
**Εικόνα 3.15** Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Common Processes”

**Πίνακας 3.2** Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Common Processes”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
Low (trimf)	[0 0 123,2]
Average (trimf)	[30,8 154 277,2]
High (trimf)	[184,8 308 308]

Η δεύτερη και τελευταία λεκτική μεταβλητή του ασαφούς ελεγκτή ονομάζεται “Replacement Index” και εκφράζει τη μέση τιμή του δείκτη αντικατάστασης των μηχανών του συστήματος παραγωγής. Χαρακτηρίζει τις λειτουργικές ικανότητες του συστήματος παραγωγής, όπως ο χρόνος αναδρομολόγησης και η δυνατότητα

επικοινωνίας των μηχανών. Ο δείκτης αντικατάστασης μειώνει την πολυπλοκότητα στην έκφραση των παραγόντων που επηρεάζει την ευελιξία δρομολόγησης εκφράζοντας τη σχετική πληροφορία στο διάστημα  $[0, 1]$ . Πληροφορίες σχετικά με τα είδη των συναρτήσεων συμμετοχής καθώς και τα εύρη τους αναφέρονται στην συνέχεια.



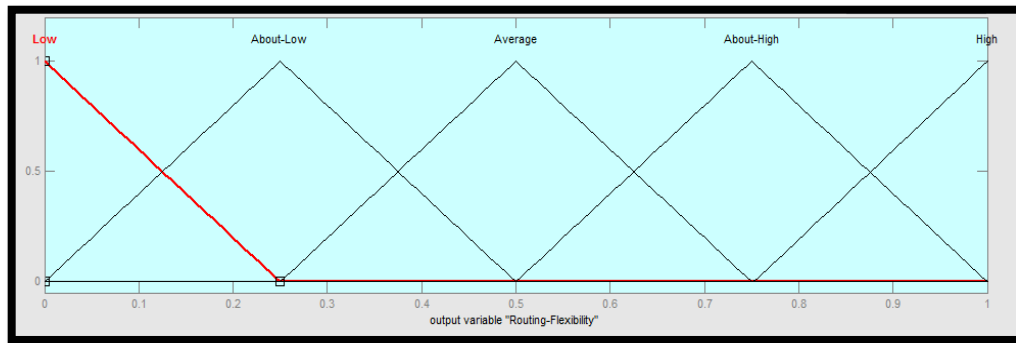
Εικόνα 3.16 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Replacement Index”

Πίνακας 3.3 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Replacement Index”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
Low (trimf)	[0 0 0,4]
Average (trimf)	[0,1 0,5 0,9]
High (trimf)	[0,6 1 1]

Έπειτα από την κατάλληλη αποασαφηνοποίηση των λεκτικών μεταβλητών, ο ασαφής ελεγκτής εξάγει ως συμπέρασμα της δράσης ελεγχου τη μέση τιμή της

ευελιξίας δρομολόγησης του δικτύου παραγωγής για το εκάστοτε είδος προϊόντος.



Εικόνα 3.17 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “Routing Flexibility”

Πίνακας 3.4 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “Routing Flexibility”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
Low (trimf)	[0 0 0,25]
About Low (trimf)	[0 0,25 0,5]
Average (trimf)	[0,25 0,5 0,75]
About High (trimf)	[0,5 0,75 1]
High (trimf)	[0,75 1 1]

Στη συνέχεια, προχωρούμε στην παρουσίαση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης οι οποίοι ικανοποιούν τα βασικά κριτήρια που αναλύθηκαν στην υποενότητα 2.2.5. Ο αριθμός των κανόνων που ακολουθούν είναι **εννιά** και συνοδεύονται από τα αντίστοιχα βάρη συμμετοχής τους μέσα σε παρενθέσεις.

1. AN (Common-Processes είναι Low) KAI (Replacement-Index είναι Low) TOTE (Routing-Flexibility είναι Low) (1)
2. AN (Common-Processes είναι Low) KAI (Replacement-Index είναι Average) TOTE (Routing-Flexibility είναι About-Low) (1)
3. AN (Common-Processes είναι Low) KAI (Replacement-Index είναι High) TOTE (Routing-Flexibility είναι Average) (1)
4. AN (Common-Processes είναι Average) KAI (Replacement-Index είναι Low) TOTE (Routing-Flexibility είναι About-Low) (1)
5. AN (Common-Processes είναι Average) KAI (Replacement-Index είναι Average) TOTE (Routing-Flexibility είναι Average) (1)
6. AN (Common-Processes είναι Average) KAI (Replacement-Index είναι High) TOTE (Routing-



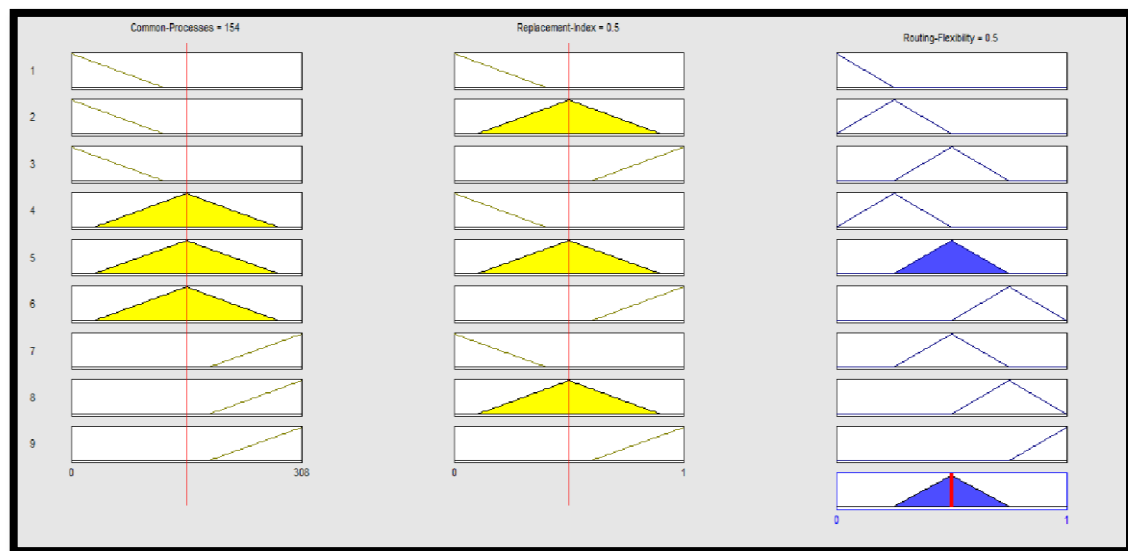
Flexibility είναι About-High) (1)

7. AN (Common-Processes είναι High) KAI (Replacement-Index είναι Low) TOTE (Routing-Flexibility είναι Average) (1)

8. AN (Common-Processes είναι High) KAI (Replacement-Index είναι Average) TOTE (Routing-Flexibility είναι About-High) (1)

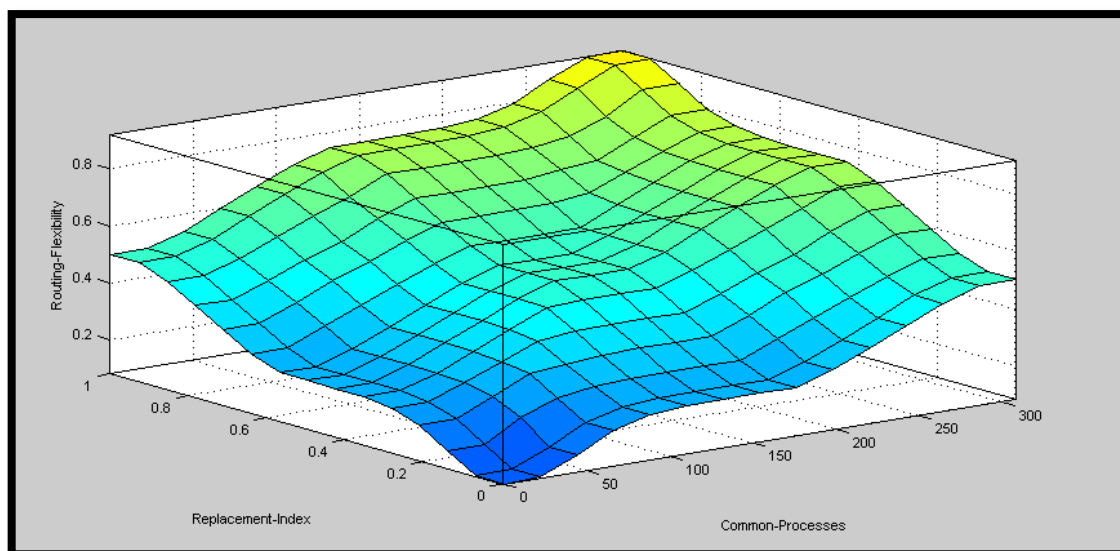
9. AN (Common-Processes είναι High) KAI (Replacement-Index είναι High) TOTE (Routing-Flexibility είναι High) (1)

Έχοντας επιλέξει ως μέθοδο αποασαφοποίησης τη μέθοδο του κέντρου βάρους, παράγεται η δράση ελέγχου που απεικονίζεται στην Εικόνα 3.18, όπου κάθε κανόνας είναι μία γραμμή από γραφήματα και κάθε στήλη είναι μία μεταβλητή Εισόδου/Εξόδου αντίστοιχα.



Εικόνα 3.18 Rules Viewer: RFC.fis

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει τη δράση ελέγχου σε σχέση με τις δύο μεταβλητές εισόδου του ελεγκτή.

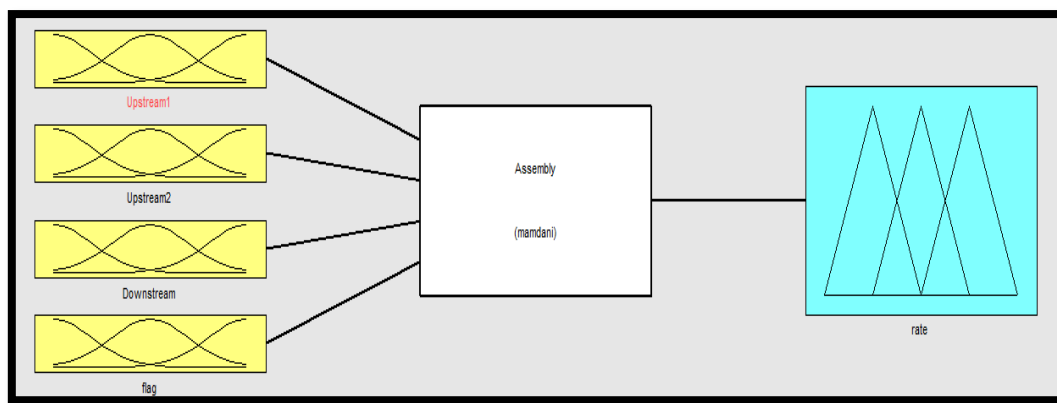


**Εικόνα 3.19 Surface Viewer: RFC.fis**

Έχοντας σε αυτό το στάδιο ολοκληρώσει την παρουσίαση του ασαφούς ελεγκτή RFC.fis, προχωρούμε στη συνέχεια στον ορισμό του ασαφούς ελεγκτή της μηχανής συναρμολόγησης Assembly.fis.

### **3.2.7 Ασαφής Ελεγκτής Assembly.fis**

Ο ασαφής ελεγκτής Assembly.fis εξάγει ως συμπέρασμα της δράσης ελέγχου τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής συναρμολόγησης. Η λειτουργία του παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με εκείνη του ελεγκτή BMBFA.fis που εξετάστηκε νωρίτερα, με ειδοποιό διαφορά ότι στην περίπτωσή του οι δύο εκ των τεσσάρων λεκτικών μεταβλητών αφορούν στις δύο μηχανές που προηγούνται της μηχανής συναρμολόγησης. Το διάγραμμα που ακολουθεί παρέχει τις πρώτες βασικές πληροφορίες σχετικά με τον υπό εξέταση ελεγκτή.



**Εικόνα 3.20 Ασαφής Ελεγκτής Assembly.fis**

Ο ελεγκτής δέχεται ως ορίσματα τις στάθμες των δύο χώρων εναποθήκευσης που προηγούνται της μηχανής (Upstream1 και Upstream2), τη στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που έπεται της μηχανής (Downstream), καθώς και τη λειτουργική κατάσταση της μηχανής του ελεγκτή (flag).

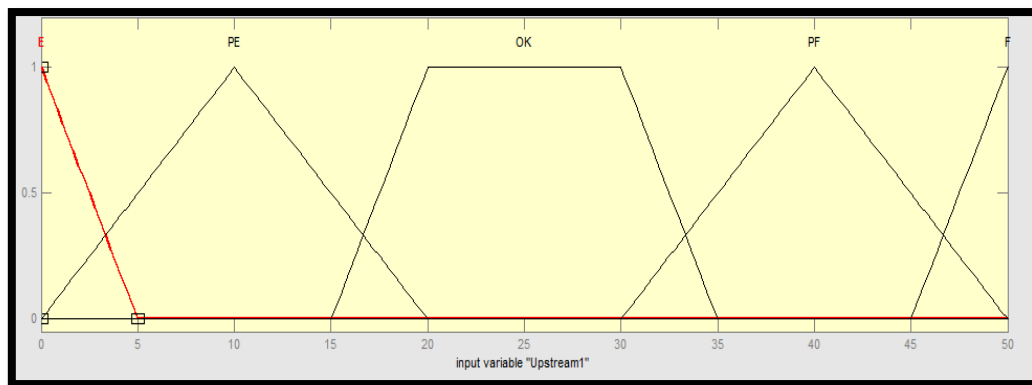
Η μετάδοση της δράσης ελέγχου στην παραγωγική διαδικασία είναι δυνατή εφόσον μετατραπούν τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων σε πραγματικούς αριθμούς μέσω κατάλληλων συνεπαγωγών που πραγματοποιούνται βάσει του μηχανισμού συμπερασμού. Στον πίνακα που ακολουθεί ορίζονται οι παράμετροι του μηχανισμού συμπερασμού του ασαφούς ελεγκτή.

**Πίνακας 3.5 Μηχανισμός συμπερασμού Assembly.fis**

Μέθοδος Συμπερασμού	mamdani
Τελεστής "ΚΑΙ"	min
Τελεστής "Η"	max
Τελεστής συνεπαγωγής	min
Τελεστής σύνθεσης	max
Αποασαφοποίηση	centroid

Η πρώτη λεκτική μεταβλητή που δέχεται ο ελεγκτής ονομάζεται “Upstream1” και εκφράζει τη στάθμη του πρώτου χώρου εναποθήκευσης που προηγείται της μηχανής του ελεγκτή. Η σημασία των χώρων εναποθήκευσης στα δίκτυα παραγωγής καθώς και παραδείγματα της λειτουργία τους έχουν αναφερθεί τόσο στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο όσο και στην υποενότητα 2.2.6.

Στη συνέχεια, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “Upstream1”, βάσει των οποίων θα γίνει μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.



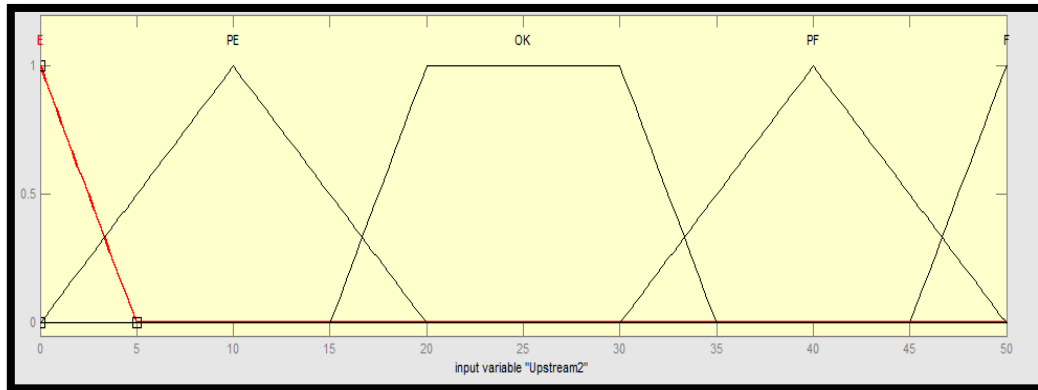
Εικόνα 3.21 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Upstream1”

Πίνακας 3.6 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Upstream1”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
E (trimf)	[0 0 5]
PE (trimf)	[0 10 20]
OK (trapmf)	[15 20 30 35]
PF (trimf)	[30,12 40,12 50,12]
F (trimf)	[45 50 50]

Η δεύτερη λεκτική μεταβλητή που δέχεται ο ελεγκτής ονομάζεται “Upstream2” και εκφράζει τη στάθμη του δεύτερου χώρου εναποθήκευσης που προηγείται της μηχανής

του ελεγκτή. Τόσο στην Εικόνα 3.22 όσο και στον Πίνακα 3.7 που ακολουθεί παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “Upstream2”.

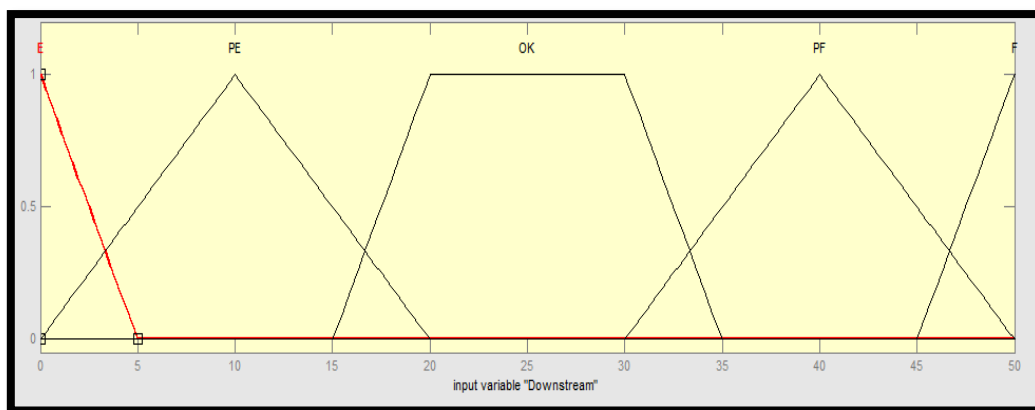


**Εικόνα 3.22** Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Upstream2”

**Πίνακας 3.7** Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Upstream2”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
E (trimf)	[0 0 5]
PE (trimf)	[0 10 20]
OK (trapmf)	[15 20 30 35]
PF (trimf)	[30 40 50]
F (trimf)	[45 50 50]

Η τρίτη λεκτική μεταβλητή του ασαφούς ελεγκτή ονομάζεται “Downstream” και εκφράζει τη στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που έπεται της υπό εξέταση μηχανής. Πληροφορίες σχετικά με τα είδη των συναρτήσεων συμμετοχής καθώς και τα εύρη τους αναφέρονται στη συνέχεια.

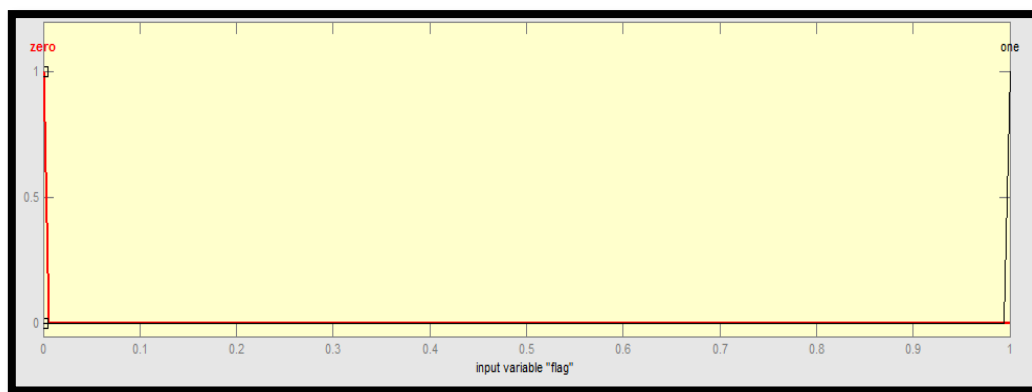


Εικόνα 3.23 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Downstream”

Πίνακας 3.8 Ασαφές σύνολο μεταβλητής εισόδου “Downstream”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
E (trimf)	[0 0 5]
PE (trimf)	[0 10 20]
OK (trapmf)	[15 20 30 35]
PF (trimf)	[30 40 50]
F (trimf)	[45 50 50]

Η τέταρτη και τελευταία λεκτική μεταβλητή του ελεγκτή ονομάζεται “flag” και εκφράζει τη λειτουργική κατάσταση της μηχανής του ελεγκτή. Στην υποενότητα 3.2.4 παρουσιάστηκε με αναλυτικό τρόπο η λειτουργία του υποσυστήματος υπολογισμού πιθανότητας βλάβης/επισκευής που καθορίζει την λειτουργική κατάσταση της μηχανής.

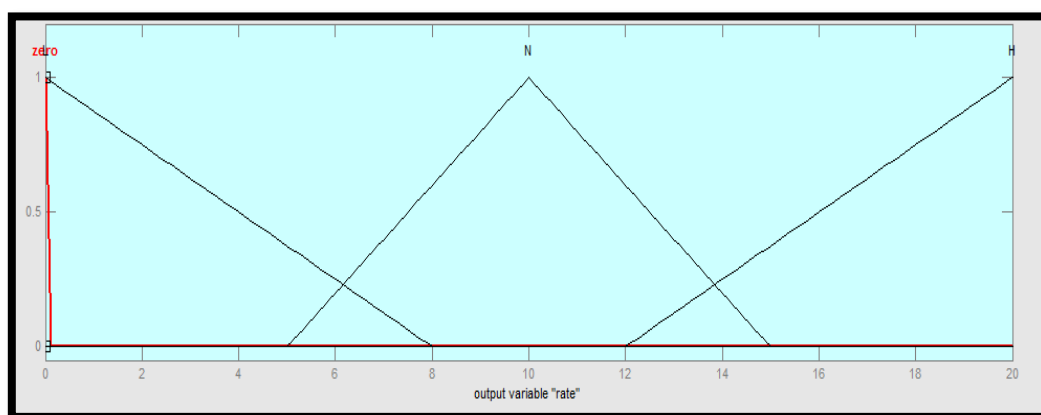


Εικόνα 3.24 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “flag”

Πίνακας 3.9 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “flag”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
zero (trimf)	[0 0 0]
one (trimf)	[1 1 1]

Έπειτα από την κατάλληλη αποασαφηνοποίηση των λεκτικών μεταβλητών, ο ασαφής ελεγκτής εξάγει ως συμπέρασμα της δράσης ελεγχου τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής. Τα είδη των συναρτήσεων συμμετοχής που χρησιμοποιούνται καθώς και τα ασαφή σύνολα διαφοροποιούνται σε σύγκριση με αυτά του ελεγκτή BMBFA.fis λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων της μηχανής συναρμολόγησης.



Εικόνα 3.25 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “rate”

**Πίνακας 3.10 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “rate”**

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
zero (trimf)	[0 0 0]
L (trimf)	[0 0 8]
N (trimf)	[5 10 15]
H (trimf)	[12 20 20]

Στη συνέχεια, προχωρούμε στην παρουσίαση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης οι οποίοι ικανοποιούν τα βασικά κριτήρια που αναλύθηκαν στην υποενότητα 2.2.5. Ο αριθμός των κανόνων που ακολουθούν είναι **τριάντα οκτώ** και συνοδεύονται από τα αντίστοιχα βάρη συμμετοχής τους μέσα σε παρενθέσεις.

1. AN (Downstream είναι F) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι zero) (1)
2. AN (Upstream1 είναι E) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι zero) (1)
3. AN (Upstream2 είναι E) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι zero) (1)
4. AN (Downstream είναι PF) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι L) (1)
5. AN (Upstream1 είναι F) ΚΑΙ (Upstream2 είναι PE) ΚΑΙ (Downstream είναι PE) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
6. AN (Upstream1 είναι PE) ΚΑΙ (Upstream2 είναι F) ΚΑΙ (Downstream είναι PE) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
7. AN (Upstream1 είναι OK) ΚΑΙ (Upstream2 είναι OK) ΚΑΙ (Downstream είναι E) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
8. AN (Upstream1 είναι OK) ΚΑΙ (Upstream2 είναι OK) ΚΑΙ (Downstream είναι PE) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
9. AN (Upstream1 είναι OK) ΚΑΙ (Upstream2 είναι OK) ΚΑΙ (Downstream είναι OK) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
10. AN (Upstream1 είναι PF) ΚΑΙ (Upstream2 είναι OK) ΚΑΙ (Downstream είναι OK) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
11. AN (Upstream1 είναι F) ΚΑΙ (Upstream2 είναι OK) ΚΑΙ (Downstream είναι OK) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
12. AN (Upstream1 είναι OK) ΚΑΙ (Upstream2 είναι PF) ΚΑΙ (Downstream είναι OK) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
13. AN (Upstream1 είναι OK) ΚΑΙ (Upstream2 είναι F) ΚΑΙ (Downstream είναι OK) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
14. AN (Upstream1 είναι PF) ΚΑΙ (Upstream2 είναι F) ΚΑΙ (Downstream είναι OK) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
15. AN (Upstream1 είναι F) ΚΑΙ (Upstream2 είναι F) ΚΑΙ (Downstream είναι OK) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
16. AN (flag είναι zero) TOTE (rate είναι zero) (1)
17. AN (Upstream2 είναι PE) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι L) (1)
18. AN (Upstream1 είναι PE) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι L) (1)
19. AN (Upstream1 είναι F) ΚΑΙ (Upstream2 είναι F) ΚΑΙ (Downstream είναι PE) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
20. AN (Upstream1 είναι F) ΚΑΙ (Upstream2 είναι F) ΚΑΙ (Downstream είναι E) ΚΑΙ (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
21. AN (Upstream1 είναι PF) ΚΑΙ (Upstream2 είναι PF) ΚΑΙ (Downstream είναι OK) ΚΑΙ (flag είναι



one) TOTE (rate είναι N) (1)

22. AN (Upstream1 είναι PF) KAI (Upstream2 είναι F) KAI (Downstream είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)

23. AN (Upstream1 είναι F) KAI (Upstream2 είναι PF) KAI (Downstream είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)

24. AN (Upstream1 είναι F) KAI (Upstream2 είναι PF) KAI (Downstream είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)

25. AN (Upstream1 είναι PF) KAI (Upstream2 είναι PF) KAI (Downstream είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

26. AN (Upstream1 είναι PF) KAI (Upstream2 είναι F) KAI (Downstream είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

27. AN (Upstream1 είναι PF) KAI (Upstream2 είναι PF) KAI (Downstream είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

28. AN (Upstream1 είναι F) KAI (Upstream2 είναι PF) KAI (Downstream είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

29. AN (Upstream1 είναι OK) KAI (Upstream2 είναι F) KAI (Downstream είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

30. AN (Upstream1 είναι OK) KAI (Upstream2 είναι F) KAI (Downstream είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

31. AN (Upstream1 είναι OK) KAI (Upstream2 είναι F) KAI (Downstream είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

32. AN (Upstream1 είναι OK) KAI (Upstream2 είναι PF) KAI (Downstream είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

33. AN (Upstream1 είναι F) KAI (Upstream2 είναι OK) KAI (Downstream είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

34. AN (Upstream1 είναι F) KAI (Upstream2 είναι OK) KAI (Downstream είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

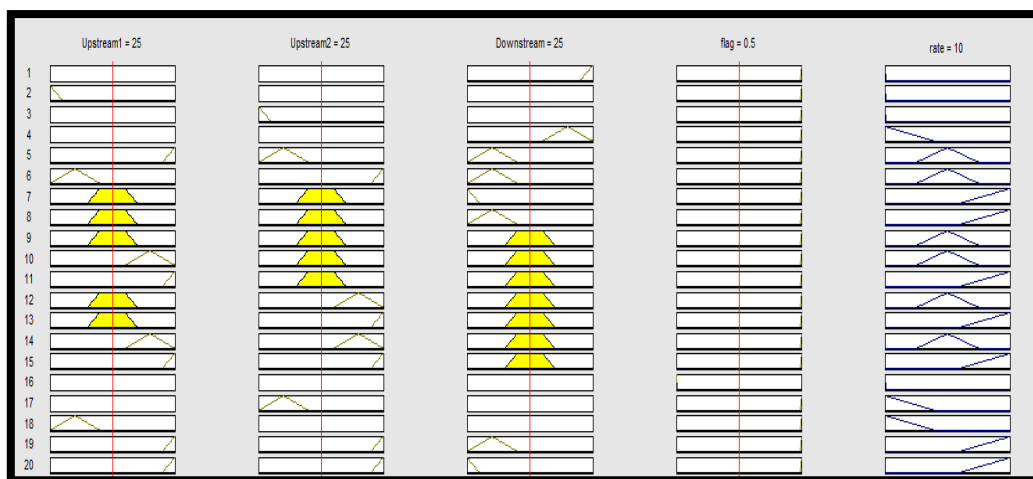
35. AN (Upstream1 είναι PF) KAI (Upstream2 είναι PF) KAI (Downstream είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

36. AN (Upstream1 είναι PF) KAI (Upstream2 είναι OK) KAI (Downstream είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)

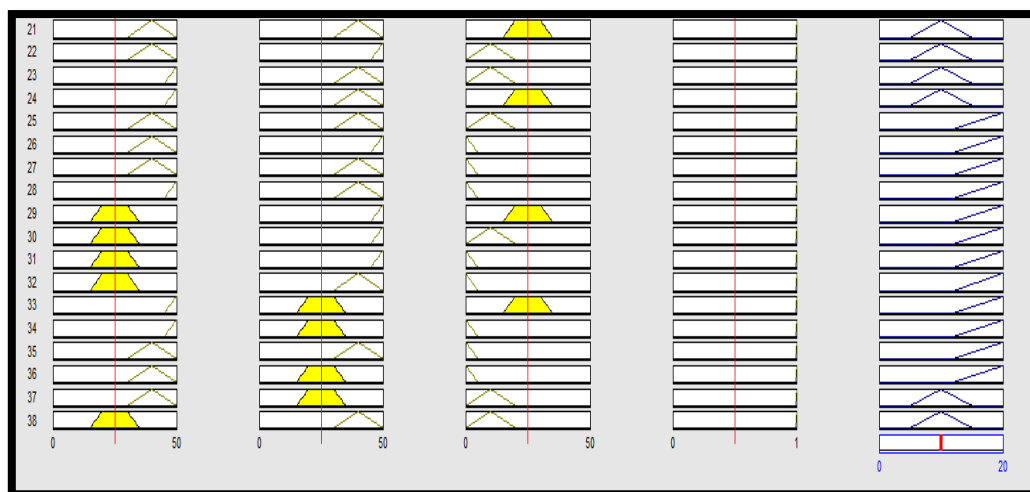
37. AN (Upstream1 είναι PF) KAI (Upstream2 είναι OK) KAI (Downstream είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)

38. AN (Upstream1 είναι OK) KAI (Upstream2 είναι PF) KAI (Downstream είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)

Έχοντας επιλέξει ως μέθοδο αποασαφοποίησης τη μέθοδο του κέντρου βάρους, παράγεται η δράση ελέγχου που απεικονίζεται στις εικόνες που ακολουθούν, όπου λόγω αδυναμίας της εργαλειοθήκης ασαφούς λογικής της Matlab να εξάγει ενιαία εικόνα για το σύνολο των λεκτικών κανόνων παρουσιάζονται δύο εικόνες με τους τριάντα οκτώ κανόνες, όπου κάθε κανόνας είναι μία γραμμή από γραφήματα και κάθε στήλη είναι μία μεταβλητή **Εισόδου/Εξόδου** αντίστοιχα.

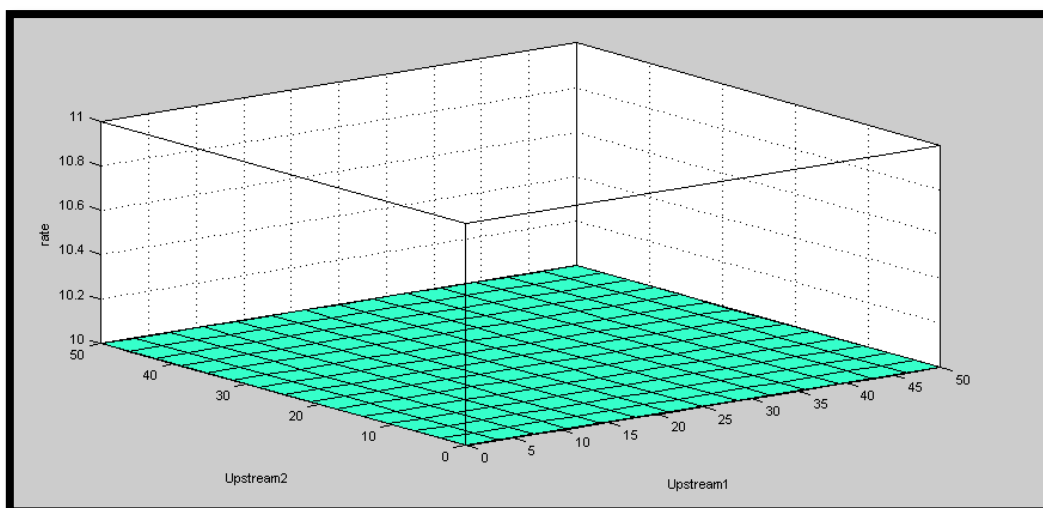


**Εικόνα 3.26 Rules Viewer Part I: Assembly.fis**



**Εικόνα 3.27 Rules Viewer Part II: Assembly.fis**

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει τη δράση ελέγχου σε σχέση με τις τέσσερις μεταβλητές εισόδου του ελεγκτή.

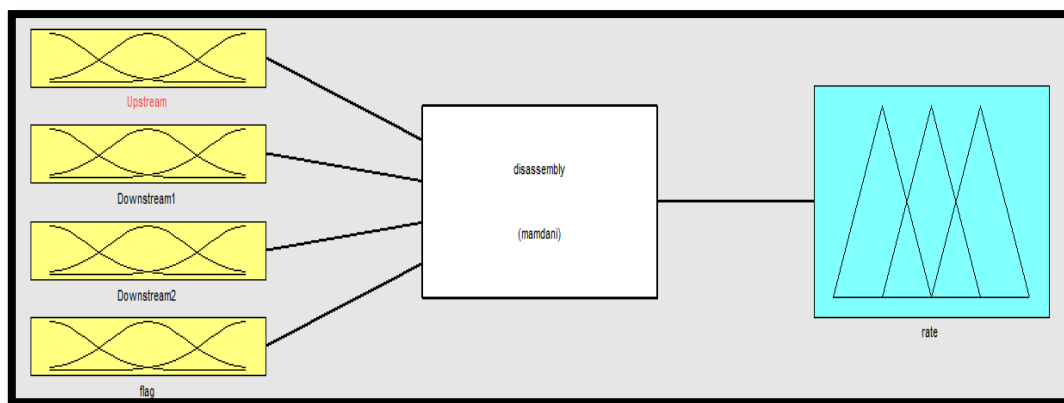


**Εικόνα 3.28 Surface Viewer: Assembly.fis**

Έχοντας σε αυτό το στάδιο ολοκληρώσει την παρουσίαση του ασαφούς ελεγκτή Assembly.fis, προχωρούμε στη συνέχεια στον ορισμό του ασαφούς ελεγκτή της μηχανής αποσυναρμολόγησης Disassembly.fis.

### **3.2.8 Ασαφής Ελεγκτής Disassembly.fis**

Ο ασαφής ελεγκτής Disassembly.fis εξάγει ως αποτέλεσμα της δράσης ελέγχου τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής αποσυναρμολόγησης. Όπως και με τον ασαφή ελεγκτή Assembly.fis, η λειτουργία του παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με εκείνη του ελεγκτή BMBFA.fis, με μόνη διαφορά ότι στην περίπτωση του οι δύο εκ των τεσσάρων λεκτικών μεταβλητών αφορούν τις μηχανές που έπονται της μηχανής αποσυναρμολόγησης. Το διάγραμμα που ακολουθεί παρέχει τις πρώτες βασικές πληροφορίες σχετικά με τον υπό εξέταση ελεγκτή.



**Εικόνα 3.29 Ασαφής ελεγκτής Disassembly.fis**

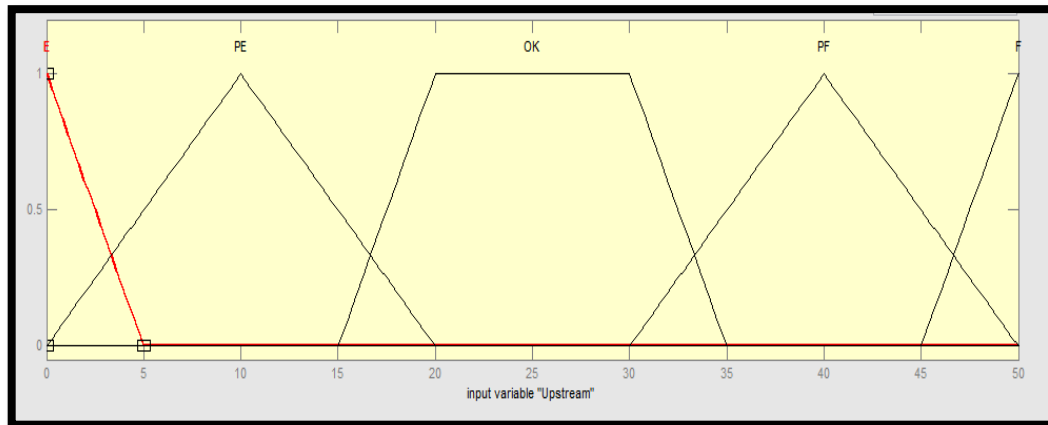
Ο ελεγκτής δέχεται ως ορίσματα τη στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που προηγείται της μηχανής (Upstream), την στάθμη των δυο χώρων εναποθήκευσης που έπονται της μηχανής (Downstream1 και Downstream2), καθώς και τη λειτουργική κατάσταση της μηχανής αποσυναρμολόγησης (flag).

Η μετάδοση της δράσης ελέγχου στην παραγωγική διαδικασία είναι δυνατή εφόσον μετατραπούν τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων σε πραγματικούς αριθμούς μέσω κατάλληλων συνεπαγωγών που πραγματοποιούνται βάσει του μηχανισμού συμπερασμού. Στον πίνακα που ακολουθεί ορίζονται οι παράμετροι του μηχανισμού συμπερασμού του ασαφούς ελεγκτή.

**Πίνακας 3.11 Μηχανισμός συμπερασμού Disassembly.fis**

Μέθοδος Συμπερασμού	mamdani
Τελεστής "ΚΑΙ"	min
Τελεστής "Η"	max
Τελεστής συνεπαγωγής	min
Τελεστής σύνθεσης	max
Αποασαφοποίηση	centroid

Η πρώτη λεκτική μεταβλητή που δέχεται ο ελεγκτής ονομάζεται “Upstream” και εκφράζει τη στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που προηγείται της μηχανής του ελεγκτή. Στη συνέχεια, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “Upstream”, βάσει των οποίων θα γίνει μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.

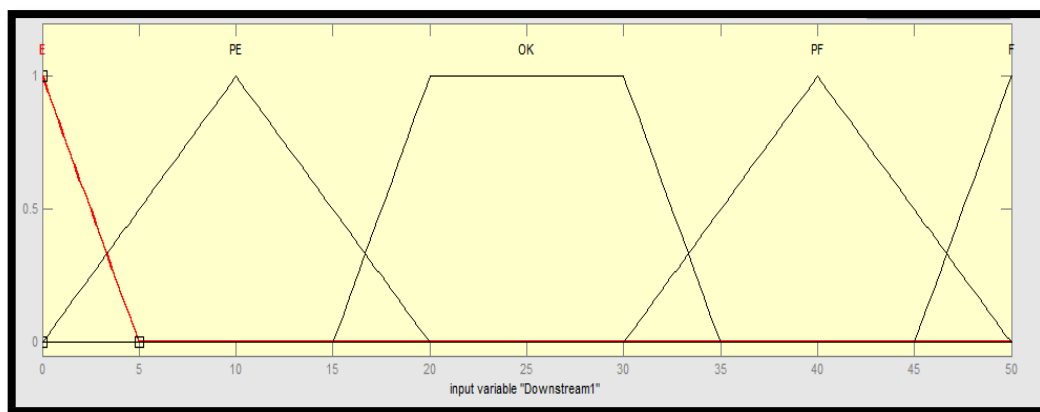


Εικόνα 3.30 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Upstream”

Πίνακας 3.12 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Upstream”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
E (trimf)	[0 0 5]
PE (trimf)	[0 10 20]
OK (trapmf)	[15 20 30 35]
PF (trimf)	[30 40 50]
F (trimf)	[45 50 50]

Η δεύτερη λεκτική μεταβλητή του ασαφούς ελεγκτή ονομάζεται “Downstream1” και εκφράζει τη στάθμη του πρώτου χώρου εναποθήκευσης που έπεται της υπό εξέταση μηχανής. Πληροφορίες σχετικά με τα είδη των συναρτήσεων συμμετοχής καθώς και τα εύρη τους αναφέρονται στη συνέχεια.

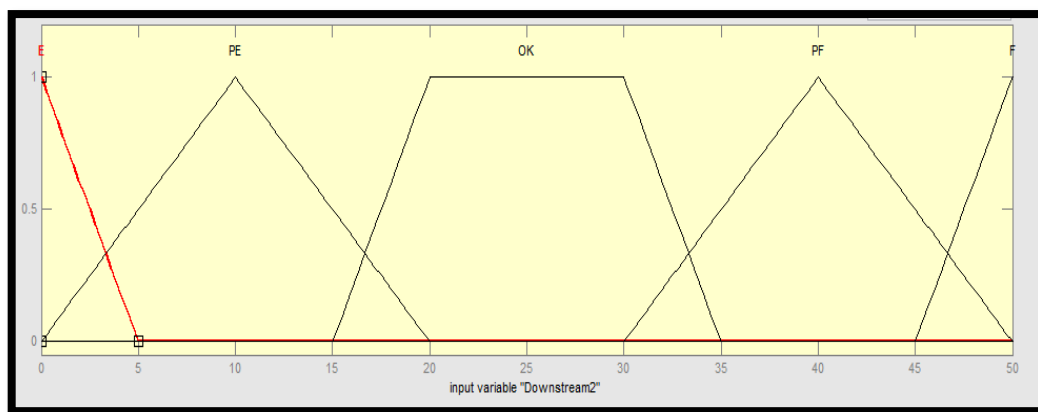


Εικόνα 3.31 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Downstream1”

Πίνακας 3.13 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Downstream1”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
E (trimf)	[0 0 5]
PE (trimf)	[0 10 20]
OK (trapmf)	[15 20 30 35]
PF (trimf)	[30 40 50]
F (trimf)	[45 50 50]

Η τρίτη λεκτική μεταβλητή του ασαφούς ελεγκτή ονομάζεται “Downstream2” και εκφράζει τη στάθμη του δεύτερου χώρου εναποθήκευσης που έπεται της μηχανής αποσυναρμολόγησης. Τόσο στην Εικόνα 3.32 όσο και στον Πίνακα 3.14 που ακολουθεί δίνονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου.

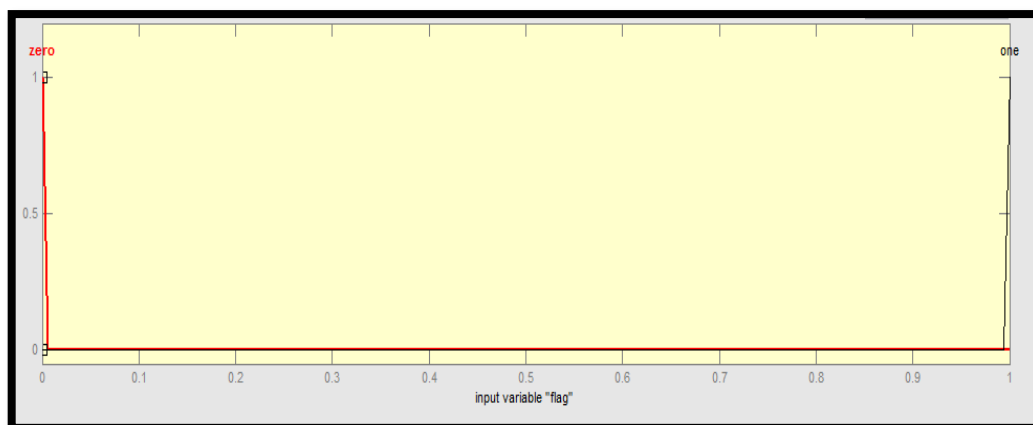


Εικόνα 3.32 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Downstream2”

Πίνακας 3.14 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Downstream2”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
E (trimf)	[0 0 5]
PE (trimf)	[0 10 20]
OK (trapmf)	[15 20 30 35]
PF (trimf)	[30 40 50]
F (trimf)	[45 50 50]

Η τέταρτη και τελευταία λεκτική μεταβλητή του ελεγκτή ονομάζεται “flag” και εκφράζει τη λειτουργική κατάσταση της μηχανής του ελεγκτή. Στην υποενότητα 3.2.4 παρουσιάστηκε με αναλυτικό τρόπο η λειτουργία του υποσυστήματος υπολογισμού πιθανότητας βλάβης/επισκευής που καθορίζει την λειτουργική κατάσταση της μηχανής.

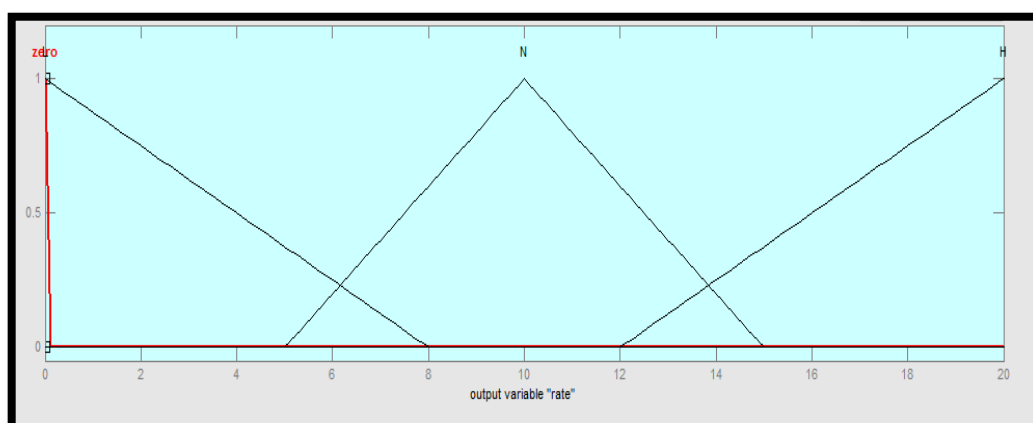


Εικόνα 3.33 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “flag”

Πίνακας 3.15 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “flag”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
zero (trimf)	[0 0 0]
one (trimf)	[1 1 1]

Έπειτα από την κατάλληλη αποασαφηνοποίηση των λεκτικών μεταβλητών, ο ασαφής ελεγκτής εξάγει ως συμπέρασμα της δράσης ελεγχου τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής. Τα είδη των συναρτήσεων συμμετοχής που χρησιμοποιούνται καθώς και τα ασαφή σύνολα διαφοροποιούνται σε σύγκριση με αυτά του ελεγκτή BMBFA.fis λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων της μηχανής αποοσυναρμολόγησης.



Εικόνα 3.34 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “rate”



Πίνακας 3.16 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “rate”

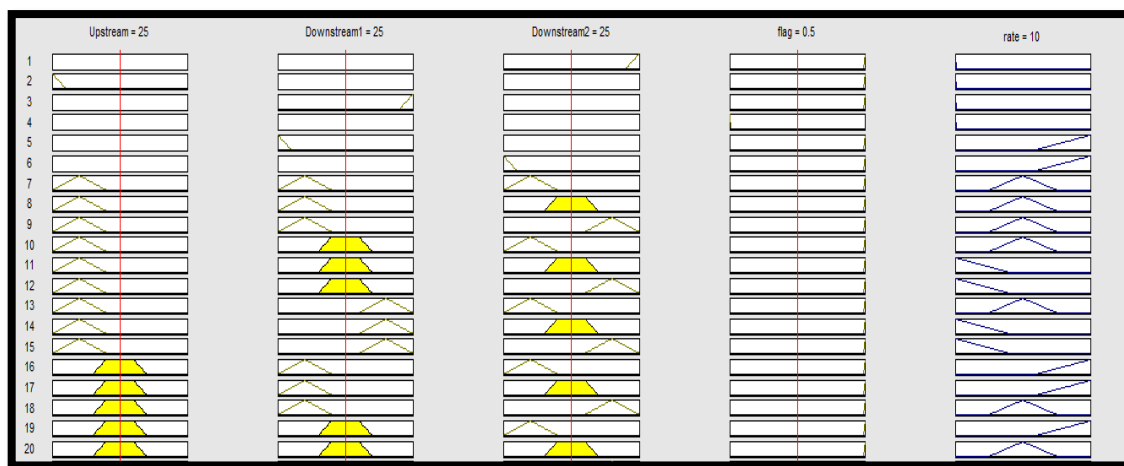
Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
zero (trimf)	[0 0 0]
L (trimf)	[0 0 8]
N (trimf)	[5 10 15]
H (trimf)	[12 20 20]

Στη συνέχεια, προχωρούμε στην παρουσίαση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης οι οποίοι ικανοποιούν τα βασικά κριτήρια που αναλύθηκαν στην υποενότητα 2.2.5. Ο αριθμός των κανόνων που ακολουθούν είναι **σαράντα δύο** και συνοδεύονται από τα αντίστοιχα βάρη συμμετοχής τους μέσα σε παρενθέσεις.

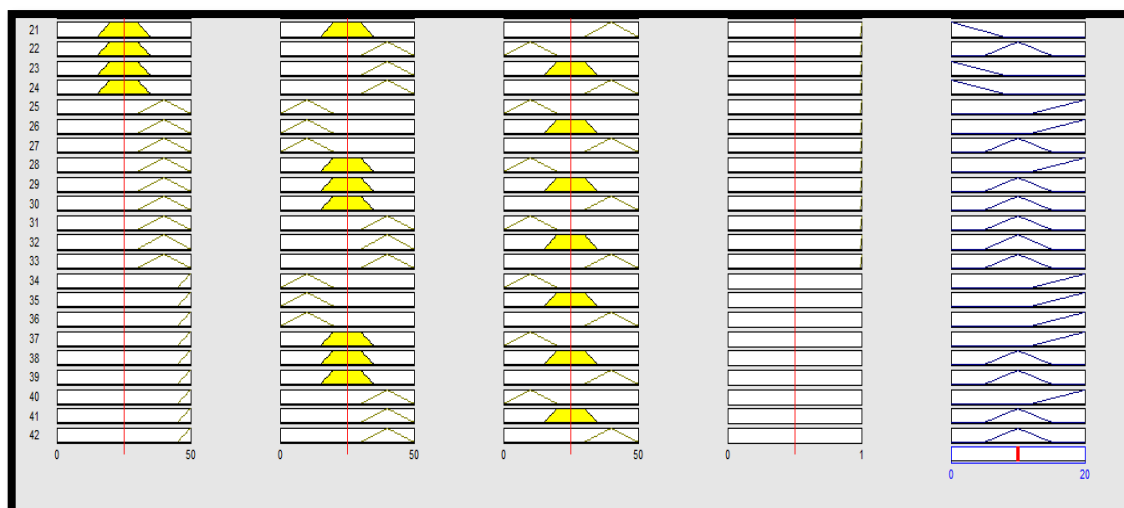
1. AN (Downstream2 είναι F) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι zero) (1)
2. AN (Upstream είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι zero) (1)
3. AN (Downstream1 είναι F) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι zero) (1)
4. AN (flag είναι zero) TOTE (rate είναι zero) (1)
5. AN (Downstream1 είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
6. AN (Downstream2 είναι E) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
7. AN (Upstream είναι PF) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι PF) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
8. AN (Upstream είναι PE) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
9. AN (Upstream είναι PE) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι PF) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
10. AN (Upstream είναι PE) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
11. AN (Upstream είναι PE) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι L) (1)
12. AN (Upstream είναι PE) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι PF) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι L) (1)
13. AN (Upstream είναι PE) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
14. AN (Upstream είναι PE) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι L) (1)
15. AN (Upstream είναι PE) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι PF) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι L) (1)
16. AN (Upstream είναι OK) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
17. AN (Upstream είναι OK) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
18. AN (Upstream είναι OK) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι PF) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
19. AN (Upstream είναι OK) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
20. AN (Upstream είναι OK) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)

21. AN (Upstream είναι OK) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι PF) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι L) (1)
22. AN (Upstream είναι OK) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
23. AN (Upstream είναι OK) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι L) (1)
24. AN (Upstream είναι OK) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι PF) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι L) (1)
25. AN (Upstream είναι PF) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
26. AN (Upstream είναι PF) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
27. AN (Upstream είναι PF) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι PF) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
28. AN (Upstream είναι PF) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
29. AN (Upstream είναι PF) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
30. AN (Upstream είναι PF) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι PF) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
31. AN (Upstream είναι PF) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
32. AN (Upstream είναι PF) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι OK) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
33. AN (Upstream είναι PF) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι PF) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι N) (1)
34. AN (Upstream είναι F) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι PE) TOTE (rate είναι H) (1)
35. AN (Upstream είναι F) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι OK) TOTE (rate είναι H) (1)
36. AN (Upstream είναι F) KAI (Downstream1 είναι PE) KAI (Downstream2 είναι PF) TOTE (rate είναι H) (1)
37. AN (Upstream είναι F) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι PE) KAI (flag είναι one) TOTE (rate είναι H) (1)
38. AN (Upstream είναι F) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι OK) TOTE (rate είναι N) (1)
39. AN (Upstream είναι F) KAI (Downstream1 είναι OK) KAI (Downstream2 είναι PF) TOTE (rate είναι N) (1)
40. AN (Upstream είναι F) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι PE) TOTE (rate είναι N) (1)
41. AN (Upstream είναι F) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι OK) TOTE (rate είναι N) (1)
42. AN (Upstream είναι F) KAI (Downstream1 είναι PF) KAI (Downstream2 είναι PF) TOTE (rate είναι N) (1)

Έχοντας επιλέξει ως μέθοδο αποασαφοποίησης τη μέθοδο του κέντρου βάρους, παράγεται η δράση ελέγχου που απεικονίζεται στις εικόνες που ακολουθούν, όπου λόγω αδυναμίας της εργαλειοθήκης ασαφούς λογικής της Matlab να εξάγει ενιαία εικόνα για το σύνολο των λεκτικών κανόνων παρουσιάζονται δύο εικόνες με τους σαράντα δύο κανόνες, όπου κάθε κανόνας είναι μία γραμμή από γραφήματα και κάθε στήλη είναι μία μεταβλητή Εισόδου/Εξόδου αντίστοιχα.

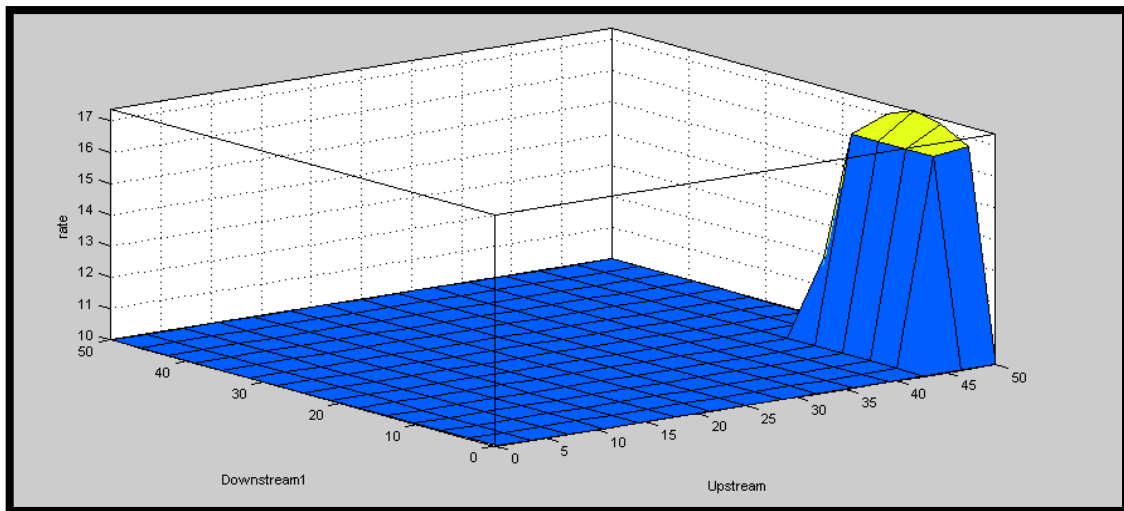


**Εικόνα 3.35 Rules Viewer Part I: Disassembly.fis**



**Εικόνα 3.36 Rules Viewer Part II: Disassembly.fis**

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει τη δράση ελέγχου σε σχέση με τις τέσσερις μεταβλητές εισόδου του ελεγκτή.

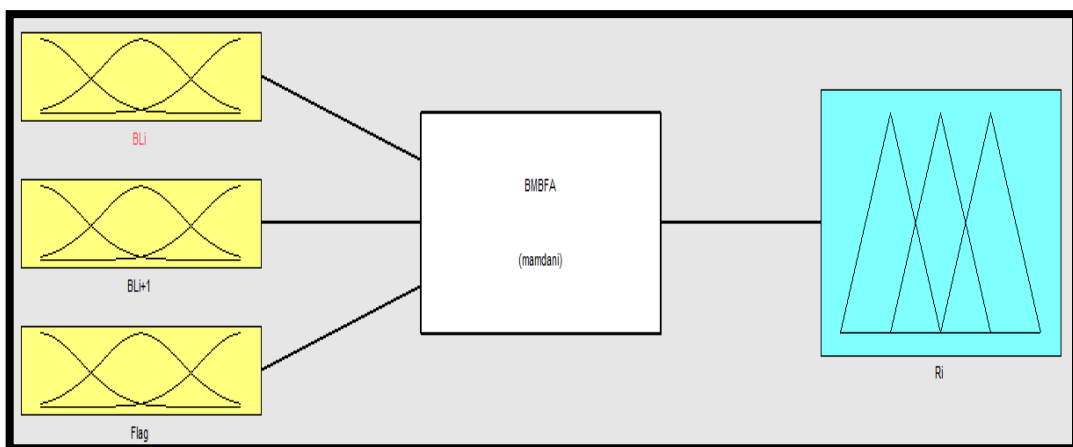


Εικόνα 3.37 Surface Viewer: Disassembly.fis

Έχοντας σε αυτό το στάδιο ολοκληρώσει την παρουσίαση του ασαφούς ελεγκτή Disassembly.fis, προχωρούμε στη συνέχεια στον ορισμό του ασαφούς ελεγκτή BMBFA.fis.

### 3.2.9 Ασαφής Ελεγκτής BMBFA.fis

Στην υποενότητα αυτή εξετάζεται ο ασαφής ελεγκτής ονόματι BMBFA.fis, ο οποίος εξάγει έπειτα από την κατάλληλη αποασαφηνοποίηση των λεκτικών μεταβλητών τον ρυθμό παραγωγής των απλών μηχανών του δικτύου παραγωγής. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το διάγραμμα του ασαφούς ελεγκτή.



Εικόνα 3.38 Ασαφής ελεγκτής BMBFA.fis

Ο ελεγκτής BMBFA.fis δέχεται ως ορίσματα τη στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που προηγείται (BLi), τη στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που έπεται (BLi+1) και την κατάσταση λειτουργίας της εκάστοτε μηχανής (Flag), και εξάγει ως συμπέρασμα τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής (Ri).

Η μετάδοση της δράσης ελέγχου στην παραγωγική διαδικασία είναι δυνατή εφόσον μετατραπούν τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων σε πραγματικούς αριθμούς μέσω κατάλληλων συνεπαγωγών που πραγματοποιούνται βάσει του μηχανισμού συμπερασμού. Στον πίνακα που ακολουθεί ορίζονται οι παράμετροι του μηχανισμού συμπερασμού του ασαφούς ελεγκτή.

**Πίνακας 3.17 Μηχανισμός συμπερασμού BMBFA.fis**

Μέθοδος Συμπερασμού	mamdani
Τελεστής "ΚΑΙ"	min
Τελεστής "Η"	max
Τελεστής συνεπαγωγής	min
Τελεστής σύνθεσης	max
Αποασαφοποίηση	centroid

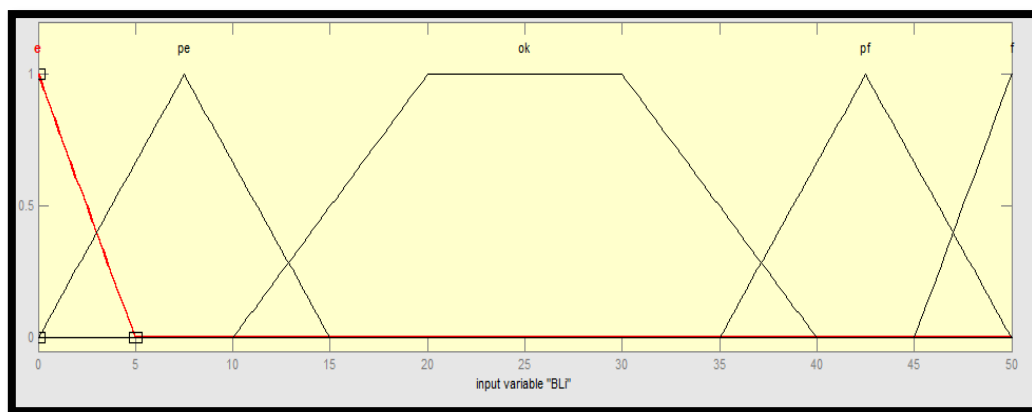
Η στάθμη του κάθε χώρου εναποθήκευσης μέσα σε ένα δίκτυο παραγωγής εξαρτάται κυρίως από τις εξής παραμέτρους:

- Τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής που προηγείται.
- Τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής που έπεται.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποια τυπικά παραδείγματα που περιγράφουν την αμφίδρομη σχέση επιρροής μεταξύ του ρυθμού παραγωγής και της στάθμης του χώρου εναποθήκευσης.

- Στην περίπτωση όπου μια μηχανή υποστεί βλάβη (συνεπώς έχει μηδενικό ρυθμό παραγωγής), η στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που έπεται μειώνεται, ενώ η στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που προηγείται αυξάνεται. Εάν ο χρόνος επισκευής της μηχανής είναι μεγάλος, τότε η μηχανή που έπεται θα θεωρείται αποστερημένη, ενώ η μηχανή που προηγείται θα θεωρείται αποκλεισμένη. Με το πέρασμα του χρόνου αυτό το μεμονωμένο γεγονός θα διαδοθεί στο σύστημα παραγωγής.
- Στην περίπτωση όπου μια μηχανή είναι λειτουργική, θεωρείται αποστερημένη όταν η στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που προηγείται της μηχανής είναι μηδέν. Τότε ο ρυθμός παραγωγής της υπό εξέταση μηχανής ταυτίζεται με εκείνον της μηχανής που προηγείται του χώρου εναποθήκευσης.
- Στην περίπτωση όπου μια μηχανή είναι λειτουργική, θεωρείται αποκλεισμένη όταν η στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που έπεται έχει φτάσει τη μέγιστη δυνατή χωρητικότητα. Τότε ο ρυθμός παραγωγής της υπό εξέταση μηχανής ταυτίζεται με εκείνον της μηχανής που έπεται του χώρου εναποθήκευσης.

Στην συνέχεια, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “BLi” (στάθμη χώρου εναποθήκευσης που προηγείται), βάσει των οποίων θα γίνει μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.

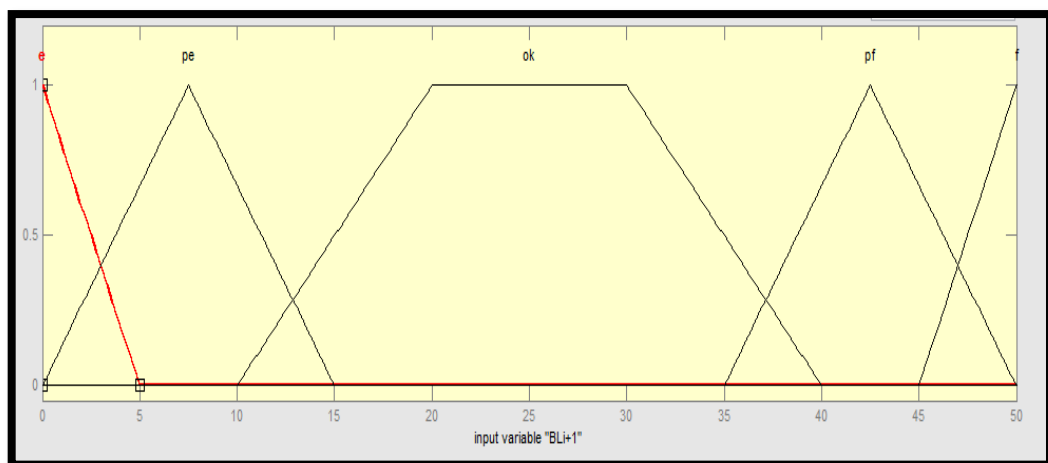


Εικόνα 3.39 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “BLi”

Πίνακας 3.18 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “BLi”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
e (trimf)	[0 0 5]
pe (trimf)	[0 7,5 15]
ok (trapmf)	[10 20 30 40]
pf (trimf)	[35 42,5 50]
f (trimf)	[45 50 50]

Ομοίως και για τη δεύτερη λεκτική μεταβλητή, τη στάθμη του χώρου εναποθήκευσης που έπεται “BLi+1”, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα ασαφή σύνολα, βάσει των οποίων θα γίνει μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.



Εικόνα 3.40 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “BLi+1”

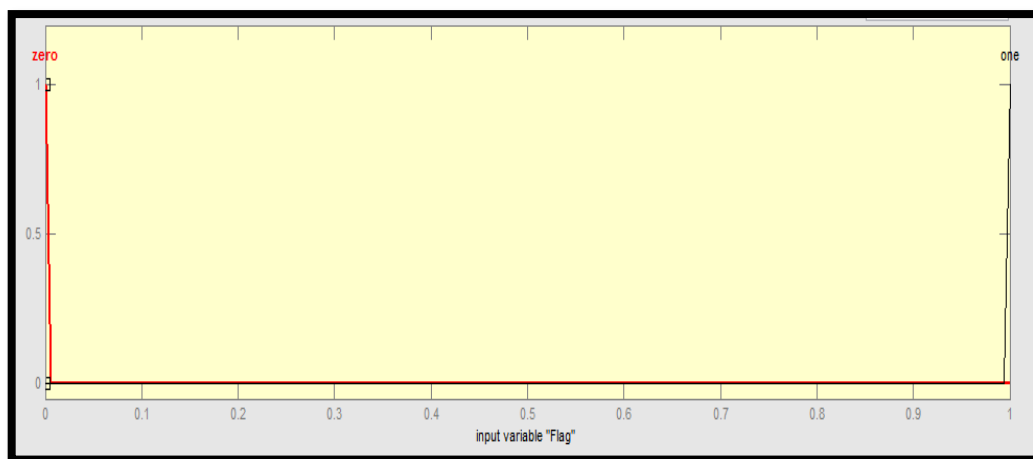
Πίνακας 3.19 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “BLi+1”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
e (trimf)	[0 0 5]
pe (trimf)	[0 7,5 15]
ok (trapmf)	[10 20 30 40]
pf (trimf)	[35 42,5 50]
f (trimf)	[45 50 50]

Η λεκτική μεταβλητή “Flag” εκφράζει τη λειτουργική κατάσταση της μηχανής. Στην υποενότητα 3.2.4 παρουσιάστηκε με αναλυτικό τρόπο η λειτουργία του υποσυστήματος υπολογισμού πιθανότητας βλάβης/επισκευής που καθορίζει τη λειτουργική κατάσταση της μηχανής.

Στην Εικόνα 3.41 καθώς και στον Πίνακα 3.20 παρέχονται πληροφορίες που αφορούν τα ασαφή σύνολα της μεταβλητής εισόδου “Flag”.



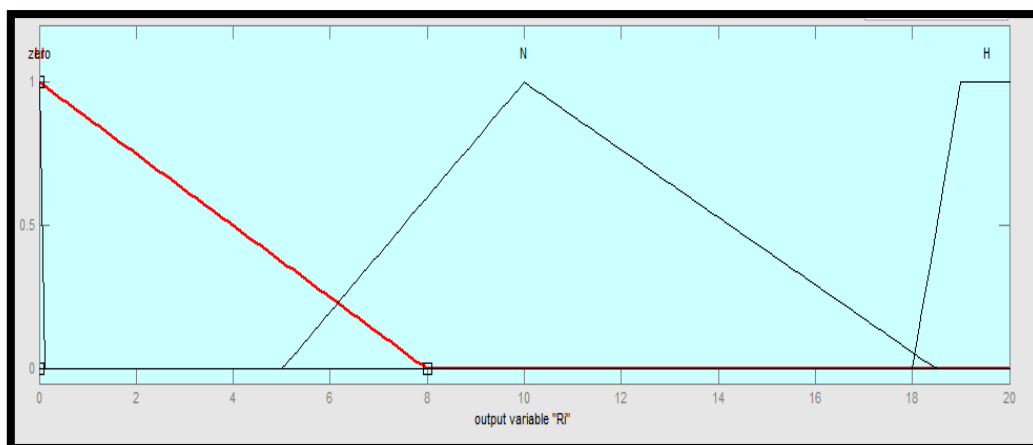


Εικόνα 3.41 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εισόδου “Flag”

Πίνακας 3.20 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εισόδου “Flag”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
zero (trimf)	[0 0 0]
one (trimf)	[1 1 1]

Έπειτα από την κατάλληλη αποασαφηνοποίηση των λεκτικών μεταβλητών, ο ασαφής ελεγκτής εξάγει ως συμπέρασμα της δράσης ελεγχου τον ρυθμό παραγωγής της μηχανής “Ri”. Ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής εκφράζει τη λειτουργική της κατάσταση. Πληροφορίες σχετικά με τα είδη των συναρτήσεων συμμετοχής καθώς και τα εύρη τους αναφέρονται στη συνέχεια.



Εικόνα 3.42 Πεδίο γραφημάτων μεταβλητής εξόδου “Ri”

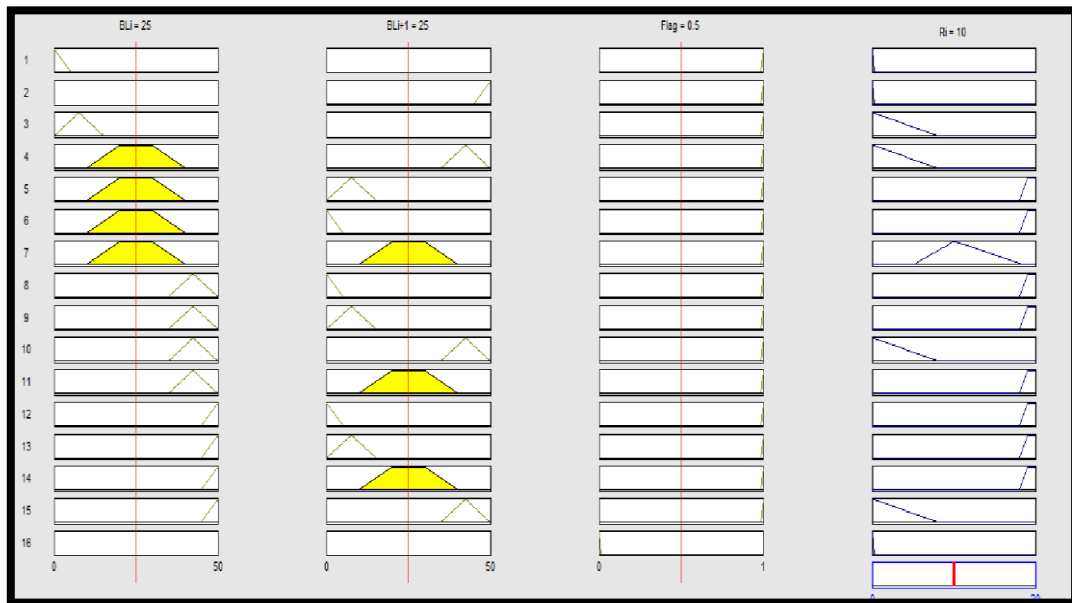
Πίνακας 3.21 Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου “Ri”

Λεκτική τιμή (συνάρτηση συμμετοχής)	Ασαφές σύνολο
LI (trimf)	[0 0 8]
N (trimf)	[5 10 18,5]
H (trapmf)	[18 19 20 20]

Στη συνέχεια, προχωρούμε στην παρουσίαση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης οι οποίοι ικανοποιούν τα βασικά κριτήρια που αναλύθηκαν στην υποενότητα 2.2.5. Ο αριθμός των κανόνων που ακολουθούν είναι **δέκα έξι** και συνοδεύονται από τα αντίστοιχα βάρη συμμετοχής τους μέσα σε παρενθέσεις.

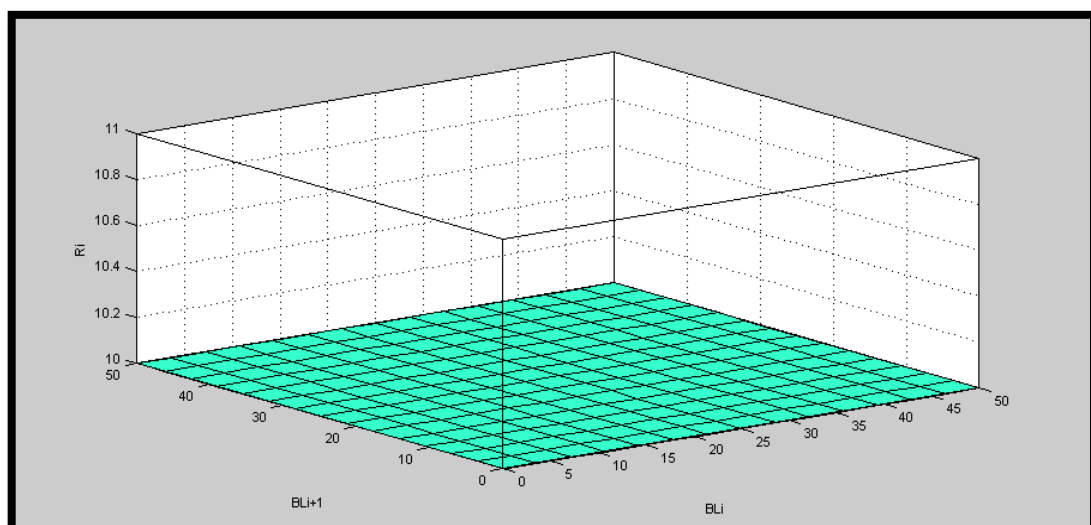
1. AN (BLi είναι e) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι zero) (1)
2. AN (BLi+1 είναι f) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι zero) (1)
3. AN (BLi είναι pe) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι LI) (1)
4. AN (BLi είναι ok) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pf) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι LI) (1)
5. AN (BLi είναι ok) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pe) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
6. AN (BLi είναι ok) ΚΑΙ (BLi+1 είναι e) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
7. AN (BLi είναι ok) ΚΑΙ (BLi+1 είναι ok) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι N) (1)
8. AN (BLi είναι pf) ΚΑΙ (BLi+1 είναι e) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι N) (1)
9. AN (BLi είναι pf) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pe) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
10. AN (BLi είναι pf) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pf) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι LI) (1)
11. AN (BLi είναι pf) ΚΑΙ (BLi+1 είναι ok) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
12. AN (BLi είναι f) ΚΑΙ (BLi+1 είναι e) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
13. AN (BLi είναι f) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pe) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
14. AN (BLi είναι f) ΚΑΙ (BLi+1 είναι ok) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι H) (1)
15. AN (BLi είναι f) ΚΑΙ (BLi+1 είναι pf) ΚΑΙ (Flag είναι one) TOTE (Ri είναι LI) (1)
16. AN (Flag είναι zero) TOTE (Ri είναι zero) (1)

Έχοντας επιλέξει ως μέθοδο αποασαφοποίησης τη μέθοδο του κέντρου βάρους, παράγεται η δράση ελέγχου που απεικονίζεται στην Εικόνα 3.43, όπου κάθε κανόνας είναι μία γραμμή από γραφήματα και κάθε στήλη είναι μία μεταβλητή Εισόδου/Εξόδου αντίστοιχα.



Εικόνα 3.43 Rules Viewer: BMBFA.fis

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει τη δράση ελέγχου σε σχέση με τις τρεις μεταβλητές εισόδου του ελεγκτή.



Εικόνα 3.44 Surface Viewer: BMBFA.fis

Έχοντας σε αυτό το στάδιο ολοκληρώσει την παρουσίαση του ασαφούς ελεγκτή BMBFA.fis, προχωρούμε στον ορισμό των παραμέτρων των μοντέλων Assembly\_Network.mdl και Disassembly\_Network.mdl, βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκαν οι αντίστοιχες προσομοιώσεις.

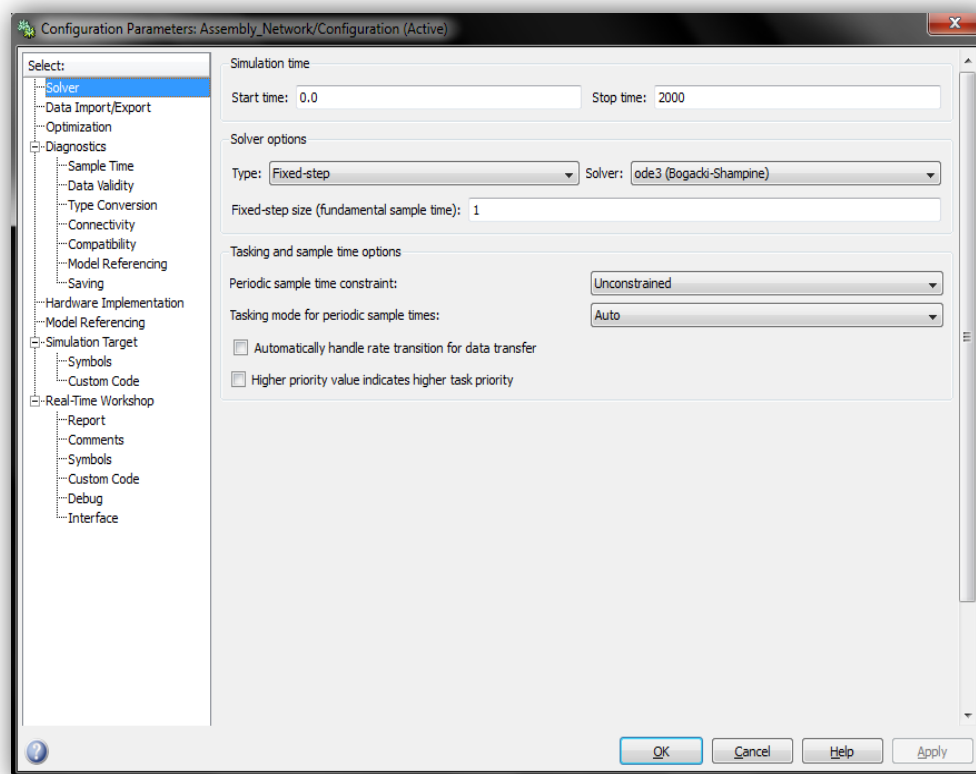
### 3.3 Παράμετροι Προσομοίωσης

Οι προσομοιώσεις των μοντέλων Assembly\_Network.mdl και Disassembly\_Network.mdl πραγματοποιήθηκαν με τιμές όμοιες με εκείνες των παραμέτρων προσομοίωσης. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για 2.000 Χρονικές Μονάδες Προσομοίωσης, καθώς η χρονική διάρκεια προσομοίωσης ήταν αρκετή για να δώσει ασφαλή αποτελέσματα χωρίς να δημιουργεί πρόσθετο υπολογιστικό όγκο δεδομένων προς διερεύνηση. Ο πίνακας που ακολουθεί περιλαμβάνει τις τιμές των παραμέτρων προσομοίωσης.

**Πίνακας 3.22 Παράμετροι Προσομοίωσης Assembly\_Network.mdl & Disassembly\_Network.mdl**

Παράμετροι	Τιμές παραμέτρων
Simulation stop time	2.000 ΧΜΠ
Πιθανότητα επισκευής	50%
Πιθανότητα βλάβης	10%
Μέγεθος παρτίδας	400 τεμάχια
Μέσος Χρόνος αλλαγής μηχανής	3,5 ΧΜΠ

Στην Εικόνα 3.45 παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου της Matlab με τον χρήστη, στο οποίο ορίζεται η παραμετροποίηση της διαδικασίας λύσης των μοντέλων προσομοίωσης.



**Εικόνα 3.45 Configuration parameters: Solver**

Σχετικά με περισσότερες πληροφορίες που αφορούν τις παραμέτρους των προσομοιώσεων ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει αντίστοιχα στα μοντέλα `Assembly_Network.mdl` ή `Disassembly_Network.mdl` στο παράθυρο `Simulation→Configuration Parameters`.

### 3.4 Ανακεφαλαίωση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν τα δομικά μέρη των μοντέλων προσομοίωσης της γραμμής συναρμολόγησης και της γραμμής αποσυναρμολόγησης, τα οποία αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της εργασίας με χρήση του προγράμματος της Matlab και του λογισμικού πακέτου της Simulink.

Η κατασκευή των μοντέλων είχε ως κύριο στόχο τη μέτρηση της ευελιξίας δρομολόγησης και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις παραμέτρους και τους τρόπους με τους οποίους αυτές την επηρεάζουν κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν τα κύρια υποσυστήματα από τα οποία αποτελούνται αντίστοιχα τα μοντέλα προσομοίωσης, καθώς και οι ασαφείς ελεγκτές που κατασκευάστηκαν για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

## **Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Προσομοίωσης και Εξαγωγή Συμπερασμάτων**

### **4.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν σε πρώτη φάση τα αποτελέσματα τα οποία συγκεντρώθηκαν έπειτα από την εκτέλεση των προσομοιώσεων των υπό εξέταση μοντέλων.

Πιο συγκεκριμένα, στις ενότητες που ακολουθούν θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των αντίστοιχων προσομοιώσεων υπό την μορφή πινάκων και διαγραμμάτων, έχοντας ως στόχο την ανάλυση τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τις παραμέτρους και τον τρόπο που αυτές επηρεάζουν αντίστοιχα την ευελιξία μηχανής και την ευελιξία δρομολόγησης κατά την διάρκεια του κύκλου παραγωγής.

### **4.2 Περιπτώσεις Προσομοίωσης**

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας πραγματοποιήθηκαν συνολικά τρεις προσομοιώσεις, μια για κάθε μοντέλο που κατασκευάστηκε. Κάθε προσομοίωση είχε ως άμεσο σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις παραμέτρους και τον τρόπο με τον οποίο αυτές επηρεάζουν δυναμικά το εκάστοτε είδος ευελιξίας που διερευνούν. Τα είδη της ευελιξίας που θα εξετάσουμε είναι τα εξής:

1. Ευελιξία μηχανής-γραμμής παραγωγής,
2. Ευελιξία δρομολόγησης δικτύου συναρμολόγησης και
3. Ευελιξία δρομολόγησης δικτύου αποσυναρμολόγησης.

Για κάθε περίπτωση προσομοίωσης σε αυτό το κεφάλαιο υπάρχει και η αντίστοιχη ενότητα στην οποία θα παρουσιαστούν τα κύρια αποτελέσματα υπό τη μορφή

πινάκων και διαγραμμάτων με σκοπό την διευκόλυνση του αναγνώστη στην κατανόηση των συμπερασμάτων.

### 4.3 Μέτρηση Ευελιξίας Μηχανής

Η εκτέλεση του μοντέλου προσομοίωσης Production\_Line.mdl πραγματοποιήθηκε για δύο χιλιάδες χρονικές μονάδες προσομοίωσης. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης οι μηχανές εισήρθαν κατά μέσο όρο τριάντα εννιά φορές σε κατάσταση αλλαγής γεγονός που γίνεται αντιληπτό και από τα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια της ενότητας.

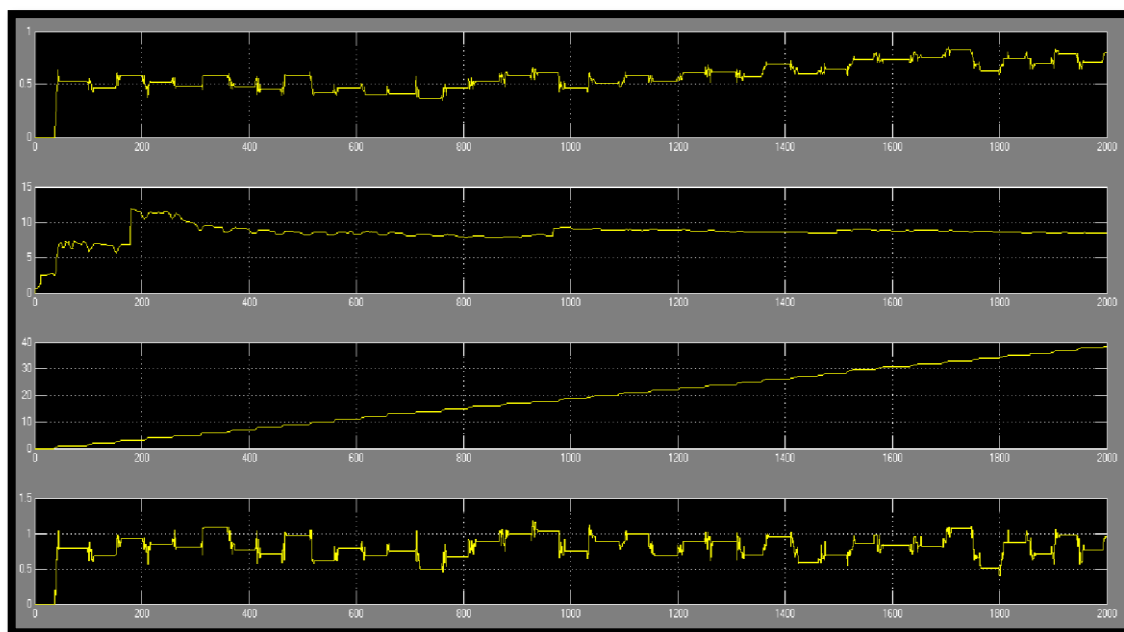
Στον Πίνακα 4.1 παρέχονται σε πρώτο στάδιο τα βασικά εξαγόμενα αποτελέσματα από την εκτέλεση της προσομοίωσης.

**Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης Production\_Line.mdl**

<b>Mean Production Rate</b>	<b>7,87 τεμάχια ανά μονάδα προσομοίωσης</b>
<b>Overall Throughput</b>	<b>15.780 τεμάχια</b>
<b>Total W.I.P</b>	<b>145,9 τεμάχια</b>
<b>Overall Utilization</b>	<b>77,34 %</b>
<b>Machine's Mean Flexibility</b>	<b>0,7971</b>

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα της μέσης ευελιξίας μηχανής, του μέσου χρόνου προετοιμασίας, της μέσης πολυμέρειας και της μέσης προσαρμοστικότητας μηχανής ως προς τον χρόνο προσομοίωσης αντίστοιχα.





**Εικόνα 4.1 Συγκεντρωτικό scope Production\_Line.mdl**

Παρατηρώντας το διάγραμμα του μέσου χρόνου προετοιμασίας των μηχανών του συστήματος μπορούμε να χωρίσουμε τον κύκλο παραγωγής σε τέσσερις συνολικά φάσεις. Με τον διακριτοποίηση του κύκλου παραγωγής σε φάσεις διευκολύνεται η διαδικασία ανάλυσης και εξαγωγής συμπερασμάτων από τα παραγόμενα αποτελέσματα.

Στον πίνακα που ακολουθεί εμπεριέχονται τα χρονικά εύρη των φάσεων του κύκλου παραγωγής της γραμμής παραγωγής.

**Πίνακας 4.2 Κύκλος παραγωγής Production\_Line.mdl**

Φάση κύκλου παραγωγής	Χρονικό εύρος φάσης
1 <sup>η</sup> Φάση	[0, 36)
2 <sup>η</sup> Φάση	(36, 179)
3 <sup>η</sup> Φάση	(179, 967)
4 <sup>η</sup> Φάση	(967, 2000]

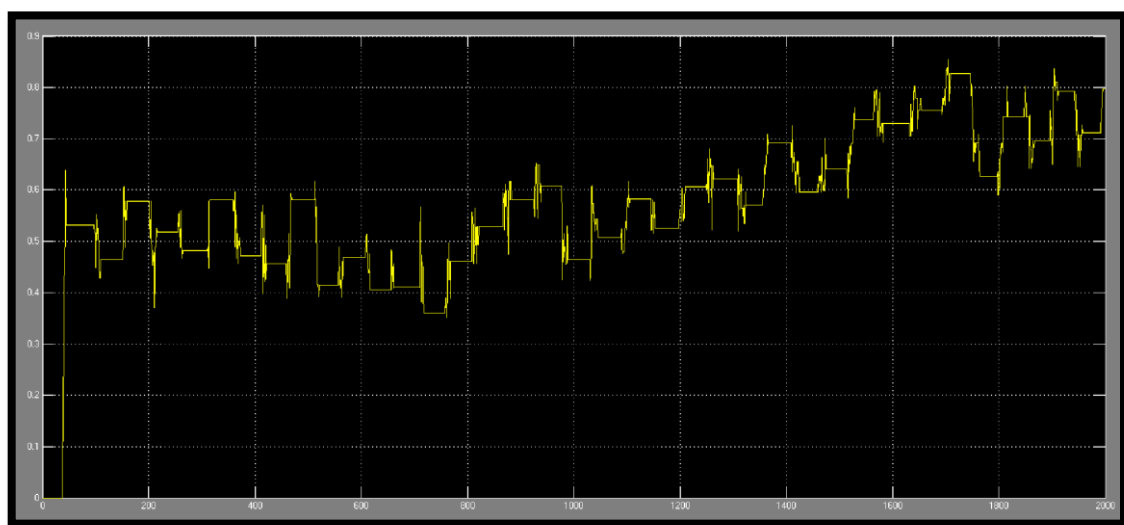
Στην **1<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, τόσο η μέση πολυμέρεια όσο και η μέση προσαρμοστικότητα των μηχανών του συστήματος δεν επηρεάζουν την τιμή της μέσης ευελιξίας μηχανής. Ο μόνος παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται είναι ο μέσος χρόνος επισκευής των μηχανών. Θεωρούμε όμως ότι κατά την διάρκεια της πρώτης φάσης η γραμμή παραγωγής βρίσκεται σε μια κατάσταση προετοιμασίας και ως εκ τούτου η τιμή της ευελιξίας μηχανής είναι μηδενική.

Στην **2<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, οι μηχανές του συστήματος εισέρχονται για πρώτη φορά σε κατάσταση αλλαγής, γεγονός που σηματοδοτεί και την εκκίνηση μέτρησης της ευελιξίας μηχανής από τον ασαφή ελεγκτή MFC.fis. Στην φάση αυτή η τιμή της ευελιξίας εξαρτάται περισσότερο από τον μέσο χρόνο προετοιμασίας και την μέση τιμή της προσαρμοστικότητας των μηχανών. Η μέση τιμή της πολυμέρειας των μηχανών δεν επηρεάζει τόσο την ευελιξία μηχανής καθώς όντας στην αρχή του κύκλου παραγωγής το πλήθος των διαφορετικών κατεργασιών που έχουν επιτελέσει οι μηχανές του συστήματος είναι μικρό.

Στην **3<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, η λειτουργία της γραμμής παραγωγής αρχίζει να σταθεροποιείται, έχοντας αρχικά παρουσιάσει βλάβες με μεγάλο χρόνο επισκευής, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα της μέσης τιμής του χρόνου προετοιμασίας των μηχανών. Το πλήθος των διαφορετικών κατεργασιών που επιτελούν οι μηχανές του συστήματος αυξάνεται με σταθερό ρυθμό επηρεάζοντας θετικά όλο και περισσότερο την τιμή της ευελιξίας μηχανής.

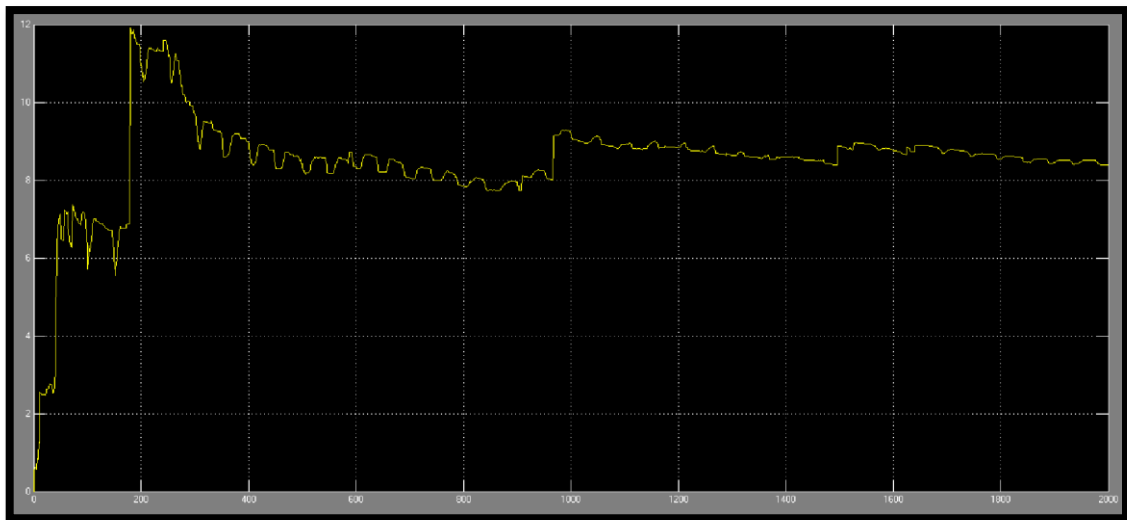
Στην **4<sup>η</sup> φάση** που είναι και η τελευταία του κύκλου παραγωγής, η μέση τιμή της ευελιξίας μηχανής διατηρεί υψηλές τιμές λόγω της αύξησης της μέσης τιμής της πολυμέρειας των μηχανών και την σταθεροποίησης του μέσου χρόνου προετοιμασίας.

Έχοντας αναλύσει τις φάσεις από τις οποίες αποτελείται ο κύκλος παραγωγής της γραμμής παραγωγής παρουσιάζουμε και αναλύουμε στην συνέχεια για λόγους πληρότητας μεμονωμένα τα διαγράμματα των παραμέτρων που εξετάσαμε προηγουμένως με σκοπό την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων που θα αφορούν τους παράγοντες και τους τρόπους με τους οποίους αυτοί επηρεάζουν την μέση τιμή της ευελιξίας μηχανής (Εικόνα 4.2) κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.



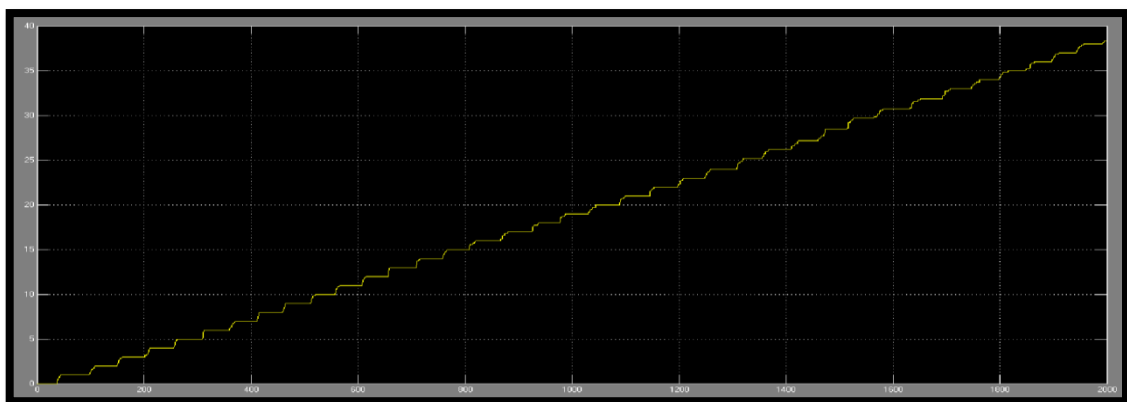
**Εικόνα 4.2 Διάγραμμα “Machine’s Mean Flexibility”**

Στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζεται το διάγραμμα του μέσου χρόνου προετοιμασίας των μηχανών του συστήματος παραγωγής. Όπως έχουμε αναφέρει και στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο ο χρόνος προετοιμασίας μιας μηχανής ισούται με το άθροισμα του χρόνου επισκευής και του χρόνου αλλαγής της μηχανής. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης και οι δύο παράγοντες του χρόνου προετοιμασίας έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της παραγωγικής διαδικασίας, με κυριότερο τον χρόνο αλλαγής, καθώς το μέγεθος της παρτίδας ήταν μικρό με αποτέλεσμα οι μηχανές να εισέρχονται συχνά σε κατάσταση προετοιμασίας.



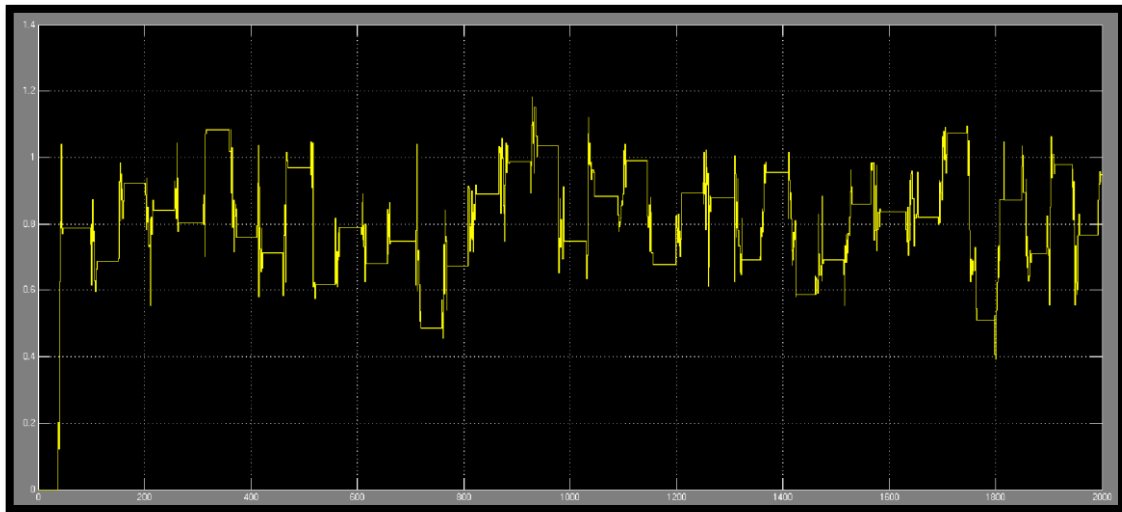
**Εικόνα 4.3 Διάγραμμα “Mean Setup Time”**

Το διάγραμμα της μέσης πολυμέρειας των μηχανών (Εικόνα 4.4) του συστήματος παραγωγής τείνει να έχει γραμμική μορφή η οποία αυξάνεται με σταθερό ρυθμό και εξαρτάται κυρίως από τον μέσο χρόνο προετοιμασίας των μηχανών. Όπως έχει ξανά ειπωθεί, η τιμή της πολυμέρειας μιας μηχανής αυξάνεται κατά μια μονάδα κάθε φορά που αυτή εισέρχεται σε κατάσταση αλλαγής. Βάσει της προσέγγισης που ακολουθήθηκε για την μέτρηση της ευελιξίας μηχανής, θεωρούμε ότι σε ένα κύκλο παραγωγής κάθε μηχανή καλείται να πραγματοποιεί διαφορετική κατεργασία σε κάθε παρτίδα προϊόντος.



**Εικόνα 4.4 Διάγραμμα “Mean Versatility”**

Το διάγραμμα της μέσης προσαρμοστικότητας των μηχανών του συστήματος παραγωγής το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5 αποτελείται από τυχαίες τιμές ομοιόμορφα κατανομημένες σε ένα διάστημα μεταξύ 0,15 με 1,5  $m^3$  (έχοντας θεωρήσει ότι η υπό εξέταση γραμμή παραγωγής παράγει προϊόντα μικρού σχετικά όγκου). Για μια μηχανή οι τιμές αυτές παράγονται κάθε φορά που εκείνη εισέρχεται σε κατάσταση αλλαγής. Η τιμή της προσαρμοστικότητας για κάθε μηχανή είναι η μόνη παράμετρος της ευελιξίας μηχανής που κατά την διάρκεια της προσομοίωσης βασίζεται καθαρά στην τύχη.



**Εικόνα 4.5 Διάγραμμα “Mean Adjustability”**

Συμπέρασμα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε όσον αφορά την ευελιξία της γραμμής παραγωγής σαν σύνολο, είναι ότι ο υπολογισμός της θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ελάχιστη τιμή της ευελιξίας μηχανής. Ο λόγος για τον οποίο είναι σημαντικό να συμπεριλαμβάνεται η ελάχιστη τιμή της ευελιξίας μηχανής στον υπολογισμό της συνολικής ευελιξίας της γραμμής παραγωγής οφείλεται κυρίως στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η γραμμή παραγωγής. Οι μηχανές που αποτελούν μια γραμμή παραγωγής αλληλοεξαρτώνται σε τέτοιο βαθμό, όπου βλάβη σε μια οποιαδήποτε μηχανή του συστήματος παραγωγής είναι δυνατόν να προκαλέσει τον

τερματισμό της συνολικής διαδικασίας παραγωγής για όσο χρόνο διαρκέσει η επισκευή, συνεπώς η μηχανή με την ελάχιστη ευελιξία μηχανής καθορίζει εμμέσως πλην σαφώς την συνολική ευελιξία της γραμμής παραγωγής.

#### **4.4 Μέτρηση Ευελιξίας Δρομολόγησης**

Η εξαγωγή συμπερασμάτων που θα αφορούν την ευελιξία δρομολόγησης ενός δικτύου παραγωγής θα πραγματοποιηθεί σε δύο στάδια.

Σε πρώτο στάδιο θα γίνει η εκτέλεση των δύο μοντέλων προσομοίωσης που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας, τα μοντέλα αυτά προσομοιώνουν την λειτουργία της γραμμής συναρμολόγησης και της γραμμής αποσυναρμολόγησης.

Στο δεύτερο και τελευταίο στάδιο θα γίνει προσπάθεια ανάλυσης των αποτελεσμάτων και εξαγωγής συμπερασμάτων σχετικά με τις παραμέτρους και τους τρόπους με τους οποίους αυτές επηρεάζουν δυναμικά την μέση τιμή της ευελιξίας δρομολόγησης για τις δύο περιπτώσεις. Οι τιμές των παραμέτρων προσομοίωσης και των δύο μοντέλων είναι κοινές όπως προαναφέρθηκε και στην Ενότητα 3.3.

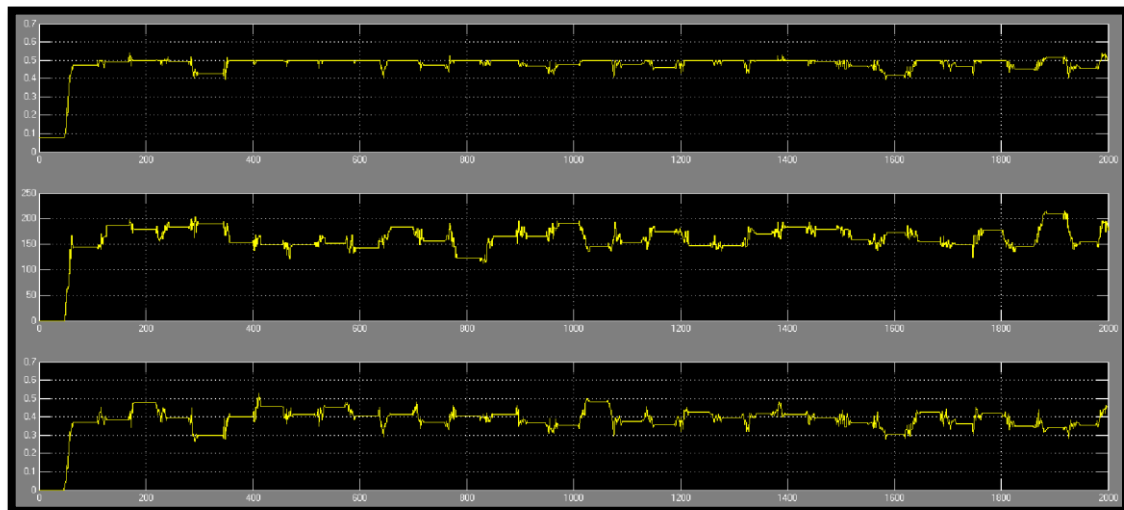
##### **4.4.1 Δίκτυο Συναρμολόγησης**

Η εκτέλεση του μοντέλου προσομοίωσης *Assembly\_Network.mdl* πραγματοποιήθηκε για δύο χιλιάδες χρονικές μονάδες προσομοίωσης. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης οι μηχανές εισήρθαν κατά μέσο όρο τριάντα τέσσερις φορές σε κατάσταση αλλαγής. Στον Πίνακα 4.3 που ακολουθεί δίνονται τα πρώτα αποτελέσματα της προσομοίωσης, τα οποία παρέχουν κάποιες αρχικές πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής.

Πίνακας 4.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης Assembly\_Network.mdl

Mean Production Rate	6,559 τεμάχια ανά μονάδα προσομοίωσης
Overall Throughput	13.800 τεμάχια
Mean Routing Flexibility	0,5

Στην συνέχεια παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.6 το συγκεντρωτικό score το οποίο εμπεριέχει αντίστοιχα τα διαγράμματα της μέσης τιμής ευελιξίας δρομολόγησης, του πλήθους των κοινών κατεργασιών και της μέσης τιμής του δείκτη αντικατάστασης των μηχανών του συστήματος παραγωγής. Παρατηρώντας αυτά τα διαγράμματα και σε συνδυασμό με την εμπειρική γνώση που υπάρχει και τις θεωρήσεις που έχουμε κάνει στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας για τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν θα προσπαθήσουμε να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για τις αμφίδρομες σχέσεις επηρεασμού.



Εικόνα 4.6 Συγκεντρωτικό score Assembly\_Network.mdl

Επειδή οι τιμές των παραμέτρων που επηρεάζουν την ευελιξία δρομολόγησης μεταβάλλονται με τυχαίο τρόπο όπως γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω εικόνα θα εξετάσουμε απο τον κύκλο παραγωγής της γραμμής συναρμολόγησης πέντε

συγκεκριμένες χρονικές φάσεις, στις οποίες παρατηρούμε τις χαρακτηριστικές σχέσεις επιρροής των παραμέτρων της ευελιξιάς δρομολόγησης. Τα εύρη των χρονικών φάσεων που θα εξετάσουμε παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί.

**Πίνακας 4.4 Κύκλος παραγωγής Assembly\_Network.mdl**

Φάση κύκλου παραγωγής	Χρονικό εύρος φάσης
1 <sup>η</sup> Φάση	[50, 65]
2 <sup>η</sup> Φάση	[344, 356]
3 <sup>η</sup> Φάση	[634, 654]
4 <sup>η</sup> Φάση	[1010, 1030]
5 <sup>η</sup> Φάση	[1070, 1090]

Στην **1<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, οι μηχανές της γραμμής συναρμολόγησης εισέρχονται για πρώτη φορά σε κατάσταση αλλαγής, γεγονός που σηματοδοτεί την εκκίνηση μέτρησης της ευελιξιάς δρομολόγησης από τον ασαφή ελεγκτή RFC.fis. Με την γραμμή συναρμολόγησης να βρίσκεται σε κατάσταση προετοιμασίας πριν την υπό εξέταση φάση, οι νέες τιμές των παραμέτρων της ευελιξιάς δρομολόγησης όντας μη μηδενικές προκαλούν σαν αποτέλεσμα την ανάλογη αύξηση της μέσης τιμής της ευελιξιάς δρομολόγησης του συστήματος.

Στην **2<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, η μικρή μείωση του πλήθους των κοινών κατεργασιών σε σχέση με την αύξηση του μέσου δείκτη αντικατάστασης των μηχανών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης τιμής της ευελιξιάς δρομολόγησης.

Στην **3<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, τόσο το πλήθος των κοινών κατεργασιών όσο και η μέση τιμή του δείκτη αντικατάστασης των μηχανών του συστήματος



παραγωγής λαμβάνουν μικρές τιμές. Η μείωση αυτή των τιμών επιφέρει την ανάλογη μείωση της μέσης τιμής της ευελιξίας δρομολόγησης.

Στην **4<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, επαληθεύουμε ότι και οι δύο παράμετροι της ευελιξίας δρομολόγησης την επηρεάζουν με τον ίδιο βαθμό καθώς αύξηση της μιας και ανάλογη μείωση της άλλης είχε σαν αποτέλεσμα η μέση τιμή της ευελιξίας να παραμείνει σταθερή.

Στην **5<sup>η</sup> φάση** που είναι και η τελευταία που εξετάζουμε από τον κύκλο παραγωγής, παρατηρούμε ότι η μεγάλη μείωση της μέσης τιμής του δείκτη αντικατάστασης και η μεσαία αύξηση του πλήθους των κοινών κατεργασιών του συστήματος, είχαν ως αποτέλεσμα την μείωση της μέσης τιμής της ευελιξίας δρομολόγησης.

Από την ανάλυση των διαγραμμάτων που μόλις πραγματοποιήθηκε παρατηρούμε ότι το πλήθος των κοινών κατεργασιών και η τιμή του δείκτη αντικατάστασης των μηχανών του συστήματος παραγωγής επηρεάζουν ισόβαθμα και ισότροπα την τιμή της ευελιξίας δρομολόγησης.

Για την συγκεκριμένη γραμμή συναρμολόγησης που εξετάσαμε στο μοντέλο προσομοίωσης παρατηρούμε ότι ο δείκτης αντικατάστασης επηρεάζεται περισσότερο από την χωροταξική διάταξη των μηχανών του συστήματος παραγωγής για αυτό τον λόγο διατηρεί και ιδιαίτερα χαμηλές τιμές.

Τέλος, η πολυμέρεια των μηχανών που επιλέχθηκε αποδείχθηκε ανεπαρκής, έχοντας ως αποτέλεσμα το πλήθος των κοινών κατεργασιών του συστήματος (το οποίο μπορεί να εκφραστεί και ως η πιθανότητα να υπάρχουν παραπάνω από μια μηχανές που μπορούν να επιτελέσουν κατεργασία εφάμιλλης ποιότητας στο σύστημα) να διατηρήσει σχετικά μεσαίες τιμές και σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές του

δείκτη αντικατάστασης να δώσει τις αντίστοιχες επιδόσεις στις τιμές της ευελιξίας δρομολόγησης.

#### 4.4.2 Δίκτυο Αποσυναρμολόγησης

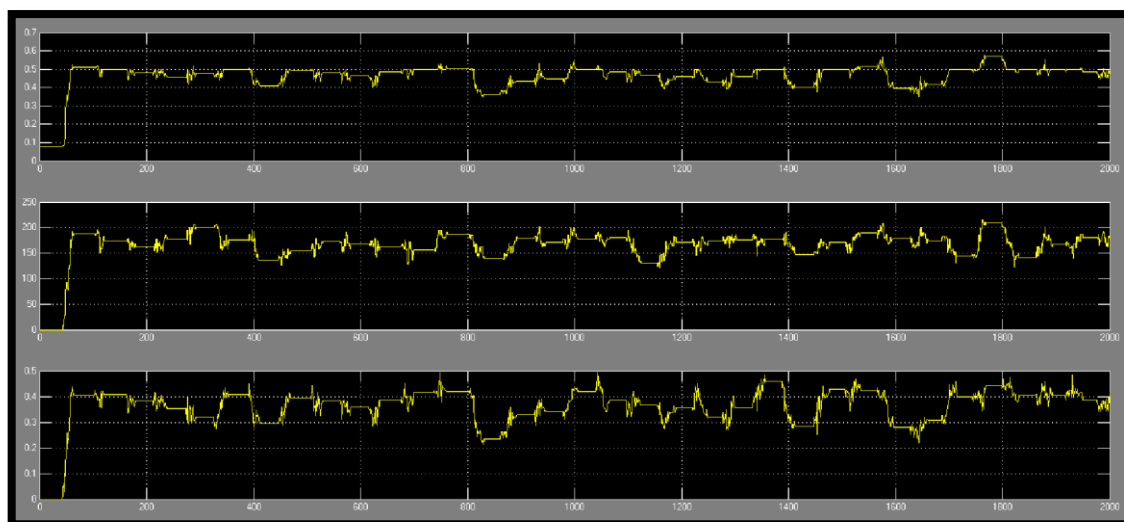
Η προσομοίωση του μοντέλου Disassembly\_Network.mdl πραγματοποιήθηκε για δύο χιλιάδες χρονικές μονάδες προσομοίωσης. Στην διάρκεια της προσομοίωσης οι μηχανές της γραμμής αποσυναρμολόγησης εισήρθαν κατά μέσο όρο τριάντα πέντε φορές σε κατάσταση αλλαγής. Στον πίνακα που ακολουθεί περιέχονται τα βασικά αποτελέσματα από την προσομοίωση του συστήματος παραγωγής.

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης Disassembly\_Network.mdl

<b>Mean Production Rate</b>	<b>7,075 τεμάχια ανά μονάδα προσομοίωσης</b>
<b>Overall Throughput Line 1</b>	<b>14.250 τεμάχια</b>
<b>Overall Throughput Line 2</b>	<b>14.200 τεμάχια</b>
<b>Mean Routing Flexibility</b>	<b>0,5033</b>

Στην διαδικασία ανάλυσης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του μοντέλου Disassembly\_Network.mdl χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα της μέσης τιμής ευελιξίας δρομολόγησης, του πλήθους των κοινών κατεργασιών και της μέσης τιμής του δείκτη αντικατάστασης των μηχανών του συστήματος παραγωγής τα οποία παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.7.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα αυτά και σε συνδυασμό με την εμπειρική γνώση που υπάρχει και τις θεωρήσεις που έχουμε κάνει στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας για τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν θα προσπαθήσουμε να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για τις αμφίδρομες σχέσεις επηρεασμού μεταξύ των παραμέτρων της ευελιξίας δρομολόγησης.



**Εικόνα 4.7 Συγκεντρωτικό scope Disassembly\_Network.mdl**

Όπως έγινε λόγος και στην προηγούμενη υποενότητα, οι τιμές των παραμέτρων που επηρεάζουν την ευελιξία δρομολόγησης μεταβάλλονται με τυχαίο τρόπο, συνεπώς, κρίνεται απαραίτητο να εξεταστούν διακριτές φάσεις του κύκλου παραγωγής της γραμμής αποσυναρμολόγησης, στις οποίες παρατηρούνται οι χαρακτηριστικές σχέσεις επιρροής μεταξύ των παραμέτρων της ευελιξιάς δρομολόγησης.

Τα εύρη των χρονικών φάσεων που θα εξετάσουμε παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6 που ακολουθεί.

**Πίνακας 4.6 Κύκλος παραγωγής Disassembly\_Network.mdl**

Φάση κύκλου παραγωγής	Χρονικό εύρος φάσης
1 <sup>η</sup> Φάση	[40, 65]
2 <sup>η</sup> Φάση	[810, 830]
3 <sup>η</sup> Φάση	[980, 998]
4 <sup>η</sup> Φάση	[1690, 1710]
5 <sup>η</sup> Φάση	[1745, 1770]

Στην **1<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, οι μηχανές της γραμμής αποσυναρμολόγησης εισέρχονται για πρώτη φορά σε κατάσταση αλλαγής, γεγονός που σηματοδοτεί την εκκίνηση μέτρησης της ευελιξίας δρομολόγησης από τον ασαφή ελεγκτή RFC.fis. Με το σύστημα παραγωγής να βρίσκεται σε κατάσταση προετοιμασίας πριν την υπό εξέταση φάση, οι νέες τιμές των παραμέτρων της ευελιξίας δρομολόγησης όντας μη μηδενικές προκαλούν σαν αποτέλεσμα την ανάλογη αύξηση της μέσης τιμής της ευελιξίας δρομολόγησης του συστήματος.

Στην **2<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, τόσο η μέση τιμή του δείκτη αντικατάστασης των μηχανών, όσο και ιδιαίτερα το πλήθος των κοινών κατεργασιών του συστήματος παραγωγής λαμβάνουν μικρές τιμές. Η μείωση αυτή των τιμών επιφέρει την ανάλογη μείωση στην τιμή της μέσης ευελιξίας δρομολόγησης του δικτύου.

Αντίθετα στην **3<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, αύξηση των τιμών των παραμέτρων της ευελιξίας δρομολόγησης, έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης τιμής της ευελιξίας δρομολόγησης της γραμμής αποσυναρμολόγησης.

Στην **4<sup>η</sup> φάση** του κύκλου παραγωγής, η μικρή μείωση του πλήθους των κοινών κατεργασιών, σε σχέση με την μεσαία αύξηση του μέσου δείκτη αντικατάστασης των μηχανών, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης τιμής της ευελιξίας δρομολόγησης.

Στην **5<sup>η</sup> φάση** που είναι και η τελευταία που εξετάζουμε από τον κύκλο παραγωγής, παρατηρούμε ότι η μεσαία μείωση της μέσης τιμής του δείκτη αντικατάστασης και η μεγάλη αύξηση του πλήθους των κοινών κατεργασιών του συστήματος, είχαν σαν αποτέλεσμα την μικρή αύξηση της μέσης τιμής της ευελιξίας δρομολόγησης.

Από την ανάλυση των διαγραμμάτων που μόλις πραγματοποιήθηκε παρατηρούμε ότι το πλήθος των κοινών κατεργασιών και η τιμή του δείκτη αντικατάστασης των μηχανών του συστήματος παραγωγής επηρεάζουν ισόβαθμα και ισότροπα την τιμή της ευελιξίας δρομολόγησης όπως και στο μοντέλο της γραμμής συναρμολόγησης.

Η τιμή του μέσου δείκτη αντικατάστασης των μηχανών επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από την χωροταξική διάταξη των μηχανών μέσα στο σύστημα παραγωγής, γεγονός που αιτιολογεί και τις πολύ χαμηλές τιμές στις οποίες κυμάνθηκε η τιμή του δείκτη αντικατάστασης.

Τέλος, η πολυμέρεια των μηχανών που επιλέχτηκε και για το μοντέλο προσομοίωσης της γραμμής αποσυναρμολόγησης αποδείχτηκε αρκετά μικρή. Αποτέλεσμα αυτής της επιλογής ήταν το πλήθος των κοινών κατεργασιών του συστήματος (το οποίο μπορεί να εκφραστεί και ως η πιθανότητα ύπαρξης παραπάνω από μια μηχανών με εφάμιλης ποιότητας κατεργασίες στο σύστημα παραγωγής) να διατηρήσει σχετικά χαμηλές τιμές, όπου σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές του δείκτη αντικατάστασης να μην παρατηρούνται ικανοποιητικές τιμές της ευελιξίας δρομολόγησης.

#### **4.5 Ανακεφαλαίωση**

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιήθηκε σε πρώτη φάση η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις προσομοιώσεις των τριών μοντέλων που κατασκευάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας με την χρήση του προγράμματος της Matlab και του λογιστικού πακέτου της Simulink.

Σε δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτών και η προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων σχετικά με τις παραμέτρους και τον τρόπο που αυτές επηρεάζουν την ευελιξία μηχανής και ευελιξία δρομολόγησης κατά την διάρκεια του κύκλου παραγωγής αντίστοιχα για κάθε περίπτωση. Τέλος, τα

συμπεράσματα αυτά επιβεβαίωσαν την ορθή λειτουργία των μοντέλων προσομοίωσης.

#### **4.6 Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτίωσης**

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση της ευελιξίας θεωρεί ότι οι παράμετροι που απαιτούνται στα διάφορα στάδια της διαδικασίας ποσοτικοποίησης, αναπαριστούνται από λεκτικές μεταβλητές και η συνολική ευελιξία είναι αποτέλεσμα της σύνθεσης τους. Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε αξιοποιεί την εξειδικευμένη γνώση και αποτελείται από μια εφαρμογή της μεθόδου ασαφούς λογικής και ορολογίας για την εκτίμηση της βιομηχανικής ευελιξίας.

Τα μοντέλα μέτρησης της ευελιξίας που κατασκευάστηκαν παρέχουν στον εκάστοτε χρήστη την δυνατότητα ελέγχου, ορισμού και τροποποίησης των:

- Παραγόντων ευελιξίας,
- Λεκτικών κανόνων,
- Συναρτήσεων συμμετοχής των λεκτικών τιμών,
- Ασαφή σύνολα των λεκτικών τιμών,
- Τελεστών σύνδεσης και συνεπαγωγής
- Μεθόδων συνεπαγωγής και μεθόδων αποσαφήνισης.

Η χρήση του προγράμματος της Matlab και του λογισμικού πακέτου Simulink παρέχει την δυνατότητα εφαρμογής τροποποιήσεων/βελτιωτικών μέτρων, τα οποία θα αποσκοπούν σε μια πιο ενδεδειγμένη έρευνα και θα αφορούν την:

1. Εξέταση δικτύων παραγωγής διαφορετικής τοπολογίας.
2. Εκτέλεση προσομοιώσεων με διαφορετικές παραμέτρους.
3. Τροποποίηση των στοιχείων των ελεγκτών ασαφούς λογικής MFC.fis και RFC.fis.

## **Βιβλιογραφία**

### **Ελληνική**

- [1] Τσουρβελούδης Νικόλαος, Φίλης Ιωάννης (1995). Μέτρηση της ευελιξίας των συστημάτων παραγωγής : μία προσέγγιση ασαφούς λογικής.
- [2] Τσουρβελούδης Νικόλαος, Νικολός Ιωάννης (2015). Τεχνολογίες Παραγωγής.
- [3] Ροβέρτος Ε. Κινγκ (2004). Ευφυής Έλεγχος.

### **Διεθνής**

- [4] Joze Balic, Yannis A. Phillis, Nikos Tsourveloudis, Ivo Pahole (2002). Flexibility in manufacturing models and measurement.
- [5] Joze Balic, Himon P. Valavanis, Nikos Tsourveloudis, Stratos Ioannidis (2003). Intelligent manufacturing systems: Programming and control.
- [6] N. Tsourveloudis, E. Dretoulakis, S. Ioannidis (2000). Fuzzy work-in-process inventory control of unreliable manufacturing systems.
- [7] Rodney P. Parker, Andrew Wirth (1999). Manufacturing flexibility: Measures and relationships.
- [8] M.I.M. Wahab, Desheng (Dash) Wu, Chi-Guhn Lee (2005). A generic approach to measuring the machine flexibility of a manufacturing system.
- [9] Pankaj Chandra, Mihkel M. Tombak (1991). Models for the evaluation of routing and machine flexibility.

### **Διαδικτυακοί Τόποι**

- [10] <http://www.investopedia.com/terms/w/workinprogress.asp>
- [11] <http://www.investopedia.com/terms/t/throughput.asp>
- [12] [http://www.24hor.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=49](http://www.24hor.org/index.php?option=com_content&task=view&id=49)
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/Flexible\\_manufacturing\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Flexible_manufacturing_system)

## Παράρτημα

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

#### Εισαγωγή

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας στον οποίο περιέχονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων διερευνώντας κάθε φορά διαφορετική παράμετρο του συστήματος παραγωγής, ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές. Στόχος αυτών των προσομοιώσεων είναι να αποδείξουν την ορθότητα του μοντέλου και την ικανότητα του να προσεγγίζει την λειτουργία μιας κανονικής γραμμής παραγωγής έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια στο μοντέλο της γραμμής παραγωγής, της γραμμής συναρμολόγησης και της γραμμής αποσυναρμολόγησης.

Πίνακας Π1 Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας

Προσέγγιση	Κατηγορία	Overall Throughput (τεμάχια)	Overall Utilization	Total W.I.P (τεμάχια)	Production Line Flexibility
1.Προς σύγκριση	-	66.270	0,5978	149,1	0,50
2.Πιθανότητα επισκευής	A	55.250	0,5248	148,5	0,50
	B	75.800	0,6744	149,5	0,50
3.Πιθανότητα βλάβης	A	74.060	0,6626	149,8	0,50
	B	60.100	0,5445	149,3	0,50
4.Μέγεθος παρτίδας	A	50.060	0,4555	148,8	0,50
	B	75.970	0,6831	149,5	0,50
5.Προσαρμοστικότητα Μηχανής	A	66.270	0,5978	149,1	0,25
	B	66.270	0,5978	149,1	0,75
6.Πολυμέρεια Μηχανής	A	66.270	0,5978	149,1	0,25
	B	66.270	0,5978	149,1	0,75
7.Χρόνοι προετοιμασίας Μηχανής	A	87.620	0,7897	149,8	0,75
	B	60.030	0,5401	149,6	0,25

Κάθε προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της ανάλυσης ευαισθησίας της γραμμής παραγωγής διεξήχθη για δέκα χιλιάδες χρονικές μονάδες προσομοίωσης. Η διάρκεια της προσομοίωσης εξασφαλίζει την ορθότητα και την πληρότητα των εξαγόμενων αποτελεσμάτων. Ο πίνακας που ακολουθεί περιλαμβάνει τις τιμές των παραμέτρων που διερευνήθηκαν στις εκάστοτε περιπτώσεις προσομοίωσης.



**Πίνακας Π2 Τιμές παραμέτρων ανάλυσης ευαισθησίας**

Προσέγγιση	A.	Προς σύγκριση	B.
Πιθανότητα επισκευής	25%	50%	75%
Πιθανότητα βλάβης	5%	10%	15%
Μέγεθος παρτίδας	10.000 τεμάχια	20.000 τεμάχια	30.000 τεμάχια
Προσαρμοστικότητα μηχανής	0,30 m <sup>3</sup>	0,75 m <sup>3</sup>	1,2 m <sup>3</sup>
Πολυμέρεια μηχανής	20 κατεργασίες	50 κατεργασίες	80 κατεργασίες
Χρόνος προετοιμασίας μηχανής	145,238 ΧΜΠ	720,438 ΧΜΠ	1.295,638 ΧΜΠ

Η μεταβολή των τιμών των παραμέτρων γίνεται ομοιόμορφα σε κάθε περίπτωση προσομοίωσης ( -50%, +50%).

### Περιπτώσεις προσομοίωσης

1. Πιθανότητα επισκευής της εκάστοτε μηχανής
2. Πιθανότητα βλάβης της εκάστοτε μηχανής
3. Μέγεθος παρτίδας το οποίο όταν επιτευχθεί η εκάστοτε μηχανή εισέρχεται σε κατάσταση προετοιμασίας για την επόμενη παρτίδα προϊόντος.
4. Προσαρμοστικότητα μηχανής για τιμές για από 0 μέχρι 1,5 m<sup>3</sup>
5. Πολυμέρεια μηχανής για τιμές από 0 μέχρι 100 κατεργασίες
6. Χρόνος προετοιμασίας μηχανής για τιμές από 0 μέχρι 124,96 ΧΜΠ