

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**



**ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ BOILER ΑΤΜΟΥ ΜΕ MATLAB,  
SIMULINK, OPC Toolbox**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ**  
**ΚΟΥΚΟΥΒΕΛΑ ΙΩΑΝΝΗ (554)**

Επιβλέπων: Σταύρος Βολογιαννίδης, Επιστημονικός Συνεργάτης

**ΣΕΡΡΕΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη αυτή έχει ως σκοπό τον έλεγχο ενός boiler ατμού εφαρμόζοντας τεχνικές Ευφυούς Ελέγχου. Τέτοια boiler χρησιμοποιούνται πολύ στην παραγωγή ενέργειας όπου παραδείγματος χάρη ένας πυρηνικός αντιδραστήρας χρησιμοποιείται για να παράγει την θερμότητα που απαιτείται για την ατμοποίηση του νερού και έπειτα ο ατμός χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μιας τουρμπίνας.

Για να λυθεί το παραπάνω πρόβλημα χρησιμοποιήθηκε το Simulink ως περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο είναι ένα αναγνωρισμένο στην επιστημονική κοινότητα λογισμικό, που περιέχεται στο πακέτο του Matlab της MathWorks.

Συγκεκριμένα στην εργασία αυτή έχει εφαρμοστεί η τεχνική του ασαφούς ελεγκτή (fuzzy controller) με το μοντέλο Mamdani για τον έλεγχο του boiler. Το σύστημα του boiler είναι ένα ιδιαίτερα ασταθές σύστημα, η μη-γραμμικότητα του οποίου, κάνει την τεχνική της Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Logic), να είναι μια πολύ καλή λύση για τον σχεδιασμό.

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε το πακέτο OPC Toolbox του Matlab ώστε να μπορεί να υπάρξει επικοινωνία μεταξύ δύο Η/Υ ( αυτό γίνεται μέσω πρωτοκόλλου OPC (OLE for Process Control).) όπου ο ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής θα παίζει το ρόλο του ελεγκτή και ο άλλος θα τρέχει το μοντέλο του boiler στο Matlab με σκοπό την παρακολούθηση όλων των μεταβλητών σε πραγματικό χρόνο.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 ΕΥΦΥΗΣ ΈΛΕΓΧΟΣ</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2 ΈΜΠΕΙΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b> .....	<b>11</b>
<b>1.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΈΜΠΕΙΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b> .....	<b>14</b>
<b>1.4 Η ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΈΜΠΕΙΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b> .....	<b>14</b>
<b>1.5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΈΜΠΕΙΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b> .....	<b>15</b>
<b>1.6 ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΩΝ ΈΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ</b> .....	<b>16</b>
<b>1.7 ΈΜΠΕΙΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ</b> .....	<b>18</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 20</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 ΕΥΦΥΗΣ ΈΛΕΓΧΟΣ</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2 ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΕΥΦΥΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥ</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΥΦΥΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥ</b> .....	<b>21</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 30</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ BOILER ΑΤΜΟΥ (STEAM BOILER)</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΤΜΟΥ</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2.1. ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2.2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΤΜΟΥ ΜΕ ΠΑΡΟΧΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΠΗΓΗ</b> .....	<b>25</b>
<b>3.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ BOILER</b> .....	<b>26</b>
<b>3.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ BOILER</b> .....	<b>28</b>
<b>3.5.ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ BOILER</b> .....	<b>34</b>

3.6 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ BOILER ΣΤΟ SIMULINK.....	37
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4Ο.....</b>	<b>48</b>
4.1 Ο ΣΤΟΧΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	47
4.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΑΣΑΦΗ ΕΛΕΓΚΤΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	48
4.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΛΕΓΚΤΗ ΜΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΔΥΟ ΕΞΟΔΩΝ.....	48
4.2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΛΕΚΤΙΚΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ.....	52
4.2.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ BOILER ΣΤΟ SIMULINK.....	57
4.2.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	59
4.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΛΕΓΚΤΗ ΔΥΟ ΕΙΣΟΔΩΝ ΚΑΙ ΔΥΟ ΕΞΟΔΩΝ.....	62
4.3.1 ΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΟΥ ΑΣΑΦΗ ΕΛΕΓΚΤΗ.....	66
4.3.2 ΑΝΟΙΓΜΑ ΤΟΥ SIMULINK ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ BOILER.....	70
4.3.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΑΣΑΦΟΥΣ ΕΛΕΓΚΤΗ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	70
4.3.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	70
4.4 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΛΕΓΚΤΗ ΤΡΙΩΝ ΕΙΣΟΔΩΝ ΚΑΙ ΔΥΟ ΕΞΟΔΩΝ.....	73
4.4.1 ΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ.....	75
4.4.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ BOILER ΣΤΟ SIMULINK.....	78
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5Ο .....</b>	<b>84</b>
<b>ΕΥΡΩΣΤΙΑ ΤΟΥ ΑΣΑΦΗ ΕΛΕΓΚΤΗ</b>	
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ BOILER.....	84
5.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΙΔΙΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	84
5.3 ΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	86
5.4 ΤΡΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	88
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6Ο .....</b>	<b>91</b>
<b>OPC TOOLBOX ΤΟΥ MATLAB</b>	
6.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ OPC.....	91
6.2 OPC TOOLBOX™ 2.1.1.....	93
6.2.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	92

<b>6.2.2 ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ OPC TOOLBOX.....</b>	<b>94</b>
<b>6.2.3 ΣΥΝΔΕΣΗ MATLAB, OPC TOOLBOX, OPC SERVER.....</b>	<b>93</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7Ο.....</b>	<b>107</b>
<b>7.1 ΤΟ SCADA.....</b>	<b>107</b>

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

Σχήμα 1.1 Οι κλάδοι της Υπολογιστικής Νοημοσύνης .....	13
Σχήμα 1.2 Αρχιτεκτονική ενός έμπειρου συστήματος.....	15
Σχήμα 1.3 Η διασύνδεση Έμπειρων Συστημάτων στην παραγωγική Διαδικασία.....	18

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

Σχήμα 2.1 Η γενική δομή ενός Ασαφούς Ελεγκτή.....	23
---	----

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

Σχήμα 3.1 Μοντέλο ενός boiler ατμού.....	24
Σχήμα 3.2 Εγκαταστάσεις εταιρείας P16-G16.....	27
Σχήμα 3.3 Εγκαταστάσεις εταιρείας ERARING .....	27
Σχήμα 3.4 Σχηματική εικόνα ενός boiler .....	28
Σχήμα 3.5 Μεταβολή μεταβλητών με ροή ατμού (steam flow) 10Kg/sec για μεσαίο (συνεχής γραμμή) και υψηλό φορτίο(τελείες) .....	35
Σχήμα 3.6 Σύγκριση στάθμης νερού στο τύμπανο και ποσοστού ατμού(steam flow) στα μεσαία και υψηλά φορτία.....	36
Σχήμα 3.7 Σύγκριση τροφοδοσίας νερού (feedwater) στο υψηλό φορτίο μεταξύ προτύπου(συνεχής γραμμή) και στοιχείων εγκαταστάσεων (τελείες).....	37
Σχήμα 3.8 Σύγκριση τροφοδοσίας νερού (feedwater) στο μεσαίο φορτίο μεταξύ προτύπου(συνεχής γραμμή) & στοιχείων εγκαταστάσεων (τελείες) .....	38
Σχήμα 3.9 Το μοντέλο του boiler.....	39
Σχήμα 3.10 Το μοντέλο του boiler στο Simulink.....	40
Σχήμα 3.11 Σύνδεση μεταβλητών $e_{11}$ , $e_{12}$ .....	40
Σχήμα 3.12 Οι πίνακες Ατμού (Steam Tables).....	41
Σχήμα 3.13 Αρχικές τιμές μεταβλητών του μοντέλου boiler.....	42
Σχήμα 3.14 Η μεταβλητή Drum Pressure.....	43

Σχήμα 3.15 Η μεταβλητή Steam Flow.....	43
Σχήμα 3.16 Η μεταβλητή Steam vol.....	43
Σχήμα 3.17 Το μοντέλο του boiler με τον MPC ελεγκτή.....	44
Σχήμα 3.18 Η μεταβλητή Steam flow με χρήση του MPC ελεγκτή.....	45
Σχήμα 3.19 Η μεταβλητή Drum Pressure με χρήση του MPC ελεγκτή.....	45
Σχήμα 3.20 Η μεταβλητή Steam vol με χρήση του MPC ελεγκτή.....	45
Σχήμα 3.21 Διάγραμμα επιθυμητών τιμών εξόδων.....	46

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

Σχήμα 4.1 Άνοιγμα FIS Editor.....	49
Σχήμα 4.2 Ο Fis Editor για ελεγκτή μίας εισόδου και δύο εξόδων.....	50
Σχήμα 4.3 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής error-Steam –Flow.....	51
Σχήμα 4.4 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής heat.....	52
Σχήμα 4.5 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής feedwater.....	53
Σχήμα 4.6 Rule Editor του ελεγκτή.....	55
Σχήμα 4.7 Surface Viewer για την έξοδο feedwater του ασαφή ελεγκτή .....	56
Σχήμα 4.8 Surface Viewer για την έξοδο heat του ασαφή ελεγκτή.....	57
Σχήμα 4.9 Αποθήκευση ελεγκτή με το όνομα boilercontrol1.....	57
Σχήμα 4.10 Το μοντέλο boiler στο SIMULINK.....	58
Σχήμα 4.11 Κουμπί εκτέλεσης του Simulink.....	59
Σχήμα 4.12 Τελικό Μοντέλο boiler στο Simulink .....	60
Σχήμα 4.13 Σύγκριση επιθυμητής – πραγματικής ροής ατμού.....	61
Σχήμα 4.14 Συμπεριφορά του ελεγκτή boilercontrol1 ως προς την μεταβλητή drum pressure.....	61
Σχήμα 4.15 Σύγκριση επιθυμητής – πραγματικής ροής ατμού.....	62
Σχήμα 4.16 Συμπεριφορά του ελεγκτή boilercontrol1 ως προς την μεταβλητή drum pressure.....	62
Σχήμα 4.17 Ελεγκτής 2 εισόδων και 2 εξόδων.....	63
Σχήμα 4.18 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής error-Steam –Flow.....	64
Σχήμα 4.19 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής derivative.....	65
Σχήμα 4.20 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής heat.....	65
Σχήμα 4.21 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής feedwater.....	66
Σχήμα 4.22 Rule Editor του ελεγκτή boilercontrol2.....	68
Σχήμα 4.23 Γραφική απεικόνιση κανόνων ελεγκτή boilercontrol2.....	68

Σχήμα 4.24 Surface Viewer των εξόδων του ασαφή ελεγκτή για τις εισόδους της θερμοκρασίας και της τροφοδοσίας νερού.....	69
Σχήμα 4.25 Μοντέλο του boiler στο Simulink.....	70
Σχήμα 4.26 Κουμπί εκτέλεσης του Simulink.....	71
Σχήμα 4.27 Απεικόνιση επιθυμητής και πραγματικής ροής ατμού για καθώς και της μεταβολής του σφάλματος της ροής ατμού.....	72
Σχήμα 4.28 Απεικόνιση της μεταβλητής drum pressure.....	72
Σχήμα 4.29 Απεικόνιση της μεταβλητής steam vol.....	73
Σχήμα 4.30 Απεικόνιση επιθυμητής και πραγματικής ροής ατμού για καθώς και της μεταβολής του σφάλματος της ροής ατμού.....	73
Σχήμα 4.31 Απεικόνιση της μεταβλητής drum pressure.....	74
Σχήμα 4.32 Ο Fis Editor για ελεγκτή τριών εισόδων και δύο εξόδων.....	75
Σχήμα 4.33 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής drum pressure.....	76
Σχήμα 4.34 Rule Editor του ελεγκτή.....	77
Σχήμα 4.35 Surface Viewer των εξόδων του ασαφή ελεγκτή για τις εισόδους της θερμοκρασίας , της τροφοδοσίας νερού και της drum pressure...	78
Σχήμα 4.36 Αποθήκευση ελεγκτή με το όνομα in3out2.....	79
Σχήμα 4.37 Τελικό μοντέλο boiler με ελεγκτή in3out2.....	80
Σχήμα 4.38 Απεικόνιση επιθυμητής και πραγματικής ροής ατμού για καθώς και της μεταβολής του σφάλματος της ροής ατμού για τον ελεγκτή in3out2...	81
Σχήμα 4.39 Απεικόνιση της μεταβλητής drum pressure του ελεγκτή in3out2...	81
Σχήμα 4.40 Απεικόνιση επιθυμητής και πραγματικής ροής ατμού για καθώς και της μεταβολής του σφάλματος της ροής ατμού για τον ελεγκτή in3out2.....	82
Σχήμα 4.41 Απεικόνιση της μεταβλητής drum pressure του ελεγκτή in3out2....	82

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

Σχήμα 5.1 Block του θορύβου του Simulink.....	84
Σχήμα 5.2 Απεικόνιση του μεγέθους του θορύβου.....	85
Σχήμα 5.3 Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 1600 στην θερμοκρασία του boiler.....	85
Σχήμα 5.4 Απεικόνιση της πίεσης των τοιχιών για εισαγωγή θορύβου 1600στην θερμοκρασία του boiler.....	86



<b>Σχήμα 5.5</b>	<b>Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 1600 στην θερμοκρασία του boiler.....</b>	<b>86</b>
<b>Σχήμα 5.6</b>	<b>Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θορύβου 1600 στην θερμοκρασία του boiler.....</b>	<b>86</b>
<b>Σχήμα 5.7</b>	<b>Απεικόνιση του μεγέθους του θορύβου.....</b>	<b>87</b>
<b>Σχήμα 5.8</b>	<b>Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 3200 στην θερμοκρασία του boiler.....</b>	<b>87</b>
<b>Σχήμα 5.9</b>	<b>Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θορύβου 3200 στην θερμοκρασία του boiler.....</b>	<b>88</b>
<b>Σχήμα 5.10</b>	<b>Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 3200 στην θερμοκρασία του boiler.....</b>	<b>88</b>
<b>Σχήμα 5.11</b>	<b>Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θορύβου 3200 στην θερμοκρασία του boiler.....</b>	<b>88</b>
<b>Σχήμα 5.12</b>	<b>Απεικόνιση του μεγέθους του θορύβου.....</b>	<b>89</b>
<b>Σχήμα 5.13</b>	<b>Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 4800 στην θερμοκρασία του boiler.....</b>	<b>89</b>
<b>Σχήμα 5.14</b>	<b>Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θορύβου 4800 στην θερμοκρασία του boiler.....</b>	<b>90</b>
<b>Σχήμα 5.15</b>	<b>Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 4800 στην θερμοκρασία του boiler.....</b>	<b>90</b>
<b>Σχήμα 5.16</b>	<b>Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θορύβου 4800 στην θερμοκρασία του boiler.....</b>	<b>90</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

<b>Σχήμα 6.1</b>	<b>Σύνδεση MATLAB, OPC TOOLBOX, OPC SERVER.....</b>	<b>94</b>
<b>Σχήμα 6. 2</b>	<b>ΤοΠεριβάλλον του OPC Toolbox του MATLAB.....</b>	<b>95</b>
<b>Σχήμα 6.3</b>	<b>Προσθήκη νέου host.....</b>	<b>96</b>
<b>Σχήμα 6.4</b>	<b>Εμφάνιση σε μορφή δέντρου των διαθέσιμων OPC servers με τον οικοδεσπότη local host.....</b>	<b>96</b>
<b>Σχήμα 6.5</b>	<b>Δημιουργία client.....</b>	<b>97</b>
<b>Σχήμα 6.6</b>	<b>Σύνδεση OPC Server.....</b>	<b>97</b>

<b>Σχήμα 6.7 Επιλογή του OPC Server.....</b>	<b>98</b>
<b>Σχήμα 6.8 Επιλογή του I CONICS Simulator OPC Server 3.13.....</b>	<b>98</b>
<b>Σχήμα 6.9 Ιδιότητες του OPC Server.....</b>	<b>98</b>
<b>Σχήμα 6.10 Δημιουργία group.....</b>	<b>99</b>
<b>Σχήμα 6.11 Δημιουργία group boiler.....</b>	<b>100</b>
<b>Σχήμα 6.12 Εισαγωγή μεταβλητών στο group boiler.....</b>	<b>101</b>
<b>Σχήμα 6.13 OPC Tool του Matlab.....</b>	<b>102</b>
<b>Σχήμα 6.14 Προσθήκη group boiler στον OPC Server.....</b>	<b>103</b>
<b>Σχήμα 6.15 Παρακολούθηση μεταβλητών μέσω OPC Server.....</b>	<b>104</b>
<b>Σχήμα 6.16 Blocks OPC Read, OPC Write, OPC Config Real-Time.....</b>	<b>104</b>
<b>Σχήμα 6.17 Εισαγωγή δεδομένων στο block OPC Write.....</b>	<b>105</b>
<b>Σχήμα 6.18 Μοντέλο boiler στο Simulink για την απεικόνιση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μέσω του OPC Server.....</b>	<b>106</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

## 1.1 Ευφυής Έλεγχος

Η ολοένα αυξανόμενη πολυπλοκότητα των σύγχρονων βιομηχανικών διαδικασιών, σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες απαιτήσεις για καλύτερο ποιοτικό έλεγχο, επιβάλλει τη χρήση προηγμένων και εκλεπτυσμένων ελεγκτών.

Ο κυρίαρχος στόχος ενός ευφυούς ελεγκτή συνεπώς είναι να λειτουργεί όπως ο άνθρωπος-χειριστής και με τους ίδιους κανόνες αλλά χωρίς τις ελλείψεις και τις αδυναμίες του, αποφεύγοντας ταυτόχρονα την ασυνέπεια, αναξιοπιστία, παροδική κόπωση, που είναι συνυφασμένα με τις αντίξοες συνθήκες του εργασιακού περιβάλλοντος.

Όπως και ο άνθρωπος-χειριστής, οι ευφυείς ελεγκτές μπορούν να λειτουργήσουν κάτω από συνθήκες ασάφειας και αβεβαιότητας τόσο της ελεγχόμενης διαδικασίας όσο και του περιβάλλοντός τους. Οι ευφυείς ελεγκτές είναι ικανοί να αντισταθμίσουν αποκλίσεις των μεταβλητών της διαδικασίας από τις επιθυμητές και να επαναφέρουν σταδιακά την διαδικασία στην ονομαστική της κατάσταση χωρίς παρέμβαση του χειριστή. Μπορούν επίσης να προσαρμόζονται σε απρόσμενες καταστάσεις 'όπως και οι χειριστές τους οποίους μιμούνται. Είναι προφανές ότι ένας ευφυής ελεγκτής μπορεί να φτάσει τις ικανότητες του καλύτερου χειριστή εφόσον η διαδικασία λειτουργεί στο χώρο για τον οποίο έχει σχεδιαστεί. Το χαρακτηριστικό που του λείπει όμως είναι η ικανότητα προσαρμογής και μάθησης νέων κανόνων, ικανότητες που ο άνθρωπος -χειριστής κατέχει φυσικά.

Ένα πλήθος αρχιτεκτονικών έχουν προταθεί για το σχεδιασμό και την υλοποίηση ευφυών συστημάτων ελέγχου για διαδικασίες μεγάλης κλίμακας (large scale systems). Μια διαδεδομένη αρχιτεκτονική, αυτή του Σαρίδη, έχει ιεραρχική δομή στην οποία ο ρυθμός μεταφοράς της πληροφορίας μειώνεται όσο ανεβαίνουμε την ιεραρχία από τα χαμηλότερα επίπεδα μιας βιομηχανικής μονάδας(το εκτελεστικό επίπεδο που συνδέεται άμεσα με την υπό έλεγχο φυσική διαδικασία) στα υψηλότερα (τα επίπεδα επίβλεψης και διοίκησης), ενώ το αντίστροφο ισχύει για το ρυθμό των εντολών που αφορούν τη διαχείριση της μονάδας.

Είναι χρήσιμο εδώ να σημειώσουμε τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να υποστηρίζει κάθε αρχιτεκτονική Ευφυούς Συστήματος και τα οποία συμπεριλαμβάνονται τα εξής:

- Η ορθότητα(correctness) είναι η ικανότητα εκτέλεσης των λειτουργικών απαιτήσεων του συστήματος με απόλυτη ασφάλεια.
- Η σθεναρότητα ή ευρωστία (robustness) είναι η ικανότητα του συστήματος να παραμένει λειτουργικό κάτω από απρόβλεπτες και αντίξοες συνθήκες είτε αυτές είναι ενδογενείς ή εξωγενείς. Σε κάθε επίπεδο της ιεραρχίας θα πρέπει να υπάρχει το απαραίτητο περιθώριο για την αντιμετώπιση προσωρινών αναγκών.
- Η επεκτασιμότητα (extendibility) είναι η ικανότητα της αρχιτεκτονικής να επιτρέπει επέκταση τόσο του υλικού όσο και του λογισμικού χωρίς επανασχεδιασμό του συστήματος.
- Η επαναχρησιμότητα (reusability) είναι η ικανότητα της αρχιτεκτονικής να χρησιμοποιεί τα ίδια υπολογιστικά υποσυστήματα (ειδικά το λογισμικό)σε διαφορετικές αλλά παρόμοιες εφαρμογές. Για να πετύχουμε αυτά τα χαρακτηριστικά, η αρχιτεκτονική του συστήματος θα πρέπει να είναι ανοιχτή.

## 1.2 Έμπειρα συστήματα

Στη βιομηχανία υπάρχουν πολλά πληροφοριακά συστήματα εποπτείας και ελέγχου που μας επιτρέπουν να αυξήσουμε την παραγωγή, να μειώσουμε το κόστος παραγωγής και να ελέγχουμε την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος. Η εφαρμογή της πληροφορικής στη βιομηχανία την τελευταία 50ετία έχει προχωρήσει τόσο που δε βοηθά απλώς στο να κάνει την παραγωγική διαδικασία πιο αποτελεσματική, αλλά αποτελεί το όχημα της οικονομικής οργάνωσης και διαχείρισης κάθε βιομηχανικής μονάδας και δίνει νέες προοπτικές στο χώρο της εργασίας και της κοινωνίας.

Τα Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems) ανήκουν στην περιοχή των Συστημάτων Βασισμένα σε Γνώση (Knowledge-Based Systems-KBS), που αποτελούν ένα από τα πεδία δραστηριότητας της Υπολογιστικής Νοημοσύνης. Για να εμπεδωθεί καλύτερα ο ρόλος και η σημασία των έμπειρων συστημάτων, παραθέτουμε παρακάτω τον ορισμό της υπολογιστικής νοημοσύνης και στη συνέχεια δίνεται ο αντίστοιχος ορισμός ενός ευφυούς συστήματος.

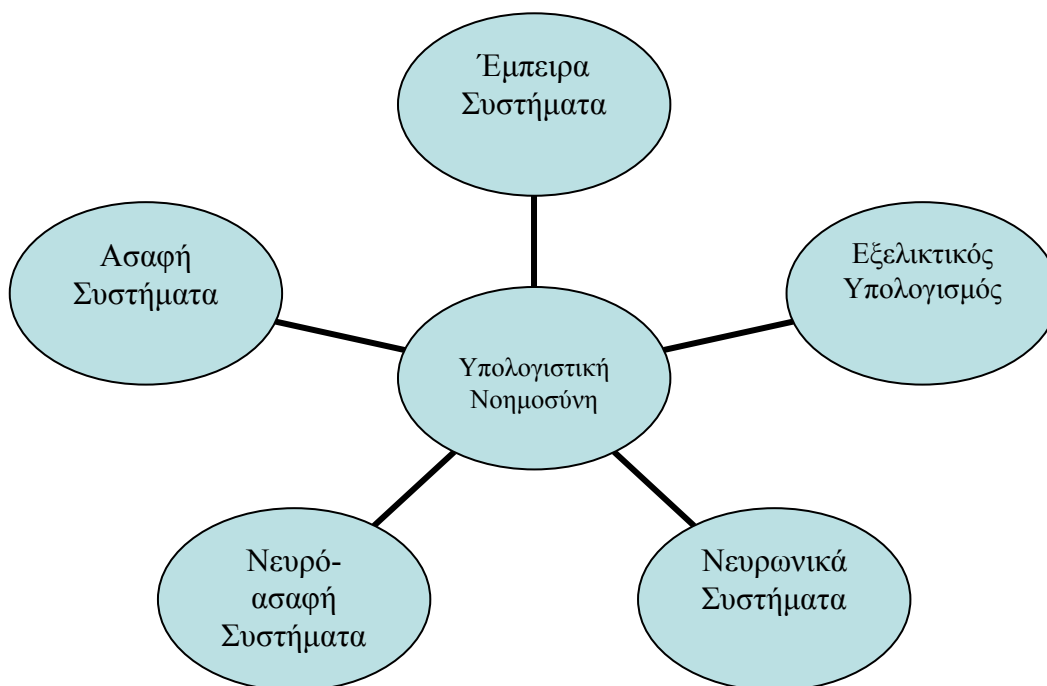
Τα Έμπειρα Συστήματα είναι το κατεξοχήν εμπορικό προϊόν της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence) και αποτελεί λογισμικό ικανό να αναπαράγει τη συλλογιστική ικανότητα του ανθρώπου. Τα συστήματα αυτά συχνά ενσωματώνονται στους πυρήνες (kernels) Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων (Decision Support

Systems- DSS ) για να παρέχουν λύσεις σε δύσκολα προβλήματα που απαιτούν μεγάλη γνώση και εμπειρία του αντικειμένου. Η περιοχή που καλύπτουν αρχίζει από το σχεδιασμό κάποιου προϊόντος μέχρι τη διάθεσή του στην αγορά.

Ένας μάλλον πεσιμιστικός ορισμός της Υπολογιστικής Νοημοσύνης που έχει γραφεί είναι:

Η Υπολογιστική Νοημοσύνη είναι η επιστήμη που προσπαθεί να αναπαράγει την ευφυΐα του ανθρώπου με υπολογιστικές τεχνικές, ή αλλιώς, η επιστήμη που προσπαθεί να καταστήσει τους υπολογιστές ικανούς να εκτελούν έργο για το οποίο ο άνθρωπος, προς το παρόν, τα καταφέρνει καλύτερα!

Η υπολογιστική Νοημοσύνη κατανέμεται σε διάφορους τομείς έρευνας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1



Σχήμα 1.1 Οι κλάδοι της Υπολογιστικής Νοημοσύνης

Προβλήματα που αντιμετωπίζει η Υπολογιστική Νοημοσύνη γενικά είναι η εύρεση της πιο αποτελεσματικής μεθόδου αναπαράστασης της γνώσης καθώς και πώς να προσδώσει στα ευφυή συστήματα τη δυνατότητα ταχείας εξαγωγής συμπερασμάτων. Παρακάτω αναφέρουμε μερικές από τις επικρατέστερες μεθόδους αναπαράστασης γνώσης:

- Η κατηγορηματική λογική (predicate logic)
- Τα σημασιολογικά δίκτυα (semantic networks)
- Η αναπαράσταση διαδικασίας (procedural representation)
- Τα παραγωγικά συστήματα ( productions systems) και
- Τα πλαίσια (frames)

### 1.3 Ορισμός ενός Έμπειρου Συστήματος

Αναμφισβήτητα τα έμπειρα συστήματα συνέβαλαν στην περαιτέρω ανάπτυξη των αντικειμενοστραφών γλωσσών στην Πληροφορική. Το λογισμικό ενός έμπειρου συστήματος μπορεί να θεωρηθεί ως η συνέργια μιας βάσης γνώσης και ενός μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων. Ένας ορισμός, που δόθηκε από ομάδα ειδικών της Βρετανικής Εταιρείας Υπολογιστών, σύμφωνα με την οποία :

Ένα Έμπειρο Σύστημα είναι η ενσωμάτωση σε ένα υπολογιστικό σύστημα, ενός στοιχείου γνώσης, ενός ειδικού σε κατάλληλη μορφή έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να συνάγει συμβουλές και να λάβει μια απόφαση για τη λειτουργία μιας διαδικασίας.

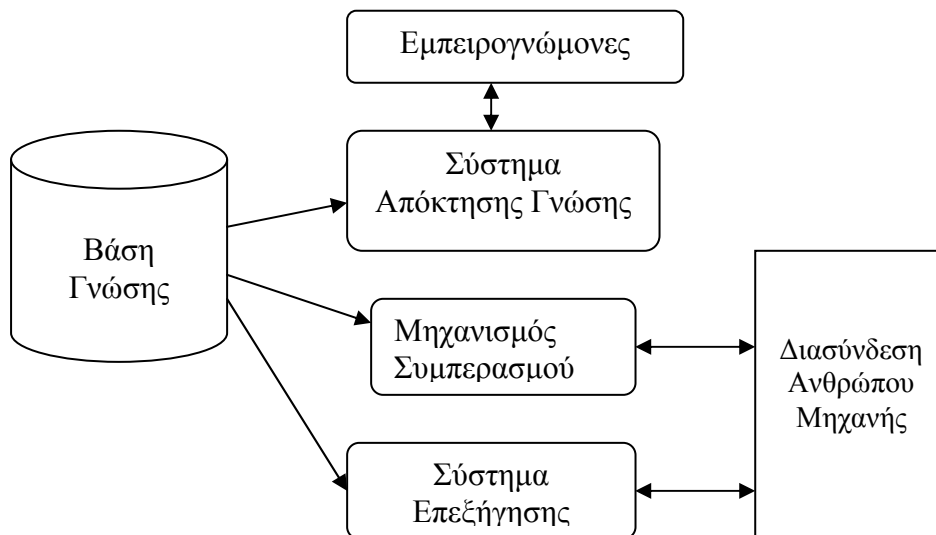
Ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους τα έμπειρα συστήματα έχουν γίνει αποδεκτά στην παραγωγή είναι ότι η γνώση που εμπεριέχει ένα βιομηχανικό σύστημα αποτελείται από γεγονότα (δεδομένα όπως οι τιμές των μεταβλητών της παραγωγικής διαδικασίας, τα διαγράμματα ροής, οι δράσεις ελέγχου κ.α. που εξαρτώνται από το είδος της διαδικασίας) και η διαδικαστική γνώση που παρέχεται από το τεχνικό προσωπικό και τους μηχανικούς του συστήματος και βασίζεται στη γνώση και εμπειρία τους. Η διαδικαστική γνώση περιγράφεται ως ένα σύνολο λεκτικών κανόνων (linguistic rules) της μορφής :

ΑΝ αίτιο ΤΟΤΕ συμπέρασμα

Για το λόγο αυτό τα έμπειρα συστήματα αναφέρονται επίσης και ως συστήματα βασισμένα σε κανόνες (rule-based systems ).

### 1.4 Η Δομή ενός Έμπειρου Συστήματος

Η δομή ενός έμπειρου συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2 Αρχιτεκτονική ενός έμπειρου συστήματος

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, το κέλυφος ενός έμπειρου συστήματος (expert system shell) αποτελείται από τα εξής τμήματα :

- Τη βάση γνώσης (knowledge base). Η βάση αυτή αποτελείται από τα γεγονότα και τους κανόνες που περιγράψαμε παραπάνω.
- Το μηχανισμό συμπερασμού, μηχανισμό συμπερασμάτων ή συμπερασματικό μηχανισμό (inference engine) που επεξεργάζεται τη βάση γνώσης με σκοπό να συμπεράνει κάποιο λογικό συμπέρασμα.
- Το σύστημα απόκτησης γνώσης (knowledge acquisition system) που χρησιμοποιείται από τον εμπειρογνώμονα που εξειδικεύεται στη δημιουργία και ενημέρωση της βάσης γνώσης και
- Το σύστημα επεξήγησης/διασύνδεσης (justification/human machine interface-HMI) για τη διασύνδεση του χειριστή με το σύστημα.

## 1.5 Ανάπτυξη ενός Έμπειρου Συστήματος

Στο στάδιο της ανάπτυξης ενός έμπειρου συστήματος επικεντρώνουμε την προσοχή μας στους στόχους που θα πρέπει να ικανοποιεί το σύστημα και όχι πως θα υλοποιηθούν οι στόχοι αυτοί. Φροντίζουμε για την όσο το δυνατόν καλύτερη οριοθέτηση των αναγκών και των προδιαγραφών που έχουμε θέσει. Η σωστή οριοθέτηση της γνώσης είναι απαραίτητη ώστε να γνωρίζουμε το πλαίσιο μέσα στο οποίο το σύστημα είναι ικανό να λειτουργεί πιστά. Χαρακτηριστικός λόγος για την

αποτυχία αρκετών έμπειρων συστημάτων ήταν η ακατάλληλη οριοθέτηση και οι μεγάλες προσδοκίες των σχεδιαστών τους.

Εφόσον τα όρια λειτουργίας του συστήματος έχουν καθοριστεί, τότε μπορούμε να επιλέξουμε τα εργαλεία και τις μεθόδους υλοποίησης του συστήματος. Στη φάση αυτή ο μηχανικός συνεργάζεται στενά με τους εμπειρογνώμονες και τους μελλοντικούς χρήστες του συστήματος για να αποκτήσει τους κανόνες λειτουργίας της διαδικασίας σε μορφή που θα είναι κατάλληλη για να ενσωματωθεί στο σύστημα. Η απόκτηση της γνώσης είναι μια επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία που μπορεί να παρουσιάσει απρόβλεπτα εμπόδια, ακόμη και την εχθρότητα των εμπειρογνομόνων που φοβούνται να μοιραστούν τη γνώση και την εμπειρία που έχουν συλλέξει επί σειρά ετών.

Στην πρώτη φάση του σχεδιασμού του πρωτοτύπου του έμπειρου συστήματος υλοποιούμε ένα πρωτότυπο του συστήματος γραμμένο σε οποιαδήποτε υψηλή γλώσσα προγραμματισμού. Στόχος, στη φάση αυτή είναι η ανάπτυξη ενός στοιχειώδους συστήματος που περιέχει τους βασικούς μηχανισμούς αλλά όχι την πλήρη βάση γνώσης. Στο στάδιο αυτό ο μηχανικός γνώσης έχει το δύσκολο έργο να κατανοήσει τη γνώση που έχει αποκτήσει και να την κωδικοποιήσει σε κατάλληλη μορφή έτσι ώστε να επεξεργαστεί από τον πυρήνα του έμπειρου συστήματος. Σημειώνουμε ότι το πρωτότυπο θα πρέπει να παρουσιαστεί στους χρήστες του συστήματος που θα κρίνουν αν και κατά πόσο το σύστημα ικανοποιεί τις προδιαγραφές. Σε περίπτωση που επισημανθούν ελλείψεις και λάθη, η διαδικασία ανάπτυξης του συστήματος επαναλαμβάνεται μέχρι να ικανοποιηθούν οι προδιαγραφές.

Σε συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης, τα δεδομένα καταχωρούνται λεκτικά για να επεξεργαστούν από προγράμματα γραμμένα σε κάποια αντικειμενοστραφή γλώσσα. Αντίθετα σε συστήματα Υπολογιστικής Νοημοσύνης τα δεδομένα καταχωρούνται αριθμητικά.

## **1.6 Αποδοχή των Έμπειρων Συστημάτων στη Βιομηχανία**

Η εξέλιξη των έμπειρων συστημάτων γρήγορα βρήκε απήχηση στη βιομηχανία διαδικασιών. Αν και ο κόσμος της παραγωγής είναι κατά κανόνα συντηρητικός και



επιφυλακτικός σε νέες τεχνολογίες, η αποδοχή των έμπειρων συστημάτων από μερικές τολμηρές επιχειρήσεις συνετέλεσε στη γρήγορη διάχυση αυτής της νέας τεχνολογίας. Πολλοί οίκοι ανάπτυξης λογισμικού έσπευσαν να αναπτύξουν κελύφη εμπειρών συστημάτων ικανά να λύσουν κάθε πρόβλημα. Οι περισσότεροι αποχώρησαν όταν έγινε γνωστό ότι δεν κατείχαν ούτε την απαραίτητη γνώση και σήμερα οι κατασκευαστές εμπορικών εμπειρών συστημάτων είναι λιγοστοί. Κέλυφος θεωρείται ο πυρήνας του έμπειρου συστήματος, και περιλαμβάνει το μηχανισμό συμπερασμού και την κενή βάση γνώσης καθώς και το λογισμικό διασύνδεσης ανθρώπου-μηχανής. Ο σχεδιαστής του έμπειρου συστήματος έχει μόνο να καταχωρήσει τη γνώση στην κατάλληλη μορφή και να συνδέσει το ευφύες σύστημα με την υπό έλεγχο διαδικασία από όπου θα αντλεί τα δεδομένα πραγματικού χρόνου. Οι λόγοι που οδήγησαν στην αυξημένη αποδοχή των εμπειρών συστημάτων στη βιομηχανία είναι οι εξής:

- Η έλλειψη ποσοτικών προτύπων των υπό έλεγχο διαδικασιών και η δυσκολία στο σχεδιασμό αντίστοιχων συμβατικών ελεγκτών και
- Η ανεπαρκής γνώση της δυναμικής συμπεριφοράς των διαδικασιών

Χαρακτηριστικό του βιομηχανικού ελέγχου είναι ότι τα ποσοτικά πρότυπα (qualitative models) της υπό έλεγχο διαδικασίας, βάση των οποίων σχεδιάζονται οι ελεγκτές, δεν είναι πάντοτε πιστά εφόσον εξαρτώνται από τις συνθήκες λειτουργίας της διαδικασίας. Ιδιαίτερα, σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας και πολυπλοκότητας, η εύρεση πιστού μαθηματικού προτύπου της ελεγχόμενης διαδικασίας από το οποίο θα υπολογιστεί η βέλτιστη στρατηγική ελέγχου είναι συχνά αδύνατη, λόγω περιορισμένης βαθιάς γνώσης της φυσικής διαδικασίας.

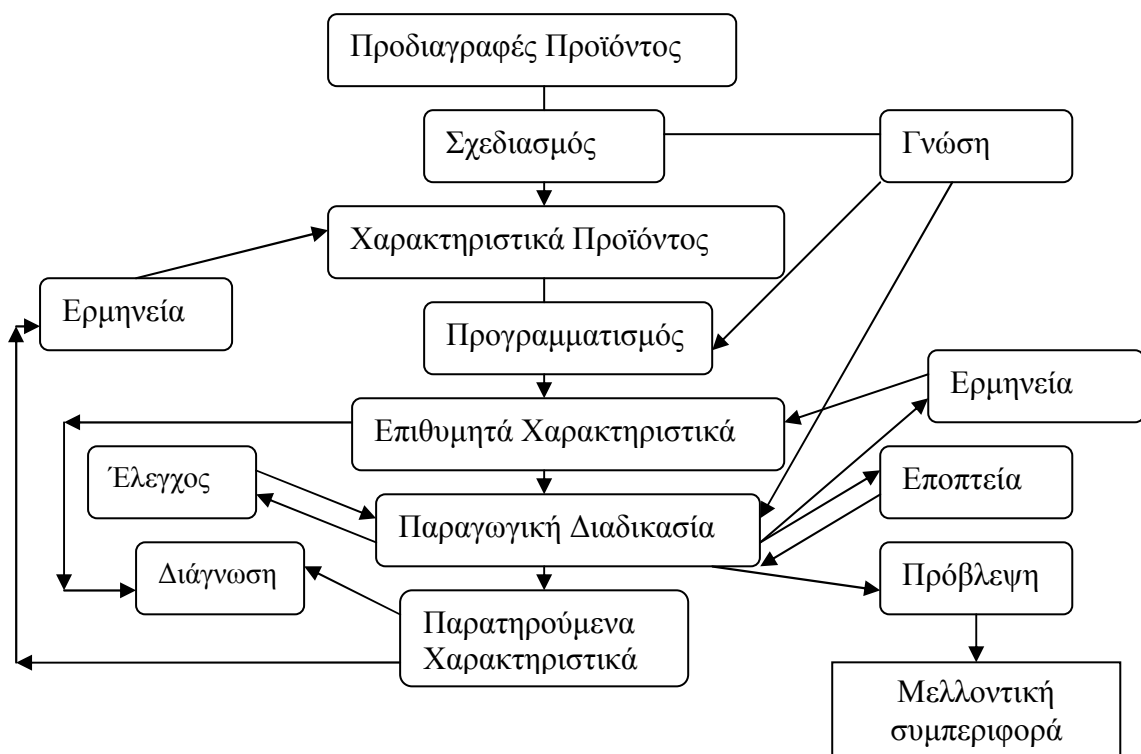
Αντίθετα η ρηχή γνώση (shallow knowledge), της διαδικασίας αποκτάται από τους χειριστές μετά από εκπαίδευση και διευρύνεται με το χρόνο. Οι έμπειροι χειριστές, χωρίς καμία γνώση της αναλυτικής περιγραφής της διαδικασίας που ελέγχουν, μαθαίνουν πως η διαδικασία αποκρίνεται και ποιες ενέργειες πρέπει να ακολουθήσουν ώστε να επαναφέρουν τη διαδικασία στην επιθυμητή της κατάσταση. Δεν είναι δυνατόν όλοι οι χειριστές να κατέχουν την ίδια γνώση και εμπειρία και στην περίπτωση αυτή ένα έμπειρο σύστημα θα ήταν ικανό να δώσει συμβουλές στο χειριστή και ιδιαίτερα σε σπάνιες καταστάσεις.

## 1.7 Έμπειρα Συστήματα στη Βιομηχανία

Οι εφαρμογές των έμπειρων συστημάτων στη βιομηχανία έκαναν την εμφάνιση τους στις αρχές της δεκαετίας του 1980 για την πρόγνωση και διάγνωση βλαβών μηχανικού εξοπλισμού. Τα περισσότερα συστήματα ήταν διαλογικά και λειτουργούσαν εκτός – γραμμής και όχι σε πραγματικό χρόνο. Πολύ σύντομα ακολούθησαν και έμπειρα συστήματα για τον εποπτικό έλεγχο βιομηχανικών διαδικασιών, συστήματα σχεδιασμού κ.τ.λ.

Στη χώρα μας, τα πρώτα βιομηχανικά έμπειρα συστήματα αναπτύχθηκαν και εγκαταστάθηκαν για τη διάγνωση βλαβών βιομηχανικού εξοπλισμού στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Η γνώση αποκτήθηκε παρακολουθώντας ένα έμπειρο συντηρητή του εξοπλισμού και η διαδικασία διάγνωσης διατυπώθηκε σε μορφή δέντρου αποφάσεων (decision tree). Το διαλογικό έμπειρο σύστημα είχε ως συνέπεια τη γρήγορη ανίχνευση του σημείου βλάβης. Ακόμα και ανειδίκευτοι τεχνίτες μπορούσαν να επισκευάσουν τον εξοπλισμό υπό την καθοδήγηση του έμπειρου συστήματος.

Ο ρόλος των έμπειρων συστημάτων στην παραγωγή διακρίνεται στο Σχήμα 2.3, όπου φαίνονται τα διάφορα στάδια της οργάνωσης και λειτουργίας μιας μονάδας.



Σχήμα 1.3 Η διασύνδεση Έμπειρων Συστημάτων στην παραγωγική διαδικασία

Μερικά παραδείγματα εφαρμογής έμπειρων συστημάτων στη βιομηχανία δίνονται παρακάτω :

- Σχεδιασμός προϊόντων,
- Προγραμματισμός της παραγωγής,
- Διαχείριση πρώτων υλών,
- Έλεγχος και διαχείριση της παραγωγής,
- Διαχείριση ενέργειας,
- Πρόγνωση και διάγνωση βλαβών του εξοπλισμού,
- Πρόγνωση και διάγνωση δυσλειτουργιών και έκρυθμων καταστάσεων
- Βέλτιστη διανομή του παραγόμενου προϊόντος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### 2.1 Ευφυής Έλεγχος

Ο ευφυής έλεγχος (Intelligent Control) αντιμετωπίζει το πρόβλημα του ελέγχου διαδικασιών με τρόπο που διαφέρει ριζικά από τον συμβατικό έλεγχο. Ο Ευφυής Έλεγχος βασίζεται στη γνώση και την εμπειρία του ανθρώπου-χειριστή και δεν απαιτεί εξειδικευμένη γνώση της ελεγχόμενης διαδικασίας. Μπορούμε, συνεπώς, να θεωρήσουμε τον Ευφυή Έλεγχο ως μια από τις πρώτες τεχνικές ελέγχου χωρίς πρότυπο, μια περιοχή έντονης έρευνας και ανάπτυξης που υπόσχεται πολλά.

Ο Ευφυής Έλεγχος αναζητά λύσεις στο πρόβλημα του ελέγχου μιας διαδικασίας από την πλευρά του ανθρώπου-χειριστή της διαδικασίας. Με άλλα λόγια, η τεχνική αυτή επιδιώκει την προτυποποίηση του χειριστή της διαδικασίας και όχι της φυσικής διαδικασίας υπό έλεγχο. Αυτή η τόσο απλή αντιμετώπιση του προβλήματος ήταν αδύνατη στο παρελθόν με την τότε υπάρχουσα θεωρία και τα διαθέσιμα υπολογιστικά μέσα.

Στο Σχήμα 2.4 διακρίνεται ένας πίνακας όπου διατάσσονται τα ευφυή συστήματα σύμφωνα με τον τρόπο με τον οποίο επεξεργάζονται τη γνώση. Για τον έλεγχο διαδικασιών, η γνώση μπορεί να είναι δομημένη ή μη αλλά η επεξεργασία είναι πάντοτε αριθμητική. Οι 2 μέθοδοι του ασαφούς και του νευρωνικού ελέγχου αποτελούν τον πυρήνα του Ευφυούς Ελέγχου και εντάσσονται στην εξελισσόμενη περιοχή της Υπολογιστικής Νοημοσύνης.

Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους ελέγχου, οι μη-συμβατικές μέθοδοι βασίζονται στην αναπαράσταση και αναπαραγωγή της ανθρώπινης ευφυΐας και γνώσης. Έτσι το επίκεντρο του ενδιαφέροντος μας εστιάζεται σε υπολογιστικούς μηχανισμούς ικανούς να εξάγουν μια ικανοποιητική στρατηγική ελέγχου, αντί της ανεύρεσης ενός μικροσκοπικού προτύπου της ελεγχόμενης διαδικασίας και στη συνέχεια το σχεδιασμό του αντίστοιχου ελεγκτή. Επισημαίνουμε ότι στις μη-συμβατικές μεθόδους, στόχος δεν είναι η εύρεση βέλτιστων στρατηγικών ελέγχου ούτε η εγγύηση της ευστάθειας του κλειστού συστήματος, θέματα που παραμένουν ανοικτά.

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα της εφαρμογής Ευφυούς Ελέγχου σε βιομηχανίες διαδικασιών, ειδικά στις βιομηχανίες πετρελαιοειδών, λιπασμάτων, τσιμέντου, βιολογικού καθαρισμού κ.α. Με την πάροδο του χρόνου η εφαρμογή του μη-συμβατικού ελέγχου ολοένα αυξάνεται σε βιομηχανίες που επιζητούν αναβάθμιση της στρατηγικής τους θέσης με την αύξηση της παραγωγικότητας και της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων τους.

## 2. 2 Στόχοι του Ευφυούς Ελέγχου

Οι βασικοί στόχοι κάθε Συστήματος Ευφυούς Ελέγχου είναι:

- Η μεγιστοποίηση της στρατηγικής επιτυχίας της επιχείρησης ,
- Η αύξηση της παραγωγικότητας και
- Η μείωση του κόστους του παραγόμενου προϊόντος.

Για να επιτύχουμε τους στόχους αυτούς , απαραίτητη προϋπόθεση είναι ότι το ευφύες σύστημα πρέπει να είναι τεχνικά βέλτιστο. Η επιτυχία μιας εφαρμογής βασίζεται τόσο στους κοινωνικούς όσο και στους τεχνικούς συντελεστές που συνεργάζονται άμεσα για να παράγουν μια δεδομένη κατάσταση.

Πριν από την εφαρμογή ενός ευφυούς συστήματος σε μια βιομηχανία πρέπει να δοθούν λύσεις στις εξής ερωτήσεις σχετικά με το προτεινόμενο σύστημα ελέγχου:

- Θα γίνει η απόσβεση του κόστους του συστήματος σε εύλογο χρονικό διάστημα;
- Θα μειώσει το κόστος παραγωγής;
- Θα αυξήσει την παραγωγικότητα;
- Θα επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας;
- Θα διευκολύνει τους χειριστές της διαδικασίας;

Ένα ευφύες σύστημα ελέγχου είναι εφικτό μόνο όταν υπάρχει πλήρης γνώση της διαδικασίας και του χειροκίνητου ελέγχου της. Είναι αυτονόητο ότι μια καινούργια διαδικασία όπου δεν υπάρχει η απαραίτητη γνώση δεν μπορεί να ελεγχθεί με ένα ευφύες σύστημα.

## 2.3 Πλεονεκτήματα του Ευφυούς Ελέγχου

Παρακάτω αναφέρουμε τα κύρια πλεονεκτήματα ενός ευφυούς συστήματος ελέγχου στην παραγωγή. Συμπερασματικά, η χρήση του στοχεύει να :

- Εξοικονομήσει ενέργεια,
- Αυξήσει την παραγωγικότητα,
- Μειώσει το κόστος παραγωγής,
- Αυξήσει το χρόνο μεταξύ επισκευών του εξοπλισμού,
- Να μειώσει το φόρτο εργασίας των χειριστών της διαδικασίας,
- Οδηγήσει σε ορθότερες αποφάσεις ελέγχου, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που οι χειριστές δεν είχαν αντιμετωπίσει προηγουμένως.

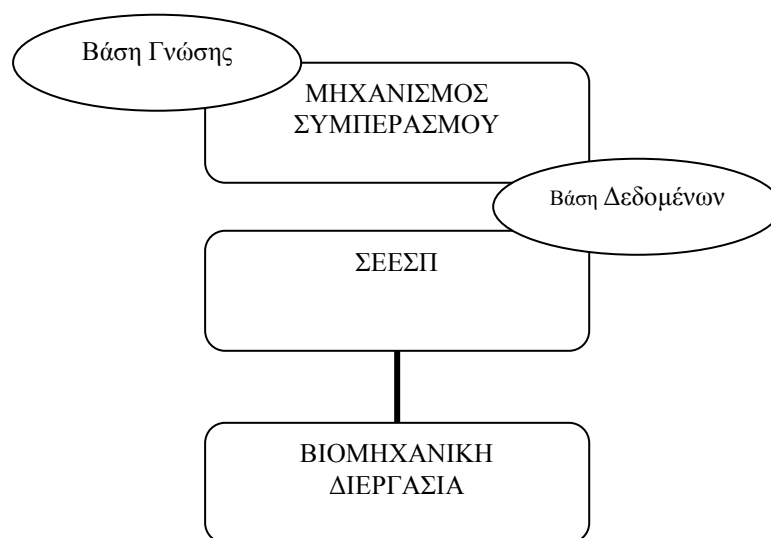
Το ευφύες σύστημα βασίζεται σε κανόνες που αποσπώνται από εμπειρογνώμονες για να αποτελέσουν τη βάση γνώσης για την ανάπτυξη του συστήματος. Πρώτο βήμα κατά την ανάπτυξη ενός Ευφυούς Συστήματος είναι συνεπώς ο περιορισμός του εύρους της γνώσης της εφαρμογής. Είναι προφανές ότι ένα Ευφύες Σύστημα δεν είναι παρά ένα σύνολο προηγμένου λογισμικού που μπορεί να γραφεί σε οποιαδήποτε υψηλή γλώσσα προγραμματισμού. Σήμερα έτοιμα κελύφη διευκολύνουν και επιταχύνουν την ανάπτυξη ευφύων συστημάτων ελέγχου σημαντικά.

Οι ευφυείς Ελεγκτές βασίζονται σε Λεκτικούς Κανόνες (Linguistic Rules) της μορφής "εάν (αιτία) τότε (συμπέρασμα)", οι οποίοι είναι όμοιοι με αυτούς με τους οποίους εκπαιδεύονται οι χειριστές των διαδικασιών.

Ένας απλός Λεκτικός Ελεγκτής (Linguistic Controller) μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί με ένα σύνολο διαδοχικών εντολών της μορφής EAN ... TOTΕ ... ΑΛΛΙΩΣ γραμμένο σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού. Το σύστημα αυτό είναι ικανό να δώσει απόφαση μόνο εφόσον έχουν περιληφθεί όλες οι πιθανές συνθήκες των αιτιών. Σε αντίθετη περίπτωση, το σύστημα δεν είναι σε θέση να εξάγει συμπέρασμα, κατάσταση που είναι αποδεκτή στην πράξη.

Αντίθετα με τους Λεκτικούς ελεγκτές και τα Έμπειρα Συστήματα Ελέγχου, οι Ευφυείς Ελεγκτές που βασίζονται στην Υπολογιστική Νοημοσύνη, έχουν την έμφυτη ικανότητα να συνάγουν αποφάσεις ακόμη και σε συνθήκες ελλιπούς γνώσης ασάφειας και αβεβαιότητας των δεδομένων.

Οι Ασαφείς Ελεγκτές βασίζονται στη θεωρία της Ασαφούς Λογικής και παρέχουν μηχανισμούς που επιτρέπουν την εξαγωγή συμπερασμάτων ακόμη και όταν δεν υπάρχει κανόνας για τις συγκεκριμένες συνθήκες της διαδικασίας. Η ανάπτυξη ενός Ασαφούς Ελεγκτή βασίζεται σε μεθόδους αναπαράστασης της γνώσης και μηχανισμούς ανεύρεσης αποφάσεων Ασαφούς Λογικής. Οι κανόνες, που είναι κατάλληλά κωδικοποιημένοι, καταχωρούνται σε μια βάση γνώσης και τα δεδομένα της διαδικασίας (μετρήσεις των μεταβλητών, παράμετροι, συντελεστές αισθητήρων και ενεργοποιητών της ελεγχόμενης διαδικασίας ) σε μια Βάση Δεδομένων Πραγματικού Χρόνου (Real Time Data Base ). Ο πυρήνας ενός Ασαφούς Ελεγκτή είναι ο μηχανισμός συμπερασμού, ικανός να συμπεραίνει και να υποστηρίζει τις αποφάσεις που εξάγει. Στο Σχήμα 2.4 απεικονίζονται τα βασικά στοιχεία ενός Ασαφούς Ελεγκτή.



Σχήμα 2.1 Η γενική δομή ενός Ασαφούς Ελεγκτή

Με την σχεδίαση ενός τέτοιου ελεγκτή θα ασχοληθούμε στα επόμενα κεφάλαια. Πρόκειται για έναν ελεγκτή ενός boiler ατμού που θα χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές παραγωγές. Πριν ξεκινήσουμε όμως τη σχεδίαση του ελεγκτή, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε το μοντέλο του boiler με το οποίο πρόκειται να ασχοληθούμε.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

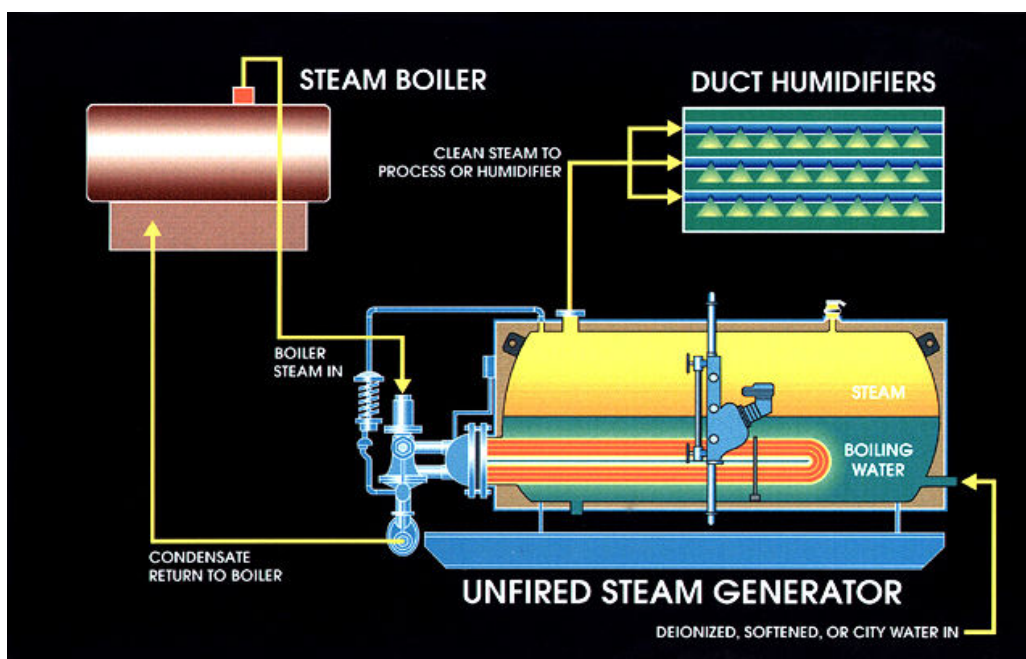
## 3.1 Τι είναι boiler ατμού (steam boiler)

Boiler ορίζονται γενικά τα κλειστά εκείνα δοχεία, όπου με πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική παράγεται ατμός για οποιαδήποτε χρήση. Στα boiler ατμού, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται κατά την καύση σε θερμική ενέργεια. Μέσα από διάφορες επιφάνειες η παραγόμενη θερμική ισχύς μεταφέρεται στο "εργαζόμενο μέσο" νερό-ατμός, με στόχο την παραγωγή ατμού συγκεκριμένης επιθυμητής κατάστασης (πίεσης και θερμοκρασίας).

Το "εργαζόμενο μέσο" είναι πλέον ο φορέας της θερμικής ενέργειας. Αυτή μπορεί να μετατραπεί σε μια άλλη ενεργειακή μορφή, για παράδειγμα μηχανικό έργο, που αποδίδεται από κάποια τουρμπίνα ή από έναν αμοστρόβιλο.

Τέτοια boiler χρησιμοποιούνται πολύ στην παραγωγή ενέργειας όπου παραδείγματος χάρη ένας πυρηνικός αντιδραστήρας χρησιμοποιείται για να παράγει την θερμότητα που απαιτείται για την ατμοποίηση του νερού και έπειτα ο ατμός χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μιας τουρμπίνας.

Ένα σχέδιο ενός boiler ατμού φαίνεται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Μοντέλο ενός boiler ατμού



## **3.2 Παραγωγή ατμού**

Ατμός παράγεται θεωρητικά με δύο τρόπους :

- Με πτώση της πίεσης
- Με παροχή θερμότητας

### **3.2.1. Ατμοποίηση με πτώση της πίεσης**

Αν μειωθεί απότομα η πίεση ποσότητας νερού, που βρίσκεται σε θερμοκρασία βρασμού, παράγεται ατμός χωρίς εξωτερική παροχή θερμότητας. Η διαφορά της ενθαλπίας μεταξύ της αρχικής και της τελικής κατάστασης είναι εκείνη η ποσότητα θερμότητας, που διατίθεται εσωτερικά στο σύστημα για την παραγωγή του ατμού. Η παραγωγή του ατμού σταματάει, όταν η θερμοκρασία εξισωθεί με την θερμοκρασία βρασμού, που αντιστοιχεί στην μειωμένη τελική πίεση.

Ενώ με τον τρόπο αυτό δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί συνεχής παραγωγή ατμού, όπως άλλωστε είναι ευκολονόητο, το φαινόμενο αυτό έχει ουσιαστική σημασία για τη λειτουργία του boiler ατμού. Όταν η λήψη ατμού από ένα boiler αυξάνει απότομα, χωρίς να αυξάνεται αντίστοιχα και η προσδιδόμενη θερμική ισχύς, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, γιατί ακολουθεί μια απότομη πτώση της πίεσης και μη ελεγχόμενος βρασμός του περιεχομένου του boiler. Δημιουργούνται τότε φυσαλίδες ατμού, που προκαλούν συνήθως προβλήματα κυκλοφορίας. Πρέπει τότε να είναι δυνατή η αποθήκευση ατμού, για να ξεπεραστεί το χρονικό διάστημα, που απαιτείται για να καλυφθεί η καθυστέρηση της ατμοποίησης με την αύξηση της προσδιδόμενης θερμικής ισχύος.

Αντίθετα, όταν αυξηθεί η πίεση, η παραγωγή ατμού με σταθερή θερμική ισχύ μειώνεται.

### **3.2.2. Παραγωγή ατμού με παροχή θερμότητας από εξωτερική πηγή**

Κατά την καύση, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Είτε με ακτινοβολία στον άμεσο χώρο της καύσης είτε με επαφή, η παραγόμενη θερμότητα μεταδίδεται στο "εργαζόμενο μέσο" νερό-ατμός. Το νερό θερμαίνεται και εξατμίζεται και ο ατμός υπερθερμαίνεται σε ανεξάρτητα μεταξύ τους

τιμήματα μέσα στο boiler. Ένα μέρος από την ποσότητα θερμότητας, που απαιτείται για την θέρμανση του νερού μέχρι το σημείο βρασμού μεταδίδεται από τα καυσαέρια στο νερό στον προθερμαντήρα του boiler, ενώ το υπόλοιπο μέρος της θερμότητας, όπως και η θερμότητα που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού, μεταφέρεται μέσα από τη θερμαινόμενη επιφάνεια εξάτμισης του boiler.

Η θερμότητα που απαιτείται για την υπερθέρμανση του ατμού, μεταβιβάζεται σε αυτόν μέσα από τη θερμαινόμενη επιφάνεια υπερθέρμανσης.

Το μέγεθος των θερμαινόμενων επιφανειών του boiler εξαρτάται από δύο κριτήρια. Αυτά είναι η ποσότητα θερμότητας που πρέπει να μεταδοθεί και που είναι μια άμεση συνάρτηση της πίεσης λειτουργίας καθώς και η γεωμετρική διαμόρφωση των θερμαινόμενων επιφανειών που επιδρά άμεσα στις συνθήκες μετάδοσης θερμότητας. Αυτό συμβαίνει επειδή από αυτήν εξαρτάται άμεσα η διαφορά θερμοκρασίας καυσαερίων και "εργαζόμενου μέσου".

### **3.3 Μοντελοποίηση βιομηχανικών boiler**

Η μοντελοποίηση ενός βιομηχανικού boiler είναι μια αρκετά δύσκολη αλλά και περίπλοκη διαδικασία. Αυτό συμβαίνει καθώς είναι απαραίτητο να συνδυαστούν πολλοί παράγοντες ώστε να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Αρχικά οι εκπομπές των καυσαερίων πρέπει να είναι σύμφωνες με τη νομοθεσία. Έπειτα χρειάζεται ο βαθμός απόδοσης ενός βιομηχανικού boiler να είναι αυξημένος, η παραγωγή ατμού να είναι γρήγορη, να υπάρχει ισχυρή θερμική μόνωση έτσι ώστε οι απώλειες να είναι μηδενικές. Επιπλέον, κρίνεται αναγκαία η επεκτασιμότητα του εξοπλισμού ενός boiler καθώς και το γεγονός ότι η λειτουργία του θα πρέπει να είναι πλήρως αυτοματοποιημένη. Σε όλα αυτά αξίζει να προσθέσουμε και το γεγονός ότι η λειτουργία ενός βιομηχανικού boiler πρέπει να μπορεί να γίνει με όλους τους τύπους των καυστήρων.

Πολλές ήταν οι εταιρείες που προσπάθησαν να ασχοληθούν με την μοντελοποίηση των βιομηχανικών boiler. Λίγες όμως κατάφεραν να δημιουργήσουν συστήματα που να τηρούν όλες τις προδιαγραφές που περιγράψαμε παραπάνω. Αναφέρουμε ενδεικτικά την εταιρεία ΠΡΟΟΔΟΣ με έδρα την Ελλάδα, την εταιρεία MIURA με έδρα την Ιαπωνία και την εταιρεία SAZ που εδρεύει στην Ινδία.

Δύο από τις εταιρείες που κατάφεραν να δημιουργήσουν βιομηχανικά boiler υψηλών προδιαγραφών είναι η P16-G16 και η ERARING. Οι εγκαταστάσεις της

P16-G16 βρίσκονται στη Σουηδία και αποτελούνται από μια μονάδα των 160MW, ενώ οι εγκαταστάσεις της ERARING έχουν ως έδρα την Αυστραλία και η μονάδα τους έχει δυναμική της τάξης των 660MW. Στα μοντέλα αυτά που σχεδίασαν και μελέτησαν οι δύο αυτές εταιρείες θα βασιστεί και η μελέτη του δικού μας boiler ατμού. Στο σχήμα 3.2 φαίνονται οι εγκαταστάσεις της Σουηδικής εταιρείας και στο σχήμα 3.3 φαίνονται οι εγκαταστάσεις της εταιρείας από την Αυστραλία.



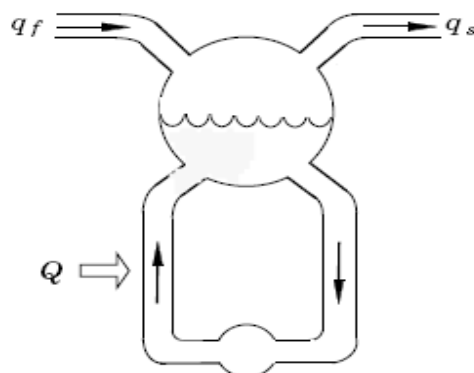
Σχήμα 3.2. Εγκαταστάσεις εταιρείας P16-G16.



Σχήμα 3.3. Εγκαταστάσεις εταιρείας ERARING

### 3.4 Περιγραφή του μοντέλου boiler

Μια σχηματική εικόνα ενός συστήματος boiler παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4



Σχήμα 3.4 Σχηματική εικόνα ενός boiler

Η θερμότητα  $Q$ , που παρέχεται στις μετώπες του boiler προκαλεί βρασμό του υγρού που βρίσκεται μέσα. Η βαρύτητα αναγκάζει τον διαποτισμένο ατμό να ανυψωθεί, προκαλώντας μια κυκλοφορία στο βρόγχο.

Στην πραγματικότητα το σύστημα είναι περισσότερο περίπλοκο από αυτό που φαίνεται στο σχήμα 3.4. Το σύστημα έχει μια περίπλοκη γεωμετρία με πολλούς σωλήνες και μετώπες. Η έξοδος του ατμού από τις μετώπες περνά μέσω ενός διαχωριστή για να χωρίσει το νερό από τον ατμό. Όλα τα μέρη του συστήματος που είναι σε επαφή με το μίγμα υγρού-ατμού θα πρέπει να βρίσκονται σε θερμική ισορροπία. Η ενέργεια που αποθηκεύεται στον ατμό και το νερό απορροφάται ή απελευθερώνεται πολύ γρήγορα όταν η πίεση αλλάζει. Αυτός ο μηχανισμός είναι το κλειδί για την κατανόηση της δυναμικής του boiler. Η γρήγορη απελευθέρωση της ενέργειας εξασφαλίζει ότι τα διαφορετικά μέρη του boiler αλλάζουν τη θερμοκρασία τους με τον ίδιο τρόπο.

Η τεχνολογία κατασκευής boiler έχει εξελιχτεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να δίνεται η δυνατότητα του καθορισμού διαφόρων παραμέτρων, από στατιστικά στοιχεία κατασκευών, που περιγράφουν το μέγεθος των boiler ή και των τμημάτων τους. Έτσι η αποδοτικότητα των κατασκευών αυτών κυμαίνεται σε ανεκτά όρια βαθμού απόδοσης, χωρίς όμως οι κατασκευές να επιβαρύνονται οικονομικά σε απαράδεκτο βαθμό, ούτε και να κινδυνεύουν από υπερβολική καταπόνηση.

Οι χαρακτηριστικές τιμές της αποθηκευμένης ενέργειας για τα δύο διαφορετικά μοντέλα boiler που θα μελετήσουμε δίνονται στον πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Χαρακτηριστικές τιμές αποθηκευμένης ενέργειας

Boiler	Operating condition	metal	water	steam	Total
P16-G16	80MW	641	739	64	1444
P16-G16	160MW	320	333	37	690
ERARING	330MW	1174	303	60	1537
ERARING	660MW	587	137	35	759

Η αναλογία της ενέργειας που αποθηκεύεται στο μέταλλο με αυτή που αποθηκεύεται στο νερό είναι περίπου 1 για τη μονάδα P16-G16 και 4 για τη μονάδα ERARING. Οι αριθμοί στον πίνακα 1 δίνουν επίσης ένα μέτρο του χρόνου που χρειάζεται για να μειωθεί η αποθηκευμένη ενέργεια στο παραγόμενο ποσοστό. Αν και η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια είναι περίπου η ίδια και για τις δύο εγκαταστάσεις υπάρχει μια σημαντική μείωση της αποθηκευμένης ενέργειας στο νερό για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πρόβλημα ελέγχου επιπέδων είναι μεγαλύτερο για τα μεγάλα boiler.

Το μοντέλο το οποίο θα μελετήσουμε περιγράφεται από τις παρακάτω μαθηματικές εξισώσεις :

$$\bullet \frac{d}{dt}[\rho_s V_{st} + \rho_w V_{wt}] = q_f - q_s \quad (3.1)$$

$$\bullet \frac{d}{dt}[\rho_s h_s V_{st} + \rho_w h_w V_{wt} - pV_t + m_t C_p t_m] = Q + q_f h_f - q_s h_s \quad (3.2)$$

$$\bullet \frac{d}{dt}(\rho_s \bar{a}_v V_r + \rho_w (1 - \bar{a}_v) V_r) = q_{dc} - q_r$$

(3.3)

$$\bullet \frac{d}{dt}(\rho_s h_s \bar{a}_v V_r + \rho_w h_w (1 - \bar{a}_v) V_r - pV_r + m_r C_p t_s) = Q + q_{dc} h_w - (a_r h_c + h_w) q_r \quad (3.4)$$

$$\bullet \frac{d}{dt}(\rho_s V_{sd}) = a_r q_r - q_{sd} - q_{cd} \quad (3.5)$$

Η εξίσωση (3.1) μας δείχνει την ολική μαζική ισορροπία του συστήματος, η (3.2) μας δίνει την ολική ενεργειακή ισορροπία, η σχέση (3.3) μας δίνει την εξίσωση ισορροπίας νερού-ατμού, η (3.4) μας δίνει την ολική ενεργειακή ισορροπία για το τμήμα των μετώπων και τέλος η σχέση (3.5) μας δίνει την μαζική ισορροπία του ατμού κάτω από το υγρό επίπεδο.

Σύμφωνα με τις παραπάνω μαθηματικές εξισώσεις μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το μοντέλο του boiler που πρόκειται να μελετήσουμε περιγράφεται από 26 μεταβλητές. Η ανάλυση τους δίνεται παρακάτω.

- Η συσσώρευση του νερού στο τύμπανο του boiler αντιπροσωπεύεται από τον συνολικό όγκο νερού και δίνεται από τη μεταβλητή  $V_{wt}$ .
- Η συνολική ενέργεια αντιπροσωπεύεται από την πίεση  $p$  των τυμπάνων και η διανομή του ατμού και του νερού συλλαμβάνεται από το μέρος του μαζικού ατμού στις μετώπες που δίνεται από τη μεταβλητή  $a_r$ .
- Επίσης ο όγκος ατμού στο τύμπανο δίνεται από τη μεταβλητή  $V_{sd}$ .
- $\rho_s$  είναι η πυκνότητα του ατμού,
- $V_{st}$  είναι ο συνολικός όγκος του ατμού και αποτελεί την πρώτη έξοδο του μοντέλου μας,
- $\rho_w$  είναι η πυκνότητα του νερού
- ενώ  $V_{wt}$  είναι ο συνολικός όγκος του νερού.
- $q_f$  (feedwater), είναι η τροφοδοσία νερού του boiler που αποτελεί και τη μία είσοδο του μοντέλου μας.
- Με  $q_s$  συμβολίζουμε το ποσοστό της ολικής ροής του ατμού, όπου είναι και η δεύτερη έξοδος μας.
- $h_s$  είναι η ενθαλπία του ατμού,
- $h_w$  είναι η ενθαλπία του νερού.
- Η μεταβλητή  $p$  (drum pressure) δηλώνει την συνολική ενέργεια που αντιπροσωπεύεται από την πίεση των τυμπάνων και αποτελεί την τρίτη έξοδο του μοντέλου μας.

- Η μεταβλητή  $m_t$  ορίζει την συνολική μάζα των μεταλλικών σωλήνων και του τυμπάνου του boiler και
- $c_p$  είναι η θερμότητα του μετάλλου.
- $t_m$  είναι η θερμοκρασία μετάλλου.
- $Q$  είναι η θερμότητα που παρέχεται στο σωλήνα και αποτελεί την δεύτερη είσοδο του μοντέλου boiler που θα μελετήσουμε.
- $\bar{a}_v$  είναι η μέση αναλογία του ατμού,
- $q_{dc}$  είναι το ολικό ποσοστό ροής στις μετώπες.
- $q_r$  είναι το ολικό ποσοστό ροής από τις μετώπες.
- Η μεταβλητή  $t_s$  ορίζεται ως η θερμοκρασία κορεσμού του ατμού.
- Η μεταβλητή  $a_r$  δηλώνει την διανομή του ατμού και του νερού στις μετώπες του boiler.
- $h_c$  είναι η διαφορά της ενθαλπίας του ατμού από την ενθαλπία του νερού δηλαδή  $h_c = h_s - h_w$ ,
- $V_{sd}$  είναι ο όγκος του ατμού στο τύμπανο του boiler κάτω από το υγρό επίπεδο,  $q_{sd}$  είναι η διαφορά της πυκνότητας νερού-ατμού
- $q_{cd}$  είναι η ροή συμπύκνωσης.
- Τέλος η μεταβλητή  $V_t$  δηλώνει τον συνολικό όγκο νερού και ατμού στο τύμπανο του boiler, δηλαδή  $V_t = V_{st} + V_{wt}$ .
- Η μεταβλητή  $V_r$  δηλώνει τον όγκο των μετώπων του boiler .
- Η μεταβλητή  $m_r$  δηλώνει τη συνολική μάζα των μετώπων του boiler.

Οι διεθνείς μονάδες μέτρησης σύμφωνα με την αναφορά [1] για τα μεγέθη που εμφανίζονται στις εξισώσεις (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) και (3.5) είναι : Pa (Pascal) = 1N/m<sup>2</sup> για την πίεση, m<sup>3</sup> για τον όγκο, Joule = 1N\*m για την θερμότητα, βαθμοί K (Kelvin) για την θερμοκρασία, Kg για τη μάζα. Η ενθαλπία έχει μονάδα μέτρησης την KJ/Kg. Τόσο η τροφοδοσία νερού (feedwater) όσο και η ροή ατμού (steam flow), έχουν μονάδα μέτρησης Kg/sec.

Επιπλέον, το σύστημα υπόκειται σε κάποιους αλγεβρικούς περιορισμούς, οι οποίοι είναι :

$$\bullet \quad \frac{1}{2}kq_{dc}^2 = \rho_w A_{dc} (\rho_w - \rho_s) g \bar{a}_v V_r \quad (3.6)$$

$$\bullet \quad q_{sd} = \frac{\rho_s}{T_d} (V_{sd} - V_{sd}^0) + a_r q_{dc} + a_r \beta (q_{dc} - q_r) \quad (3.7)$$

$$\bullet \quad l = \frac{V_{wd} - V_{sd}}{A_d} = l_w + l_s \quad (3.8)$$

$$\bullet \quad V_t = V_{st} + V_{wt} \quad (3.9)$$

$$\bullet \quad V_{wd} = V_{wt} - V_{dc} - (1 - \bar{a}_v) V_r \quad (3.10)$$

$$\bullet \quad \begin{aligned} q_r &= q_{dc} - \frac{d}{dt} (\rho_s \bar{a}_v V_r) - \frac{d}{dt} (\rho_w (1 - \bar{a}_v) V_r) = q_{dc} - V_r \frac{d}{dt} (1 - \bar{a}_v) \rho_w + \bar{a}_v \rho_s \\ &= q_{dc} - V_r \frac{d}{dt} (\rho_w - \bar{a}_v (\rho_w - \rho_s)) \end{aligned} \quad (3.11)$$

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η εξίσωση (3.6) μας δίνει το ποσοστό της ροής κυκλοφορίας  $q_{dc}$  από τη στατική ισορροπία ορμής, το ποσοστό της ροής του ατμού μέσω της υγρής επιφάνειας του τυμπάνου  $q_{sd}$  δίνεται από τη σχέση (3.7), και το επίπεδο των τυμπάνων από την εξίσωση (3.8). Οι όγκοι συσχετίζονται μέσω των εξισώσεων (3.9) και (3.10).

Επειδή τα παραπάνω μεγέθη είναι δύσκολα στο χειρισμό τους η αναφορά [2] καταλήγει σε ένα απλοποιημένο μοντέλο διαφορικών εξισώσεων, οι οποίες είναι :

$$e_{11} \frac{dV_{wt}}{dt} + e_{12} \frac{dp}{dt} = q_f - q_s \quad (3.12)$$

$$e_{21} \frac{dV_{wt}}{dt} + e_{22} \frac{dp}{dt} = Q + q_f h_f - q_s h_s \quad (3.13)$$

$$e_{32} \frac{dp}{dt} + e_{33} \frac{da_r}{dt} = Q - a_r h_c q_{dc} \quad (3.14)$$

$$e_{42} \frac{dp}{dt} + e_{43} \frac{da_r}{dt} + e_{44} \frac{dV_{sd}}{dt} = \frac{\rho_s}{T_d} (V_{sd}^0 - V_{sd}) + \frac{h_f - h_w}{h_c} q_f \quad (3.15)$$



όπου,

$$e_{11} = \rho_w - \rho_s \quad (3.16)$$

$$e_{12} = V_{wt} \frac{\partial \rho_w}{\partial p} + V_{st} \frac{\partial \rho_s}{\partial p} \quad (3.17)$$

$$e_{21} = \rho_w h_w - \rho_s h_s \quad (3.18)$$

$$e_{22} = V_{wt} (h_w \frac{\partial \rho_w}{\partial p} + \rho_w \frac{\partial h_w}{\partial p}) + V_{st} (h_s \frac{\partial \rho_s}{\partial p} + \rho_s \frac{\partial h_s}{\partial p}) - V_t + m_t C_p \frac{\partial t_s}{\partial p} \quad (3.19)$$

$$e_{32} = (\rho_w \frac{\partial h_w}{\partial p} - a_r h_c \frac{\partial \rho_w}{\partial p})(1 - \bar{a}_v) \sigma V_r + ((1 - \bar{a}_v) h_c \frac{\partial \rho_s}{\partial p} + \rho_s \frac{\partial h_s}{\partial p}) \bar{a}_v V_r \\ + (\rho_s + (\rho_w - \rho_s) a_r) h_c V_r \frac{\partial \bar{a}_v}{\partial p} - V_r + m_r C_p \frac{\partial t_s}{\partial p} \quad (3.20)$$

$$e_{33} = ((1 - a_r) \rho_s + \alpha_r \rho_w) h_c V_r \frac{\partial \bar{a}_v}{\partial a_r} \quad (3.21)$$

$$e_{42} = V_{sd} \frac{\partial \rho_s}{\partial p} + \frac{1}{h_c} (\rho_s V_{sd} \frac{\partial h_s}{\partial p} + \rho_w V_{wd} \frac{\partial h_w}{\partial p} - V_{sd} - V_{wd} + m_d C_p \frac{\partial t_s}{\partial p}) \\ + a_r (1 + \beta) V_r (\bar{a}_v \frac{\partial \rho_s}{\partial p} + (1 - \bar{a}_v) \frac{\partial \rho_w}{\partial p} + (\rho_s - \rho_w) \frac{\partial \bar{a}_v}{\partial p}) \quad (3.22)$$

$$e_{43} = a_r (1 + \beta) (\rho_s - \rho_w) V_r \frac{\partial \bar{a}_v}{\partial a_r} \quad (3.23)$$

$$e_{44} = \rho_s \quad (3.24)$$

Τα  $e_{11}$ ,  $e_{12}$ ,  $e_{21}$ ,  $e_{22}$ ,  $e_{32}$ ,  $e_{33}$ ,  $e_{42}$ ,  $e_{43}$ ,  $e_{44}$  υπολογίζονται από τους πίνακες ατμού του μοντέλου boiler.

Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι ότι απαιτεί λίγες παραμέτρους για την λειτουργία του . Αυτές είναι :

- ο όγκος του τυμπάνου του boiler  $V_d$ ,
- ο όγκος των μετώπων του boiler  $V_r$ ,
- ο όγκος  $V_{dc}$ ,
- η περιοχή του τυμπάνου του boiler  $A_d$  σε κανονικές συνθήκες ,
- η συνολική μάζα των μετάλλων  $m_t$ ,
- η συνολική μάζα των μετώπων του boiler  $m_r$ ,

- η τριβή  $k$ ,
- ο χρόνος παραμονής του ατμού στο boiler  $T_d$ ,
- ο εμπειρικός συντελεστής  $\beta$ .

Οι παραπάνω παράμετροι παίρνουν κάποιες συγκεκριμένες τιμές στο Σουηδικό μοντέλο boiler, αλλά και στο μοντέλο boiler από την Αυστραλία, οι οποίες είναι οι παρακάτω:

- $V_d = 40 \text{ m}^3$
- $V_r = 37 \text{ m}^3$
- $V_{dc} = 11 \text{ m}^3$
- $A_d = 20 \text{ m}^2$
- $m_t = 300000 \text{ kg}$
- $m_r = 160000 \text{ kg}$
- $k = 25$
- $\beta = 0,3$
- $T_d = 12 \text{ sec}$

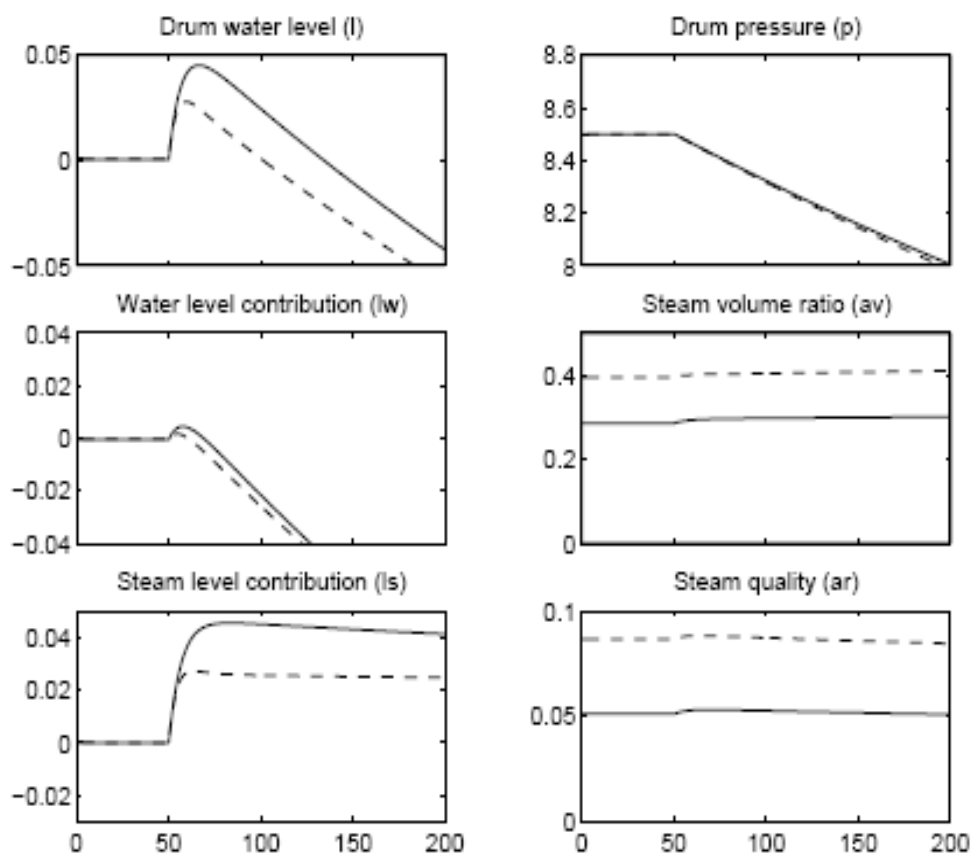
### 3.5. Αξιοπιστία του μοντέλου boiler

Ένα μεγάλο μέρος των μετρήσεων βασίστηκε στα πειράματα των εγκαταστάσεων που έγιναν στη μονάδα P16-G16 της Σουηδίας. Για να εξασφαλίσουμε ότι οι κρίσιμες μεταβλητές όπως η στάθμη του νερού των τυμπάνων δεν ξεπέρασαν τα όρια ασφαλείας, κάναμε τη διόρθωση περιστασιακά. Δηλαδή διάφορες εισαγωγές άλλαξαν σε κάθε πείραμα. Το ποσοστό του ατμού άλλαξε ως απάντηση στις αλλαγές πίεσης σε όλα τα πειράματα επειδή ήμασταν ανίκανοι να το ελέγξουμε στενά αναφέρουν οι συγγραφείς της αναφοράς [3].

Ένας μεγάλος αριθμός σημάτων καταγράφηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Αυτό αποδείχθηκε πολύ χρήσιμο γιατί είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία για έναν πολύ μεγάλο αριθμό ερευνών. Τα πειράματα εκτελέστηκαν τόσο στο υψηλό όσο και στο μέσο φορτίο. Στη δική μας μελέτη έχουμε χρησιμοποιήσει τα στοιχεία όπου 3 μεταβλητές (fuel flow rate, feedwater flow rate και steam flow rate ) άλλαξαν.

Αυτό δίνει ένα σύνολο 6 πειραμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επικυρώσουν το μοντέλο του boiler.

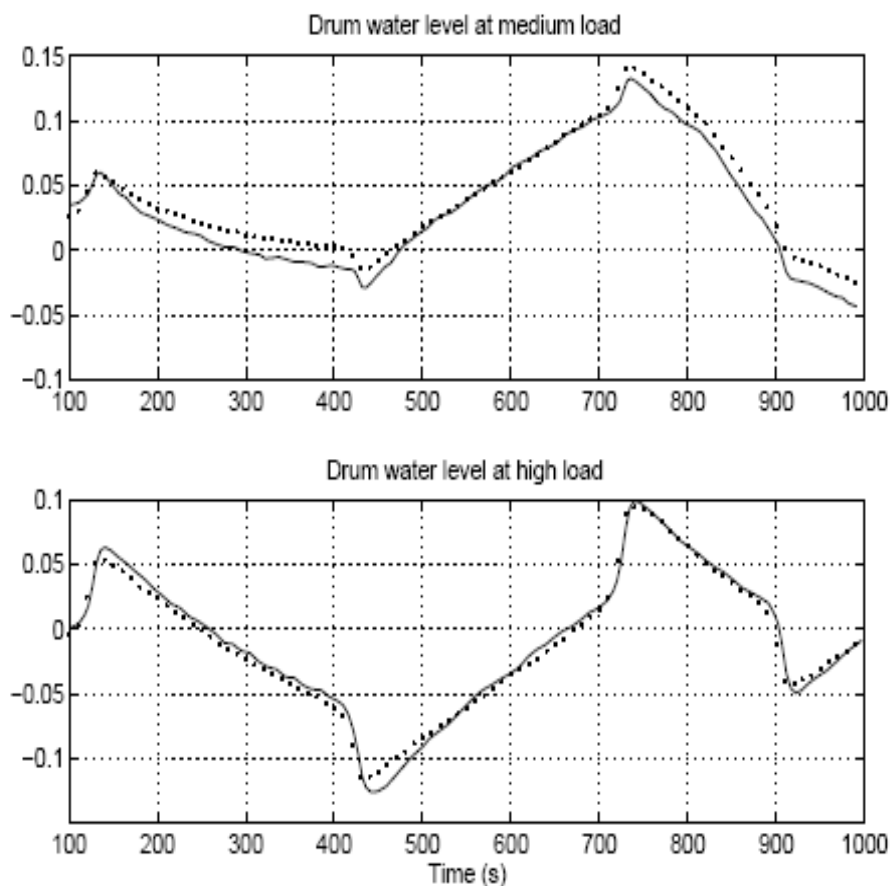
Έστω ότι η ροή ατμού (steam flow) είναι 10Kg/sec. Φαίνεται τότε στο σχήμα 1.5. πώς επηρεάζονται κάποιες από τις μεταβλητές του μοντέλου του boiler. Αυτό συμβαίνει όταν αναφερόμαστε στο μεσαίο φορτίο(συνεχής γραμμή) αλλά και στο υψηλό(τελείες). Παρατηρούμε ότι οι συνεισφορές από τους όγκους του νερού και του ατμού έχουν τις ίδιες τιμές αρχικά. Ο όγκος του νερού όμως, θα μειωθεί λόγω της ροής ατμού (steam flow).



Σχήμα 3.5. Μεταβολή μεταβλητών με ροή ατμού (steam flow) 10Kg/sec για μεσαίο (συνεχής γραμμή) και υψηλό φορτίο(τελείες) .

Στο σχήμα 3.6 γίνεται η σύγκριση της συμπεριφοράς της στάθμης του νερού στο τύμπανο (drum water level) με τις διαταραχές που μπορεί να υπάρχουν στο ποσοστό της ροής του ατμού(steam flow) τόσο στο μεσαίο όσο και στο υψηλό φορτίο. Η πρότυπη απάντηση παρουσιάζεται με τις συνεχόμενες γραμμές και τα στοιχεία των εγκαταστάσεων υποδεικνύονται από τα σημεία. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν μικρές

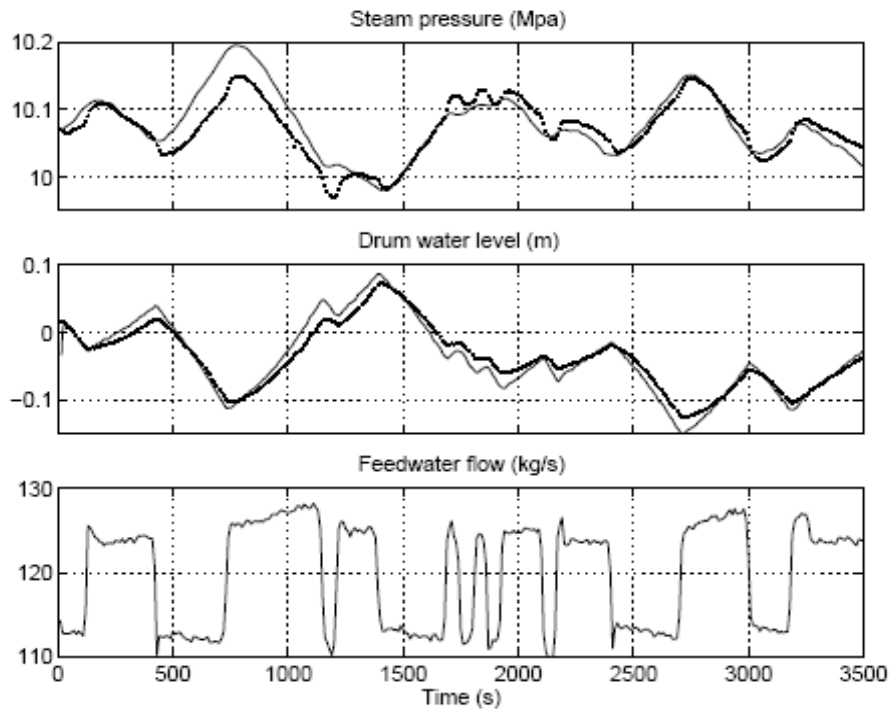
μετατοπίσεις στα επίπεδα των σημάτων. Γενικότερα όμως το μοντέλο μας σε σχέση με τις μετρήσεις του πειράματος συμπεριφέρεται πολύ καλά.



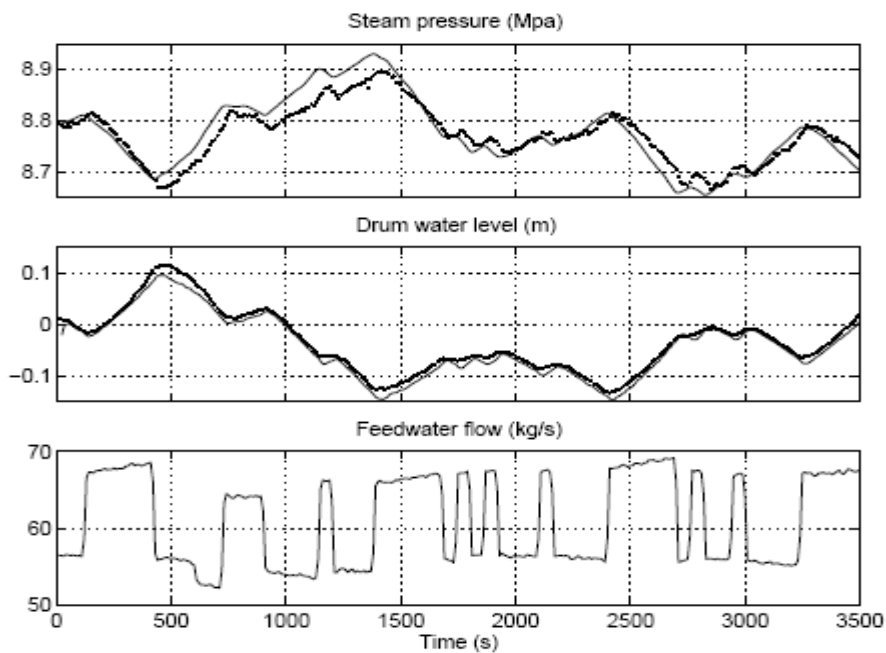
Σχήμα 3.6. Σύγκριση στάθμης νερού στο τύμπανο και ποσοστού ατμού(steam flow) στα μεσαία και υψηλά φορτία.

Στο σχήμα 3.7 φαίνεται η σύγκριση του προτύπου (συνεχής γραμμή) και των στοιχείων των εγκαταστάσεων (τελείες) για τις διαταραχές που υπάρχουν στην τροφοδοσία νερού (feedwater) και στο ποσοστό της ροής ατμού στο υψηλό φορτίο, ενώ το σχήμα 3.8 μας παρουσιάζει την ίδια σύγκριση αλλά στο μεσαίο φορτίο. Παρατηρώντας το σχήμα 3.7 βλέπουμε ότι αν εξαιρέσουμε την περιοχή από 500 sec ως 1500 sec όπου υπάρχουν μικρές αλλαγές στην πίεση γενικότερα τα αποτελέσματα θεωρούνται επαρκή. Στο σχήμα 3.8 παρατηρούμε ότι υπάρχουν κάποιες αποκλίσεις στην πίεση του τυμπάνου για χρόνο από 400 sec ως και 1400 sec και παρ' όλα αυτά

οι συνολικές στην πίεση όμως είναι μικρές. Στις τιμές του χρόνου από 1500 sec ως 2000 sec φαίνεται η καλή συμπεριφορά του μοντέλου boiler.



Σχήμα 3.7. Σύγκριση τροφοδοσίας νερού (feedwater) στο υψηλό φορτίο μεταξύ προτύπου(συνεχής γραμμή) και στοιχείων εγκαταστάσεων (τελείες).

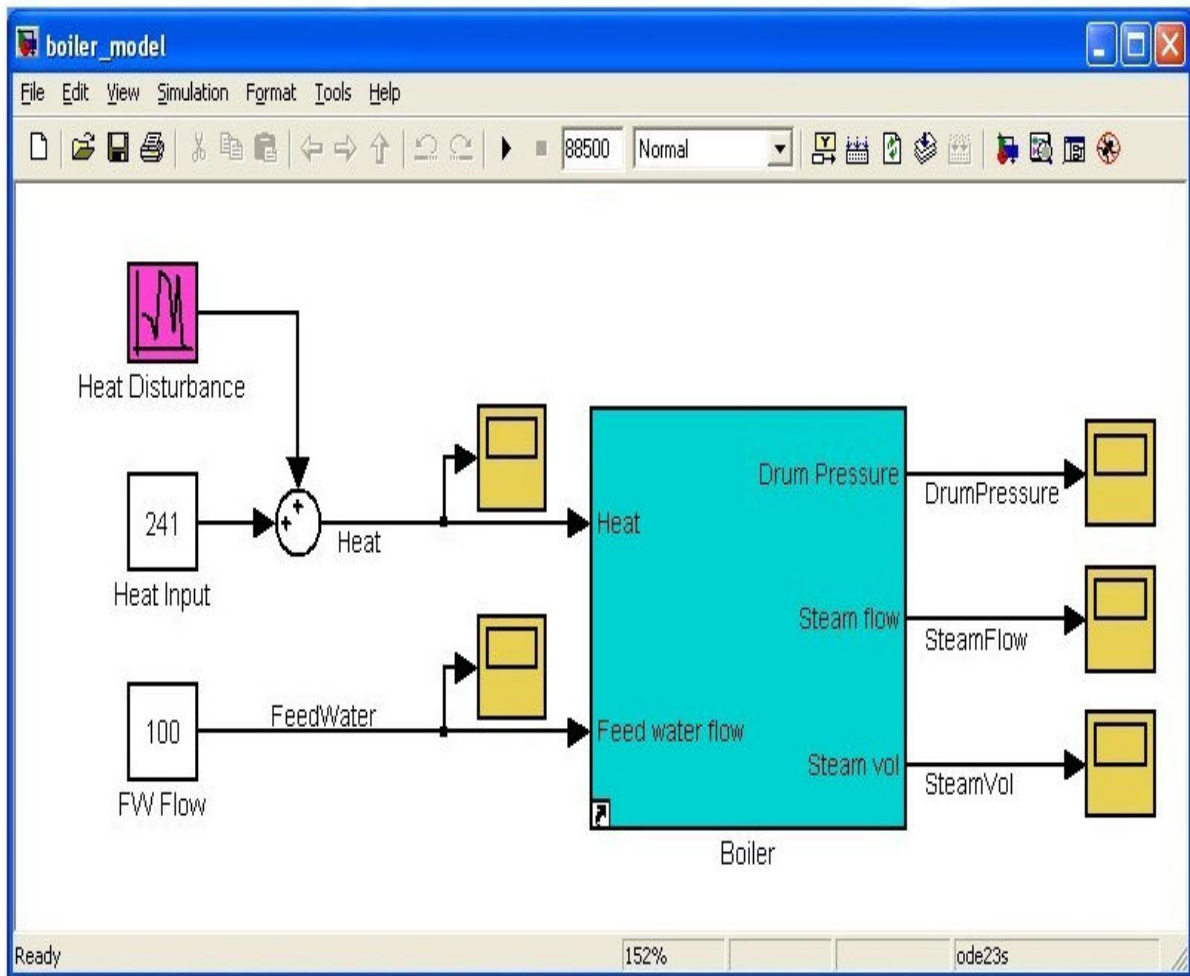


Σχήμα 3.8. Σύγκριση τροφοδοσίας νερού (feedwater) στο μεσαίο φορτίο μεταξύ προτύπου(συνεχής γραμμή) και στοιχείων εγκαταστάσεων (τελείες).

### 3.6 Το μοντέλο του boiler στο Simulink

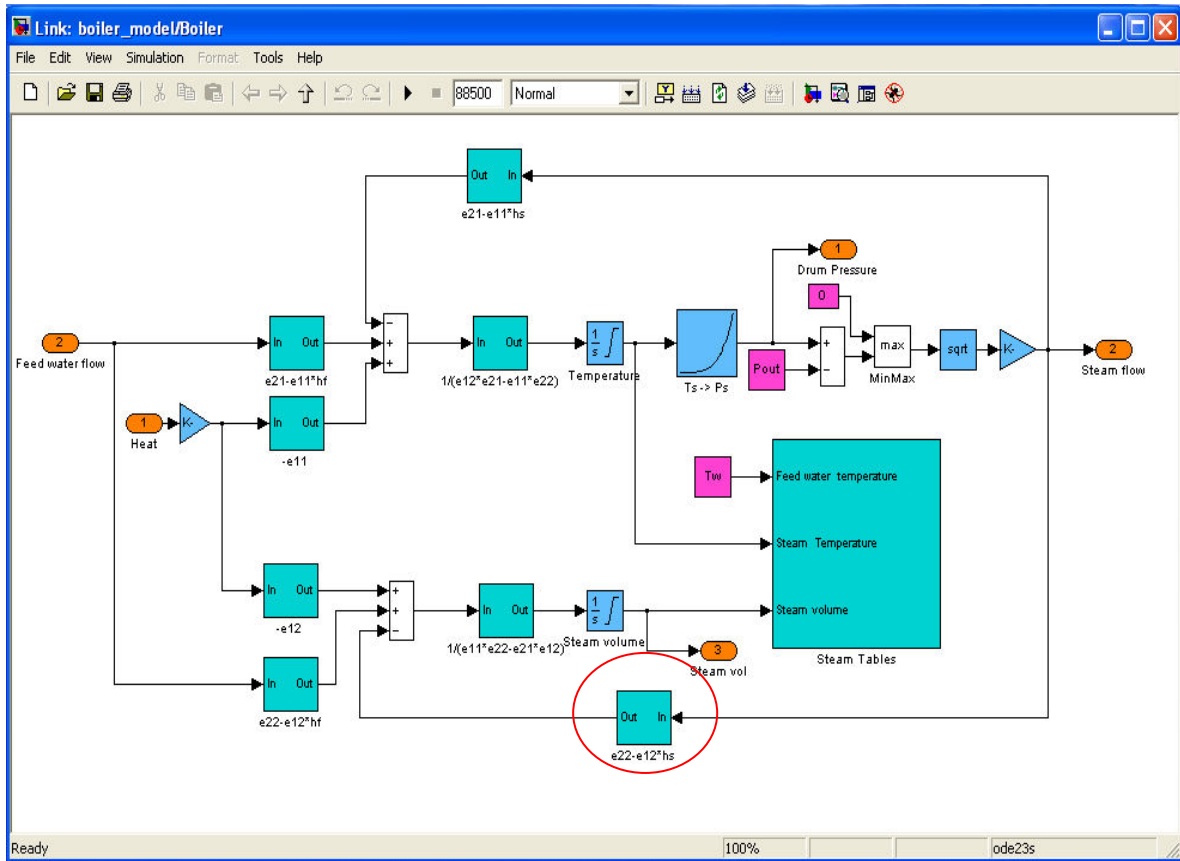
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το μοντέλο του boiler που θα μελετήσουμε, βασίζεται στα πρότυπα μοντέλα των εταιρειών P16-G16 και ERARING τα οποία δημιουργήθηκαν με βάση το μοντέλο των Åström - Bell. Το μοντέλο του boiler στο Simulink έχει σχεδιαστεί από τον Tony Lennon με σκοπό την ανάπτυξη ενός προτύπου ελεγκτή που συνδέεται με το boiler, χρησιμοποιώντας έναν OPC Server. (<http://www.MathWorks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=8025&objectType=file>)

Το μοντέλο του boiler, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 3.9 αποτελείται από δύο εισόδους και τρεις εξόδους. Οι εισόδοι του είναι η θερμοκρασία (heat) και η τροφοδοσία νερού (feedwater flow). Οι εξόδοι του μοντέλου είναι η πίεση των τυμπάνων του boiler (Drum Pressure), η πίεση του ατμού (Steam Flow) και ο όγκος του ατμού (Steam Vol).



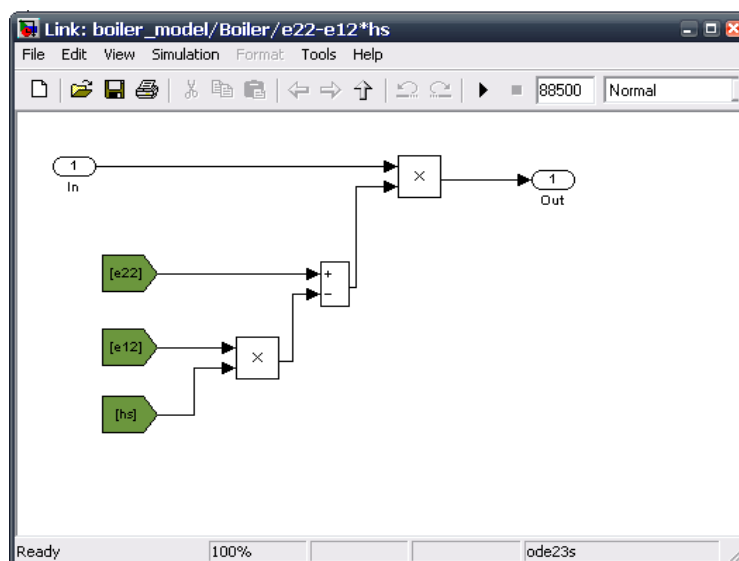
Σχήμα 3.9 Το μοντέλο του boiler

Το μοντέλο του boiler, όπως έχει σχεδιαστεί στο Simulink, με τις δύο εισόδους και τις τρεις εξόδους του, καθώς και με όλες τις μεταβλητές που το αποτελούν φαίνεται στο σχήμα 3.10 .



Σχήμα 3.10 Το μοντέλο του boiler στο Simulink.

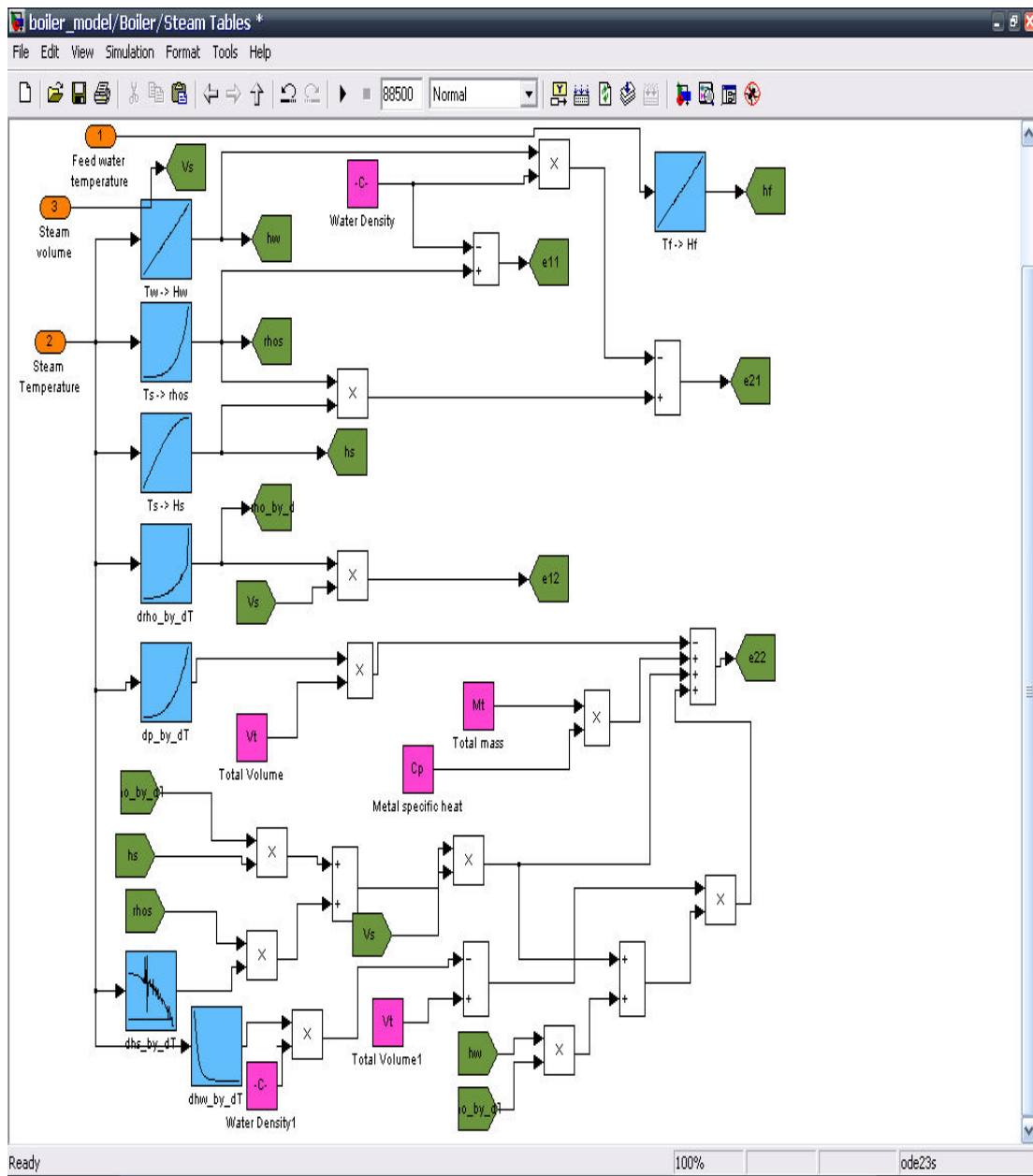
Αν στο εικονίδιο που βρίσκεται στον κόκκινο κύκλο του σχήματος 3.10 επιλέξουμε δεξί κλικ και στη συνέχεια Open Block ανοίγει ένα παράθυρο που στην προκειμένη περίπτωση φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης των μεταβλητών  $e_{11}$ ,  $e_{12}$ .



Σχήμα 3.11 Σύνδεση μεταβλητών  $e_{11}$ ,  $e_{12}$ .

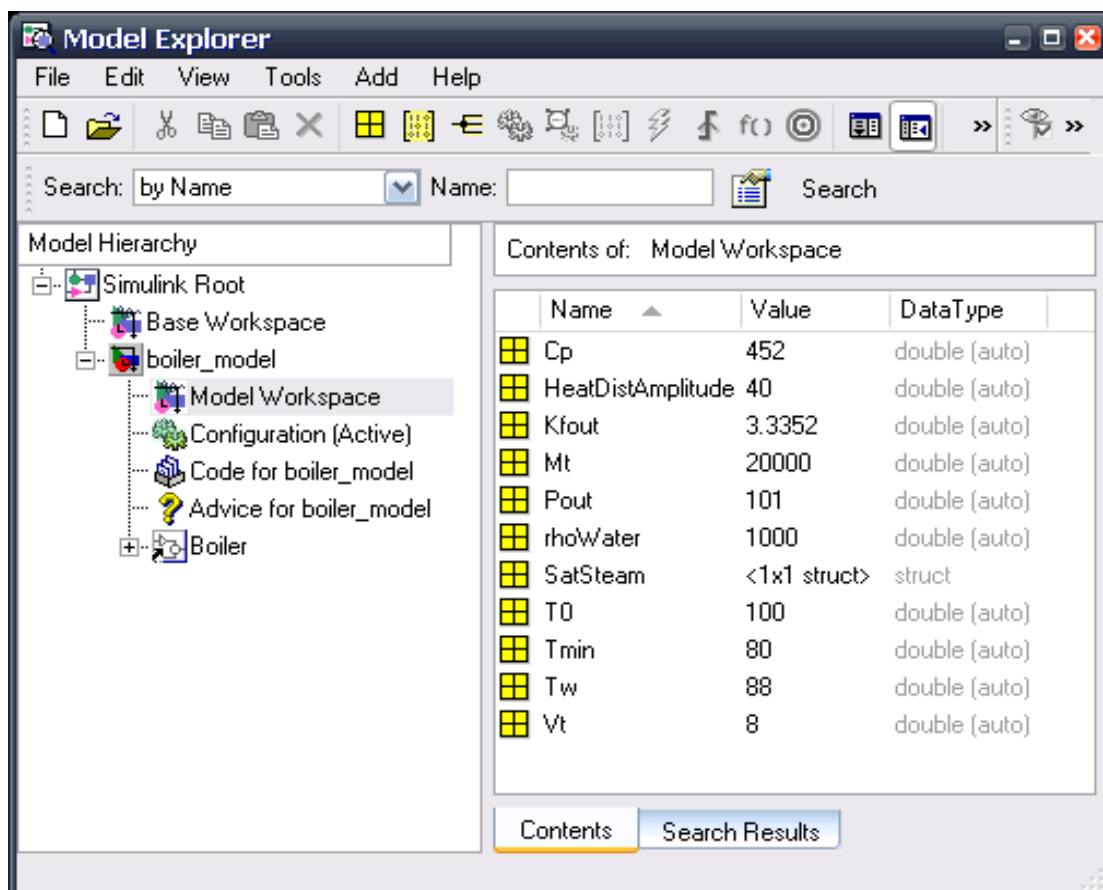


Στο Σχήμα 3.12, φαίνεται αναλυτικά η σχεδίαση των πινάκων ατμού (Steam Tables), που αποτελούν και την “καρδιά” του συστήματος του boiler και όπως αναφέρθηκε παραπάνω μέσω αυτών υπολογίζονται οι τιμές των μεταβλητών  $e_{11}$ ,  $e_{12}$ ,  $e_{21}$ ,  $e_{22}$ ,  $e_{32}$ ,  $e_{33}$ ,  $e_{42}$ ,  $e_{43}$ ,  $e_{44}$  που εμφανίζονται στις εξισώσεις (3.16) έως και (3.24).



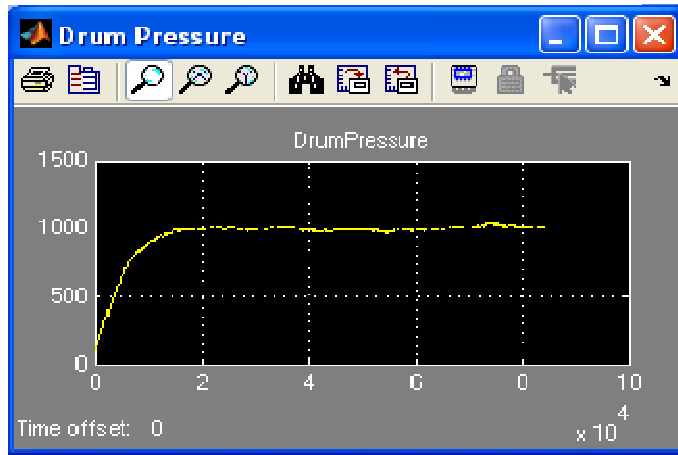
Σχήμα 3.12 Οι πίνακες Ατμού (Steam Tables)

Κάνοντας δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο του boiler και επιλέγοντας Explore ανοίγει ένα παράθυρο όπως φαίνεται στο σχήμα 3.13 στο οποίο εμφανίζονται οι αρχικές τιμές που έχουν δηλωθεί για το μοντέλο μας.

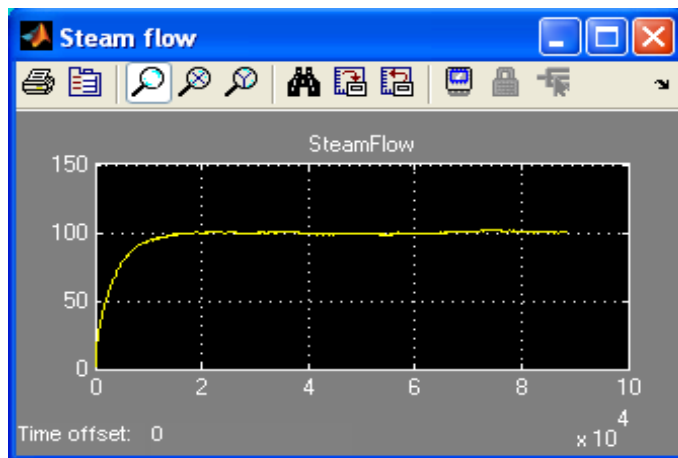


Σχήμα 3.13 Αρχικές τιμές μεταβλητών του μοντέλου boiler

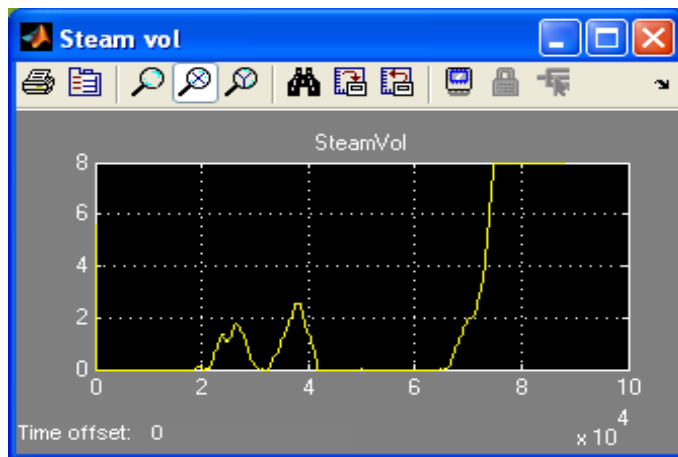
Όταν οι είσοδοι του μοντέλου του boiler στο Simulink είναι για την θερμοκρασία (heat) 141°C και για την τροφοδοσία νερού (feedwater flow) 200 m<sup>3</sup> τότε οι έξοδοι (drum pressure, steam flow, steam vol ) παίρνουν τιμές που φαίνονται στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις :



Σχήμα 3.14 Η μεταβλητή Drum Pressure

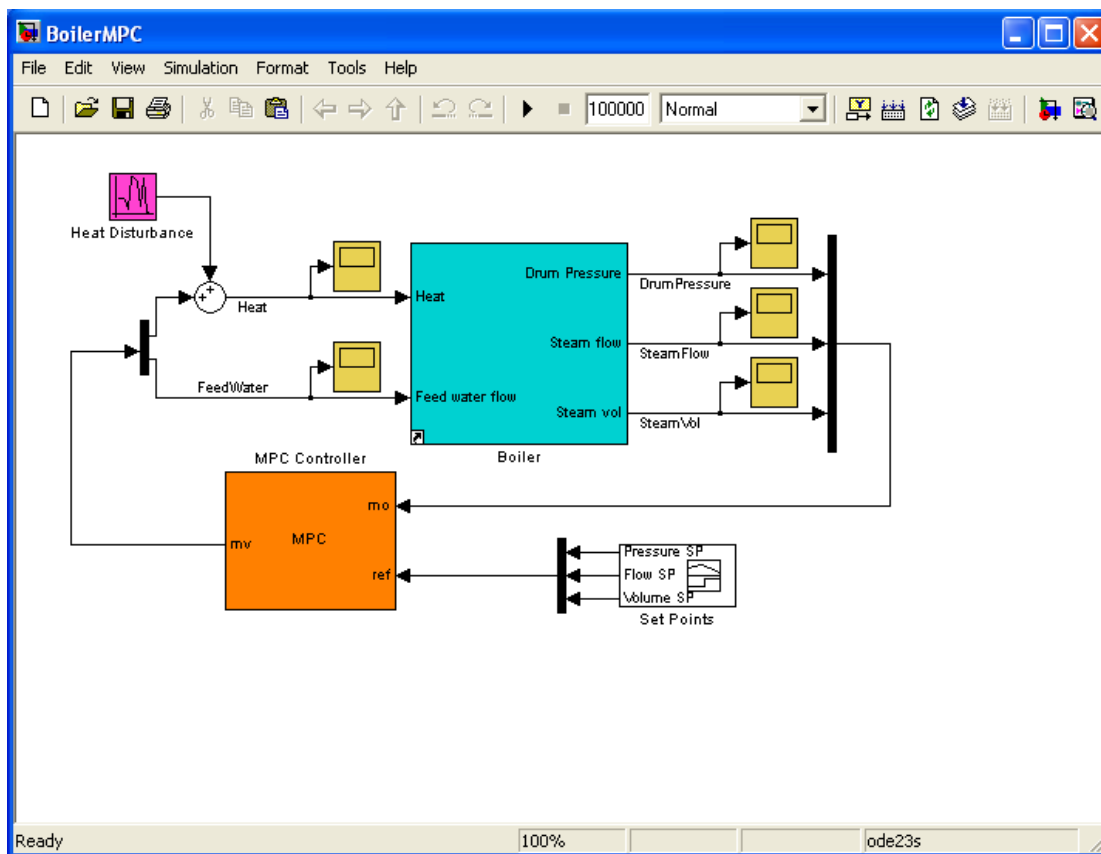


Σχήμα 3.15 Η μεταβλητή Steam Flow



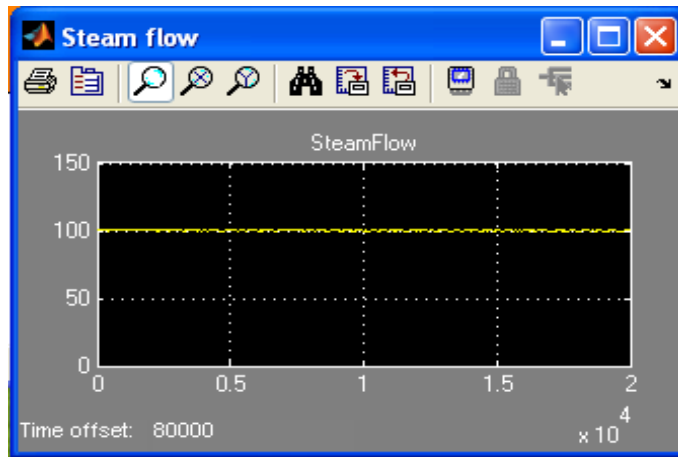
Σχήμα 3.16 Η μεταβλητή Steam vol

Στη συνέχεια στο μοντέλο του boiler με τις δυο εισόδους και τις τρεις εξόδους, προσθέτουμε και τον MPC (Model Predictive Control) ελεγκτή και το μοντέλο στο Simulink διαμορφώνεται όπως ακριβώς φαίνεται στο Σχήμα 3.17 .

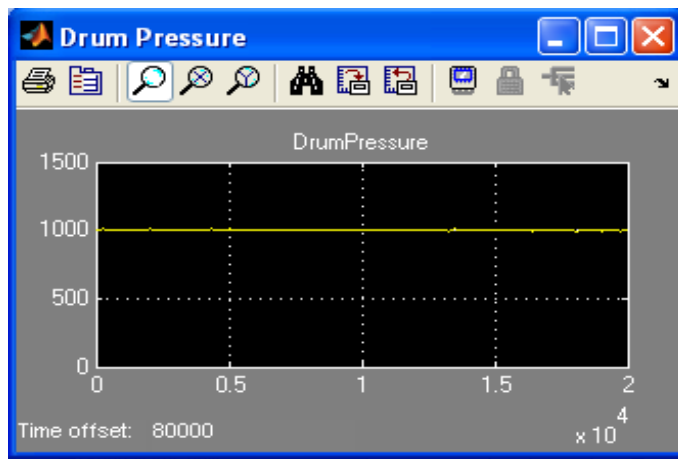


Σχήμα 3.17 Το μοντέλο του boiler με τον MPC ελεγκτή.

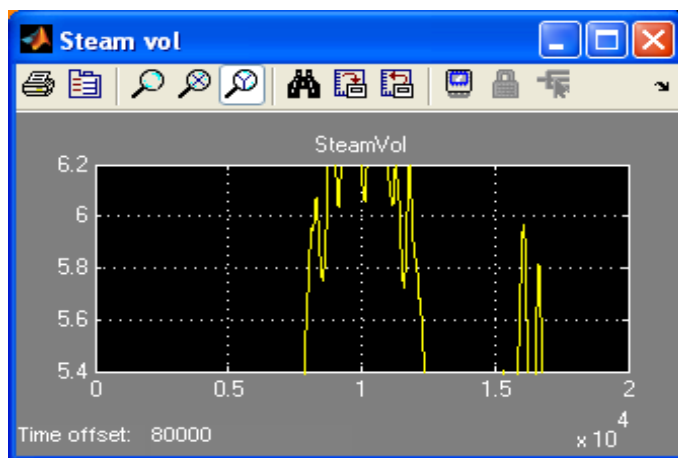
Εκτελώντας το μοντέλο αυτό με τη χρήση του MPC ελεγκτή , οι τιμές των μεταβλητών των εξόδων μεταβάλλονται . Πρέπει να επισημάνουμε ότι στο όλο σύστημα υπάρχει και η επίδραση του θορύβου (Heat Disturbance). Στα παρακάτω διαγράμματα μπορούμε να διακρίνουμε τις τιμές των μεταβλητών με την επίδραση του θορύβου.



Σχήμα 3.18 Η μεταβλητή Steam flow με χρήση του MPC ελεγκτή

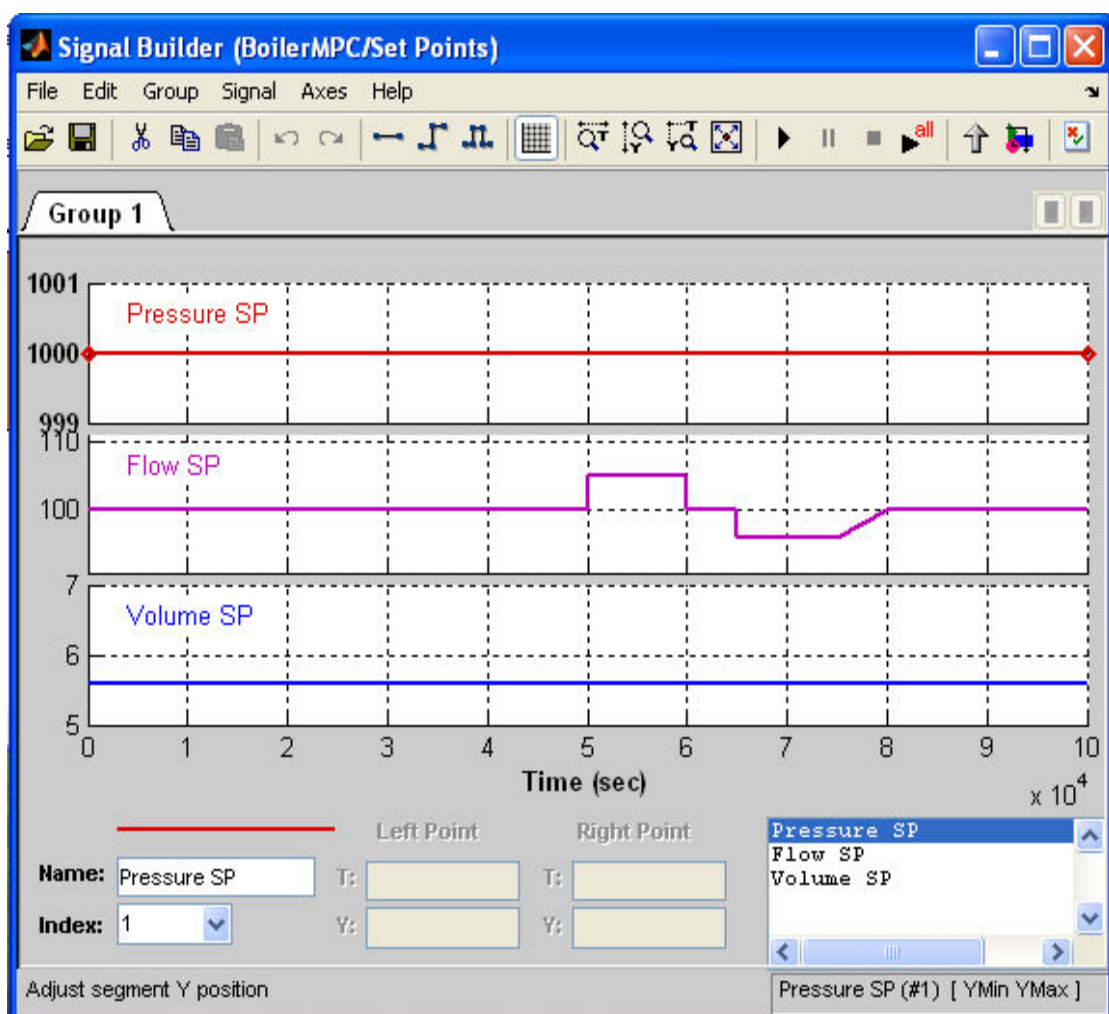


Σχήμα 3.19 Η μεταβλητή Drum Pressure με χρήση του MPC ελεγκτή



Σχήμα 3.20 Η μεταβλητή Steam vol με χρήση του MPC ελεγκτή

Στο σχήμα 3.21 φαίνεται ένα διάγραμμα όπου παρουσιάζονται οι επιθυμητές τιμές των εξόδων οι οποίες μπορούν να μεταβάλλονται από το χρήστη και να επιλέγονται οι κατάλληλες τιμές σύμφωνα με τις ανάγκες που προκύπτουν. Αξίζει να σημειωθεί ότι ουσιαστικά ως κύρια έξοδος του μοντέλου του boiler, θεωρείται η έξοδος steam flow (ροή ατμού) με επόμενη σημαντικότερη αυτή της πίεσης των τοιχίων του boiler (drum pressure). Στην τρίτη και τελευταία έξοδο που αφορά στον όγκο του ατμού (steam Vol) που παράγεται, δεν δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα όπως φαίνεται άλλωστε και από το σχήμα 3.20.



Σχήμα 3.21 Διάγραμμα επιθυμητών τιμών εξόδων

Επόμενο βήμα είναι ο σχεδιασμός ενός ασαφούς ελεγκτή που να διαχειρίζεται γρήγορα και αξιόπιστα όλες τις καταστάσεις που αφορούν τη λειτουργία ενός boiler ατμού. Το γεγονός ότι ένα τέτοιο σύστημα δεν αποτελεί μέρος της καθημερινότητας των ανθρώπων καθώς και ο σύνθετος τρόπος λειτουργίας του δυσκολεύουν την κατανόηση του προβλήματος που οδηγεί στη σχεδίαση του ελεγκτή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΣΑΦΗ ΕΛΕΓΚΤΗ

#### 4.1 Ο Στόχος του ελέγχου

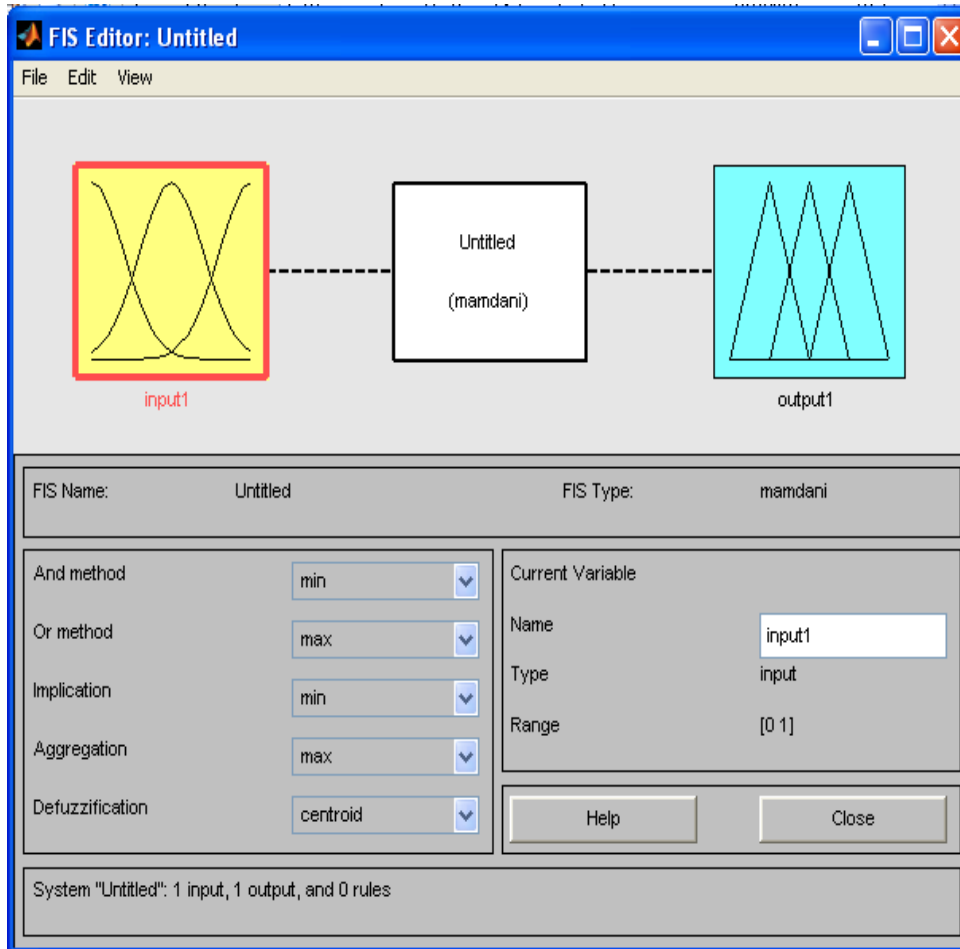
Το μοντέλο του boiler για το οποίο επιθυμούμε να σχεδιάσουμε τον ασαφή ελεγκτή πρόκειται για ένα μη γραμμικό μοντέλο, που αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχουν συγκεκριμένες μαθηματικές εξισώσεις που να το περιγράφουν. Ο τρόπος λειτουργίας ενός boiler είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και οι κανόνες λειτουργίας του δεν είναι γνωστοί εκ των προτέρων. Άρα ζητείτε ένας μηχανισμός που μπορεί να παίρνει αποφάσεις με ελλιπή στοιχεία, κάτι που η ασαφής λογική αποδεικνύεται ότι μπορεί να κάνει. Στόχος του ελεγκτή μας είναι να μπορεί να παράγει την ροή ατμού που του ζητάμε ελέγχοντας την παροχή υγρού (feedwater) και την θερμότητα (heat) που διοχετεύεται στο boiler. Το μόνο που γνωρίζουμε για την ελεγχόμενη διαδικασία είναι ότι αν η επιθυμητή πίεση των τοιχίων του boiler ανέβει πάνω από ένα όριο υπάρχει κίνδυνος. Έμμεσα γνωρίζουμε συνεπώς το πρόσημο το πρόσημο της διαδικασίας. Από τις διαστάσεις του δοχείου, της τομής της οπής παροχής νερού κλπ θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε τη χρονική σταθερά της διαδικασίας, αλλά εδώ ας θεωρήσουμε ότι δεν υπάρχουν οι πληροφορίες αυτές. Επιπλέον θα πρέπει να αποφεύγονται καταστάσεις όπως η πίεση του boiler να είναι πάνω από ένα όριο κλπ. Ο ελεγκτής θα πρέπει επιπρόσθετα να παρουσιάζει καλή συμπεριφορά σε εξωτερικές διαταραχές και θόρυβο και όλα αυτά να επιτυγχάνονται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

#### 4.2 Σχεδίαση Του Ασαφή Ελεγκτή Του Συστήματος

Μετά την παρουσίαση του μοντέλου του boiler ,ακολουθεί η σχεδίαση του ελεγκτή. Ο ασαφής ελεγκτής (fuzzy controller) σχεδιάζεται με ένα ειδικό πρόγραμμα που υπάρχει στο πακέτο του λογισμικού Matlab και ονομάζεται Fuzzy Editor .

Με την εντολή Fuzzy του MATLAB ανοίγουμε τον FIS Editor, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1, που μας επιτρέπει να σχεδιάσουμε έναν ασαφή ελεγκτή.

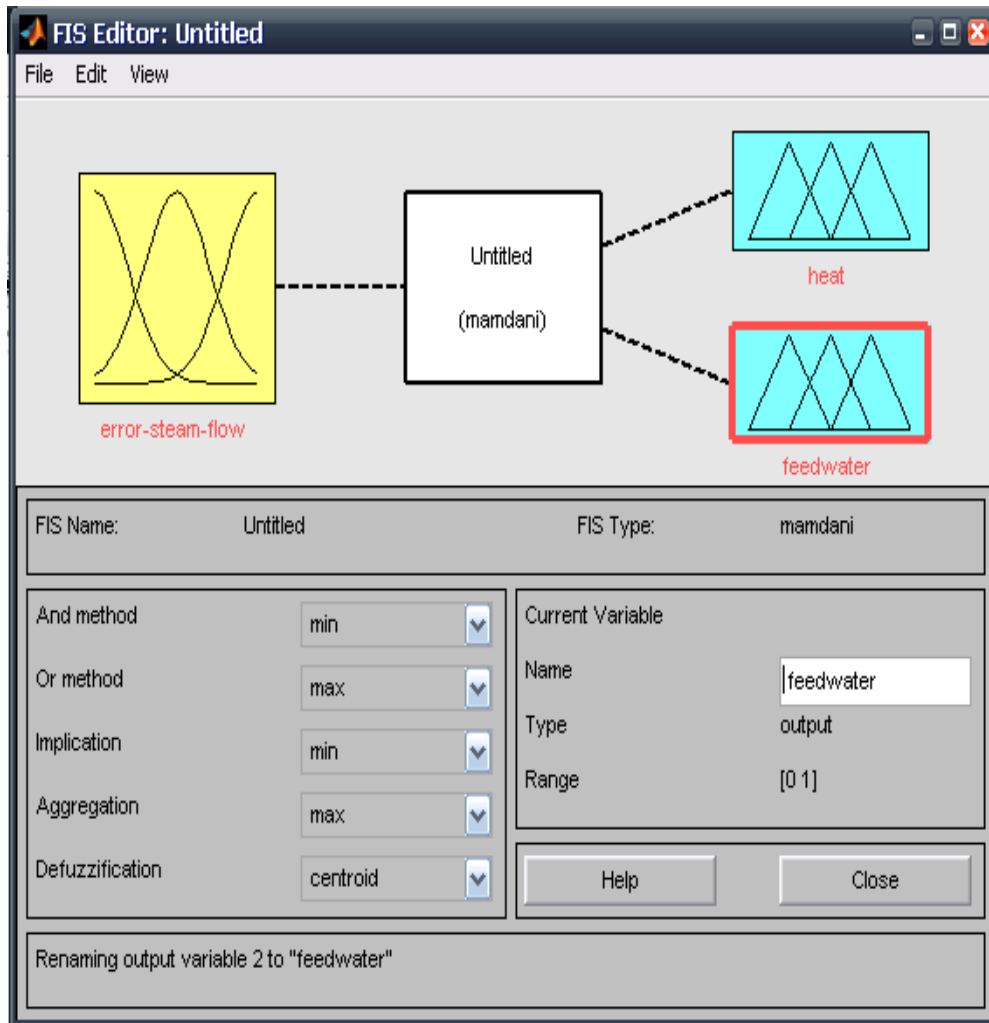




Σχήμα 4.1 Άνοιγμα FIS Editor

#### 4.2.1 Σχεδίαση ελεγκτή μιας εισόδου και δυο εξόδων

Μετά από αρκετές μελέτες και δοκιμές καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ο ελεγκτής που θέλουμε να σχεδιάσουμε θα πρέπει να έχει μία είσοδο η οποία θα είναι το σφάλμα της ροής ατμού (error steam flow) και δύο εξόδους. Όταν λέμε σφάλμα ροής ατμού εννοούμε την διαφορά της επιθυμητής από την πραγματική τιμή. Οι εξόδοι θα είναι ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας (heat) και της τροφοδοσίας του νερού (feedwater) οι οποίες θα μεταβάλλονται ανάλογα με το μέγεθος του σφάλματος. Προσθέτουμε αρχικά μία είσοδο και δύο εξόδους, μέθοδο συμπερασμού αυτή του Mamdani, αποασαφοποιητή κέντρου βάρους (Defuzzification -> centroid) και ονομάζουμε κατάλληλα τις μεταβλητές μας.



Σχήμα 4.2 Ο Fis Editor για ελεγκτή μίας εισόδου και δύο εξόδων

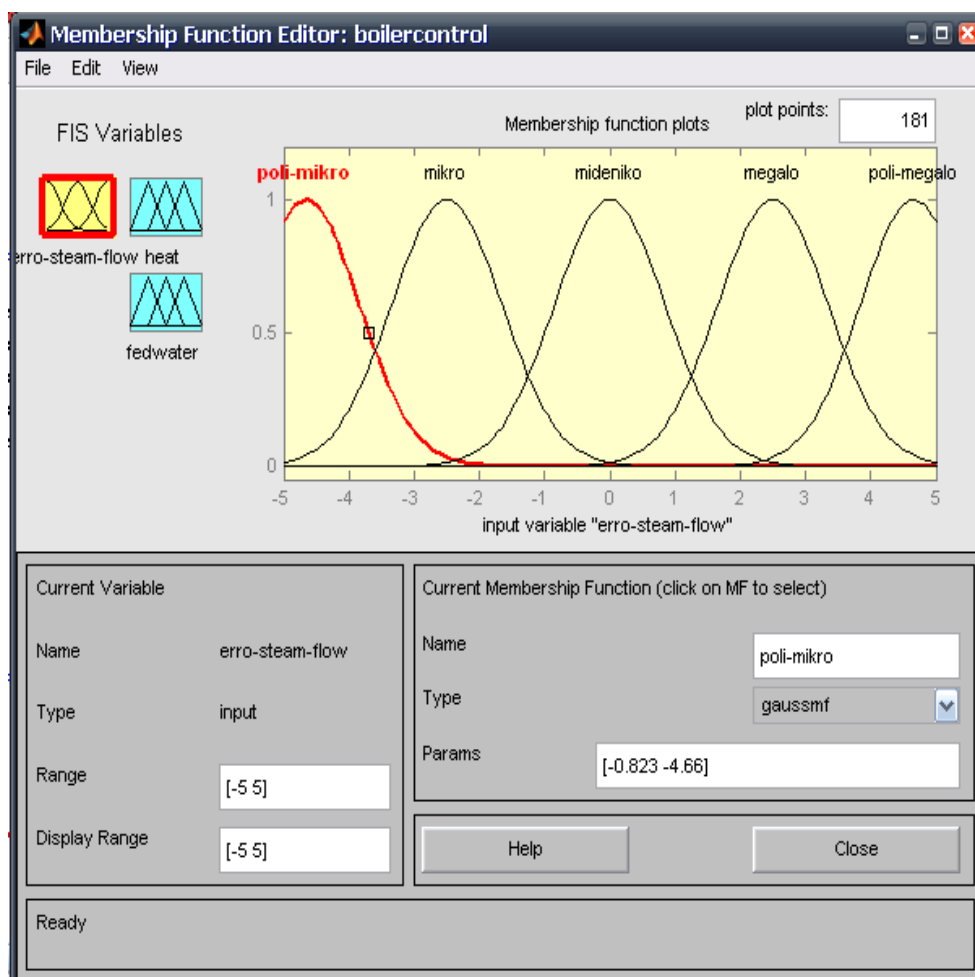
Η είσοδος είναι η *error-steam-flow* (σφάλμα ροής ατμού), ενώ οι εξόδοι με τη σειρά που φαίνονται στο παραπάνω σχήμα είναι *heat* (θερμοκρασία) και *feedwater* (τροφοδοσία νερού).

Τα υπερσύνολα αναφοράς είναι  $[-5 \ 5]$  για την είσοδο και  $[-5 \ 5]$  για τις εξόδους του συστήματος .

Στη συνέχεια έγιναν δοκιμές για την εύρεση του αριθμού και του τύπου των συναρτήσεων συμμετοχής της εισόδου και εξόδου, τον τρόπο που θα χρησιμοποιηθούν οι τελεστές AND και OR (εννοώντας αν χρησιμοποιηθούν ως *min* ή ως *prod* και ως *max* ή *probor* αντίστοιχα), την εύρεση της μεθόδου συνεπαγωγής, της μεθόδου της συνάθροισης και της μεθόδου από-ασαφοποίησης, που θα χρησιμοποιούνταν στον ελεγκτή για την καλύτερη ευστάθεια του συστήματος.

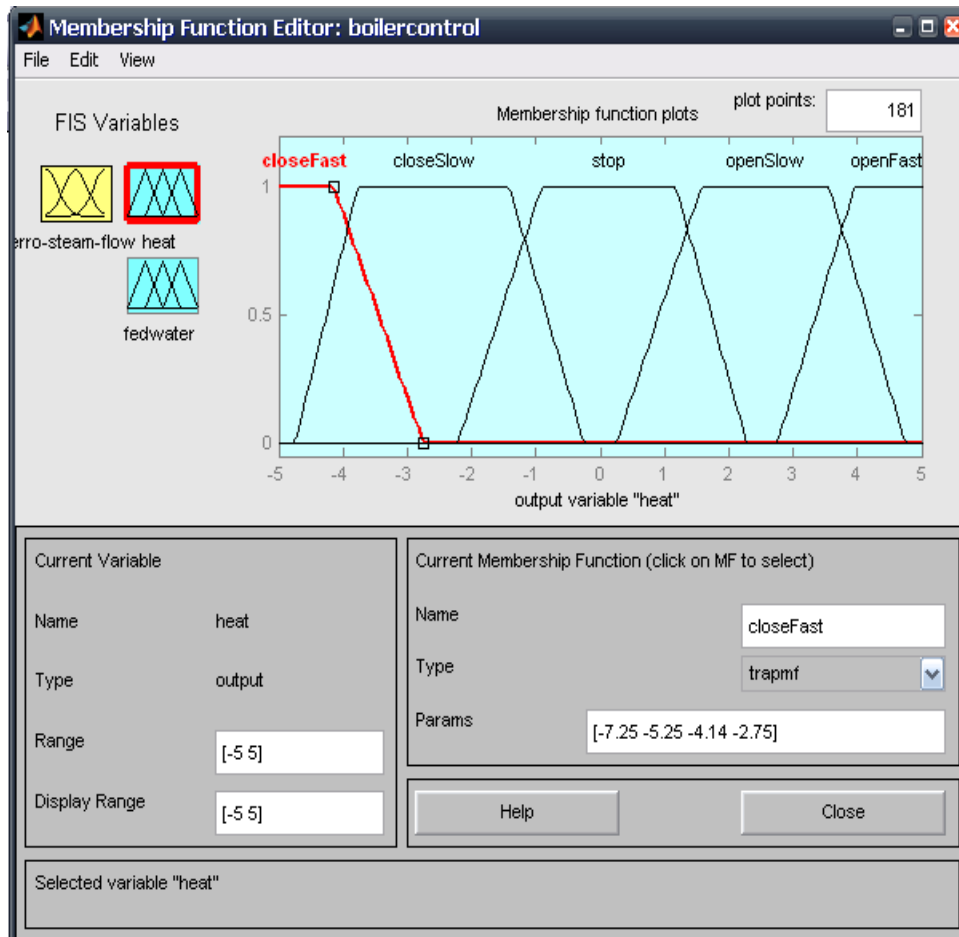
Έπειτα κάνοντας διπλό κλικ πάνω σε μια μεταβλητή ανοίγει ο Membership function editor. Προσθέτουμε σε κάθε μεταβλητή εισόδου τα κατάλληλα ασαφή

σύνολα, π.χ. "poli-mikro", "mikro", "mideniko", "megalo" και "poli-megalo", διαλέγοντας τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής. Πιο κάτω, Σχήμα 4.3, φαίνονται οι συναρτήσεις συμμετοχής της μεταβλητής error-steam-flow όπως σχεδιάστηκαν στο MAT LAB.



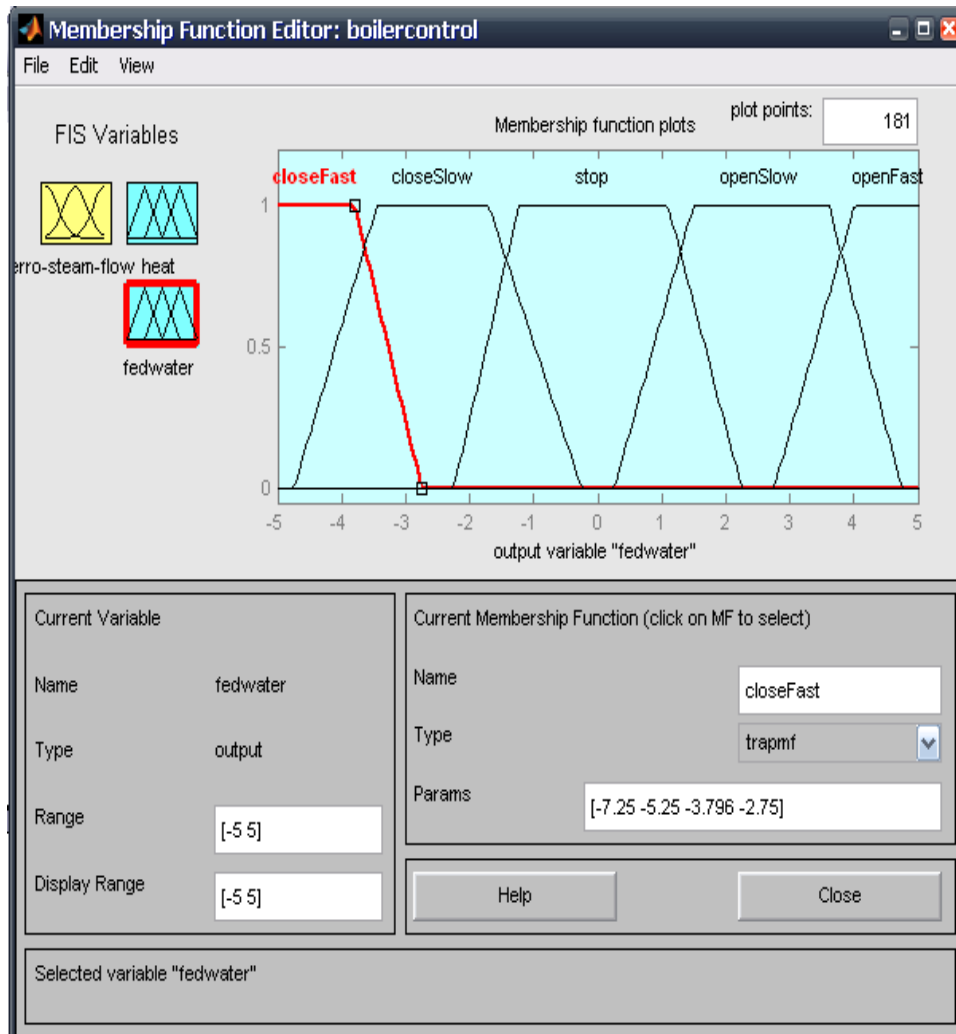
Σχήμα 4.3 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής error-Steam –Flow

Όσον αφορά την πρώτη έξοδο, δοκιμάζουμε να ορίσουμε πέντε ασαφή σύνολα, τα "close-fast", "close-slow", "stop", "open slow" και "open fast". Στο Σχήμα 4.4, φαίνονται οι συναρτήσεις συμμετοχής της μεταβλητής heat όπως σχεδιάστηκαν στο MAT LAB.



Σχήμα 4.4 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής heat

Όσον αφορά την δεύτερη έξοδο, δοκιμάζουμε να ορίσουμε πέντε ασαφή σύνολα, τα “close-fast”, ”close-slow”, ”stop”, ”open slow” και ”open fast”. Στο Σχήμα 4.5, φαίνονται οι συναρτήσεις συμμετοχής της μεταβλητής feedwater όπως σχεδιάστηκαν στο MAT LAB.



Σχήμα 4.5 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής feedwater

Αφού οριστούν όλα τα σύνολα, επόμενο βήμα, είναι ο ορισμός των λεκτικών κανόνων με βάση τους οποίους θα λειτουργεί ο ελεγκτής.

#### 4.2.2 Ορισμός λεκτικών κανόνων του ελεγκτή

Ας δοκιμάσουμε αρχικά να σχεδιάσουμε έναν ελεγκτή που λαμβάνει υπόψιν του μόνο την μεταβλητή error-steam-flow . Οι κανόνες που θα εφαρμοστούν είναι της μορφής :

**ΑΝ (error-steam-flow) ΕΙΝΑΙ (poli mikro) ΤΟΤΕ (heat) ΕΙΝΑΙ (close-fast) ΚΑΙ (feedwater) ΕΙΝΑΙ (close –fast).**

Αυτό μεταφράζεται ως εξής : ΑΝ το σφάλμα της επιθυμητής ροής ατμού είναι πολύ μικρό (δηλαδή αν η επιθυμητή ροή ατμού είναι πολύ μικρότερη από την πραγματική )

TOTE χαμήλωσε την θερμοκρασία πολύ γρήγορα και την τροφοδοσία του νερού επίσης πολύ γρήγορα.

**AN (error-steam-flow) EINAI (mikro) TOTE (heat) EINAI (close-slow) KAI (feedwater) EINAI (close-slow).**

Αυτό μεταφράζεται ως εξής : AN το σφάλμα της επιθυμητής ροής ατμού είναι μικρό (δηλαδή αν η επιθυμητή ροή ατμού είναι μικρότερη από την πραγματική ) TOTE χαμήλωσε την θερμοκρασία αργά και την τροφοδοσία του νερού επίσης αργά.

**AN (error-steam-flow) EINAI (mideniko) TOTE (heat) EINAI (stop) KAI (feedwater) EINAI (stop).**

Ο παραπάνω κανόνας μεταφράζεται ως εξής: AN το σφάλμα της επιθυμητής ροής ατμού είναι μηδενικό (δηλαδή αν η επιθυμητή ροή ατμού είναι περίπου ίση με την πραγματική) TOTE άφησε ακίνητη τόσο την θερμοκρασία όσο και την τροφοδοσία του νερού.

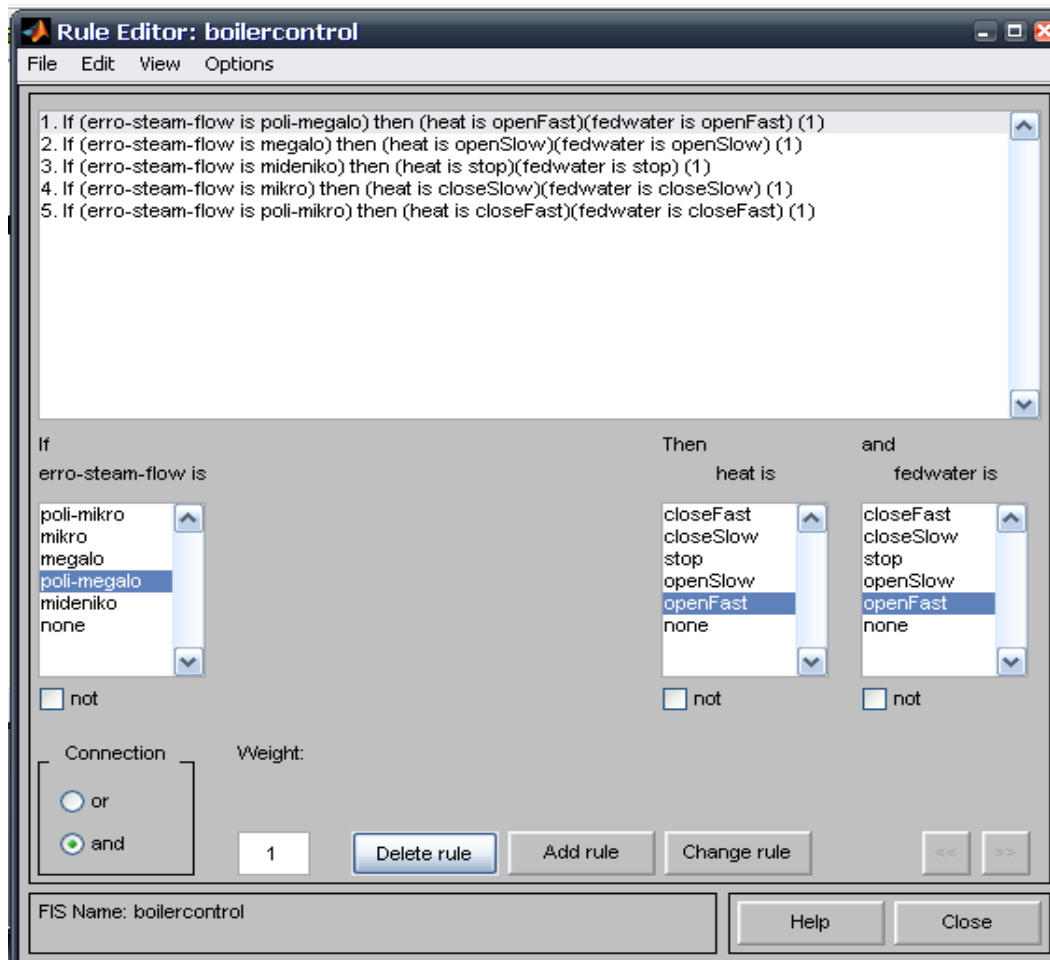
**AN (error-steam-flow) EINAI (megalo) TOTE (heat) EINAI (open-slow) KAI (feedwater) EINAI (open-slow).**

Αυτό μεταφράζεται ως εξής : AN το σφάλμα της επιθυμητής ροής ατμού είναι μεγάλο (δηλαδή αν η επιθυμητή ροή ατμού είναι μεγαλύτερη από την πραγματική ) TOTE αύξησε την θερμοκρασία αργά και την τροφοδοσία του νερού επίσης αργά.

**AN (error-steam-flow) EINAI (poli megalo) TOTE (heat) EINAI (open-fast) KAI (feedwater) EINAI (open –fast).**

Αυτό μεταφράζεται ως εξής : AN το σφάλμα της επιθυμητής ροής ατμού είναι πολύ μεγάλο (δηλαδή αν η επιθυμητή ροή ατμού είναι πολύ μεγαλύτερη από την πραγματική ) TOTE αύξησε την θερμοκρασία πολύ γρήγορα και την τροφοδοσία του νερού επίσης πολύ γρήγορα.

Στο σχήμα 4.6 φαίνονται όλοι οι κανόνες του ελεγκτή που σχεδιάσαμε μέσω του Rule Editor του Fuzzy του MATLAB.



Σχήμα 4.6 Rule Editor του ελεγκτή

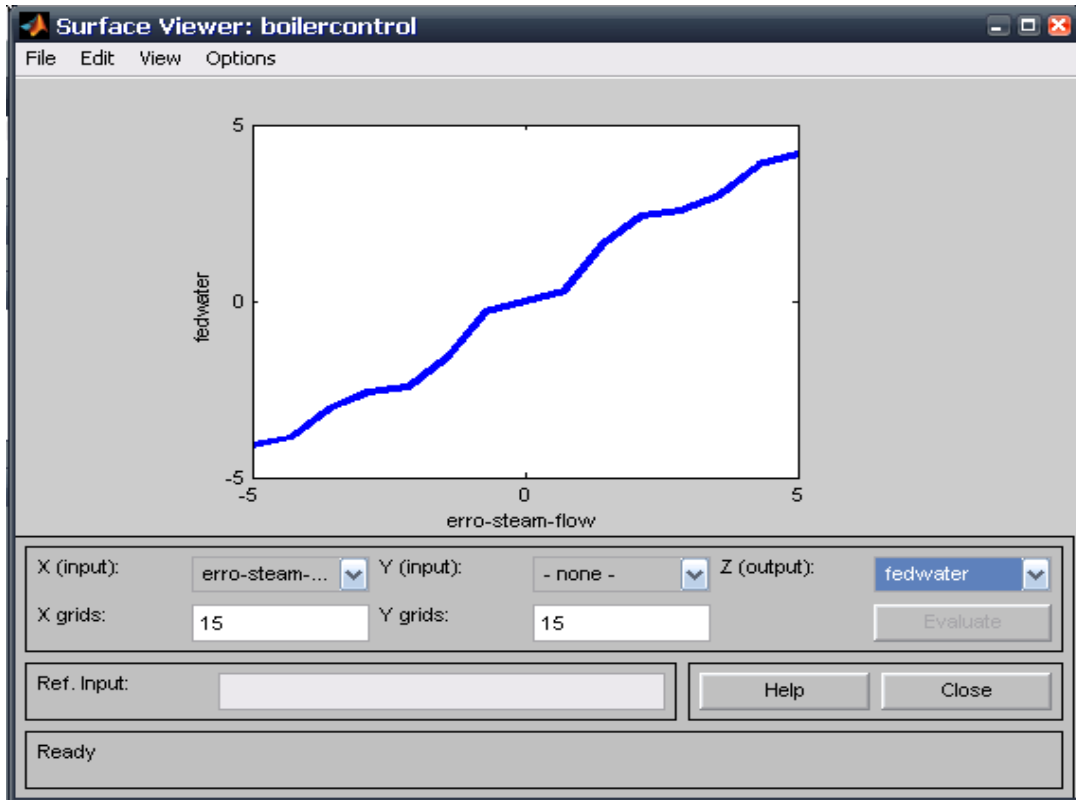
Η σχεδίαση ενός ασαφούς ελεγκτή εντοπίζεται κυρίως στην εύρεση κατάλληλων κανόνων, έτσι ώστε το κλειστό σύστημα να ικανοποιεί κάποιες δεδομένες προϋποθέσεις. Δυστυχώς στη θεωρία των ασαφών ελεγκτών δεν υπάρχουν συγκεκριμένες διαδικασίες έτσι ώστε να σχεδιαστεί ένας τέτοιος ελεγκτής, σε αντίθεση με τη γραμμική θεωρία αυτομάτου ελέγχου όπου υπάρχουν τεχνικές όπως ο γεωμετρικός τόπος ριζών και το διάγραμμα Nyquist. Το πρόβλημα είναι ότι η σχέση εισόδου εξόδου του ελεγκτή είναι μη γραμμική και πολύ δύσκολη να περιγραφεί μαθηματικά.

Παρόλα αυτά δημιουργήθηκαν κάποια test με σκοπό να δείχνουν αν μια βάση κανόνων πληρεί κάποια βασικά κριτήρια, όπως παραδείγματος χάρι αν είναι πλήρης. Τα βασικά κριτήρια για την ανάλυση των κανόνων είναι τα ακόλουθα :

- Πληρότητα – Είναι αρκετοί οι κανόνες που δημιουργήθηκαν;
- Συνέπεια – Μήπως οι κανόνες αλληλοσυγκρούονται;

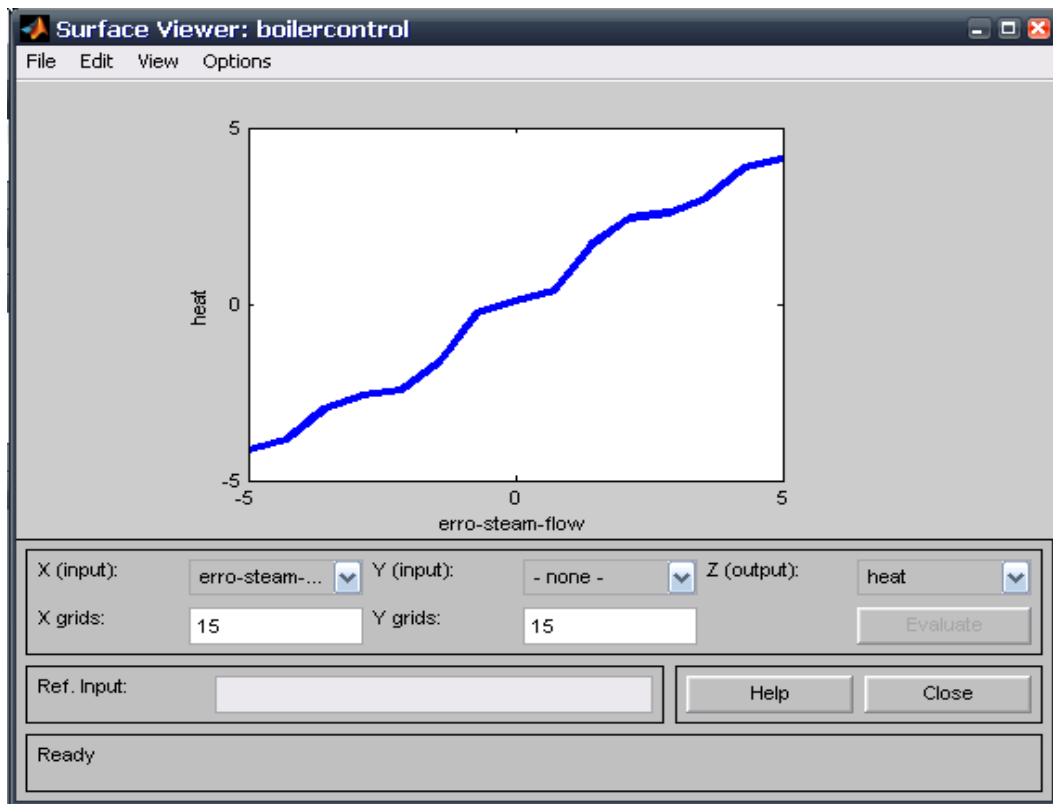
- Πλεονασμός – Μήπως υπάρχουν στη βάση κανόνων κάποιοι περιττοί κανόνες;
- Αλληλεπίδραση – Υπάρχουν κάποιοι κανόνες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους;

Στα διαγράμματα 4.7 και 4.8 απεικονίζεται η επιφάνεια των εξόδων του ελεγκτή σε σχέση με την είσοδο του ελεγκτή.



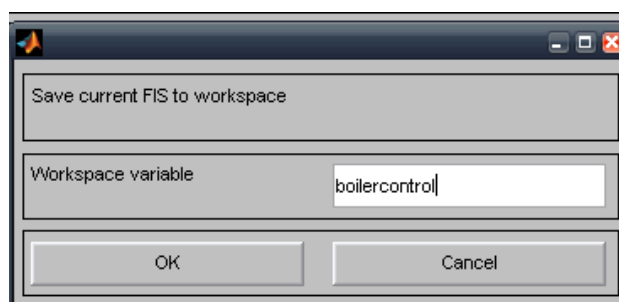
Σχήμα 4.7 Surface Viewer για την έξοδο feedwater του ασαφή ελεγκτή





Σχήμα 4.8 Surface Viewer για την έξοδο heat του ασαφή ελεγκτή

Βλέπουμε ότι το πρόβλημα είναι αρκετά πολύπλοκο. Αφού σχεδιάσουμε πλήρως τον ελεγκτή, τον κάνουμε εξαγωγή στο MAT LAB από το File -> Export -> To Workspace με ένα όνομα, έστω boilercontrol1, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.9.

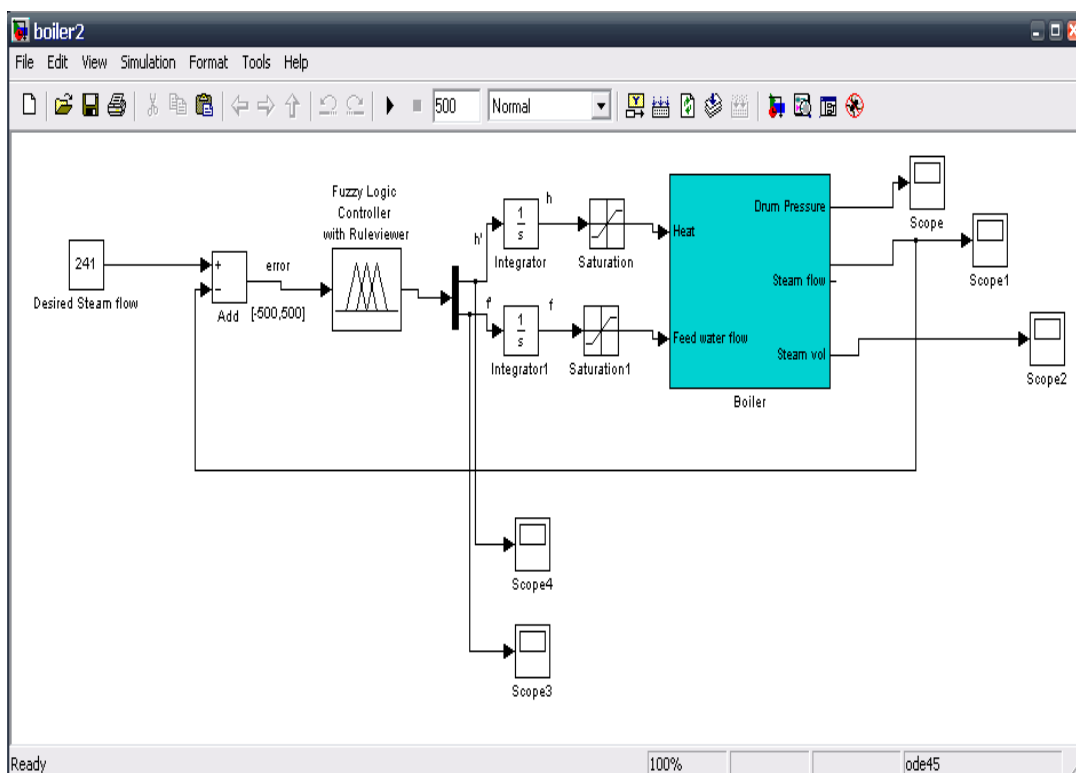


Σχήμα 4.9 Αποθήκευση ελεγκτή με το όνομα boilercontrol1

### 4.2.3 Μοντέλο του boiler στο SIMULINK

Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία του μοντέλου του boiler στο simulink, όπου θα χρησιμοποιήσουμε τον ελεγκτή που σχεδιάσαμε . Πληκτρολογώντας στο command

line του Matlab τη λέξη **simulink** ανοίγει αυτόματα το παράθυρο της βιβλιοθήκης του simulink (Simulink Library Browser). Από το μενού **File**→ **New**→**Model** , ανοίγει ένα κενό παράθυρο. Προσθέτουμε το boiler με τις δύο εισόδους και τις τρεις εξόδους τις οποίες και συνδέουμε με παλμογράφους (scopes) για να μελετήσουμε τα αποτελέσματα που παράγονται. Εισάγουμε το ελεγκτή (Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer) με τη μία είσοδο και τις δύο εξόδους. Η είσοδος του είναι το σφάλμα της ροής ατμού, δηλαδή η διαφορά της επιθυμητής από την πραγματική τιμή, οι οποίες όμως βρίσκονται και σε αρνητική ανάδραση. Οι δύο έξοδοι του ελεγκτή οι οποίοι είναι οι ρυθμοί μεταβολής της θερμοκρασίας και της τροφοδοσίας νερού οδηγούνται σε δύο ολοκληρωτές (integrators) που με τη σειρά τους συνδέονται με δύο (saturations) και τελικά καταλήγουν στις εισόδους heat και feedwater του boiler. Αποθηκεύουμε το αρχείο που περιέχει το μοντέλο του boiler ως boiler.mdl (σχήμα 4.10).



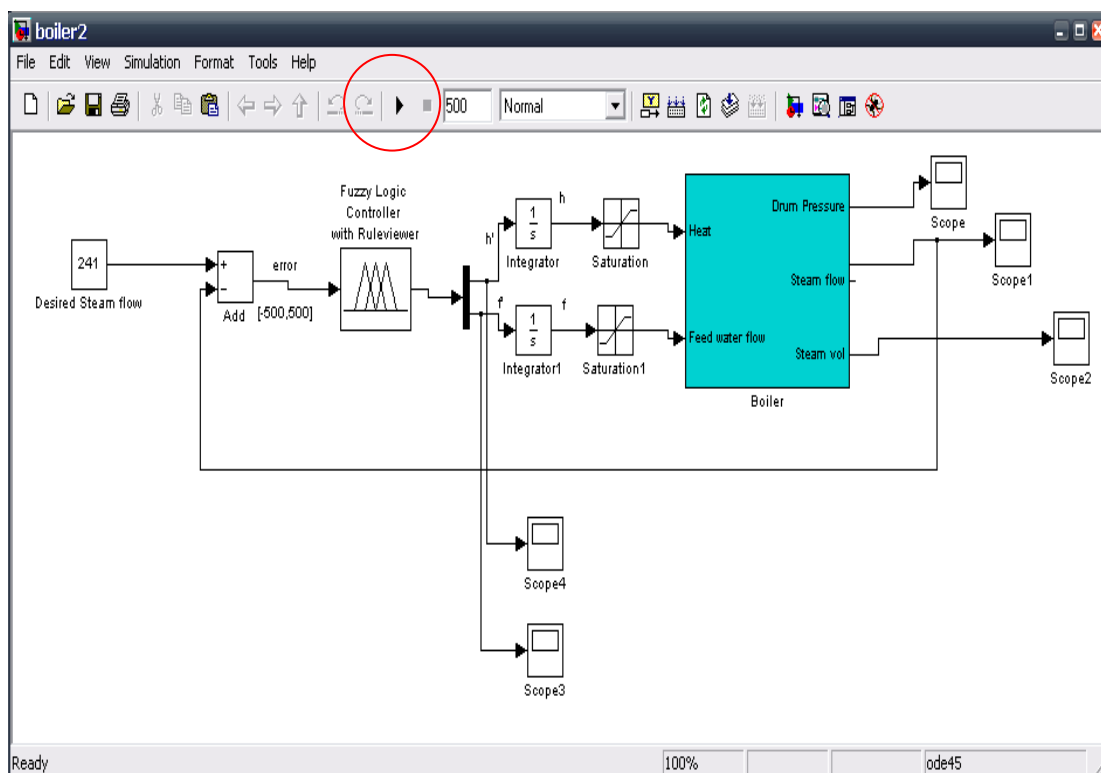
Σχήμα 4.10 Το μοντέλο boiler στο SIMULINK

Έπειτα δηλώνουμε στο SIMULINK κάνοντας διπλό κλικ πάνω στο Fuzzy Logic Controller With Ruleviewer ότι ο ελεγκτής είναι ο "boilercontrol1" .

Είμαστε έτοιμοι λοιπόν να δούμε τα αποτελέσματα του ελεγκτή που σχεδιάσαμε τρέχοντας το μοντέλο του boiler που σχεδιάσαμε στο SIMULINK.

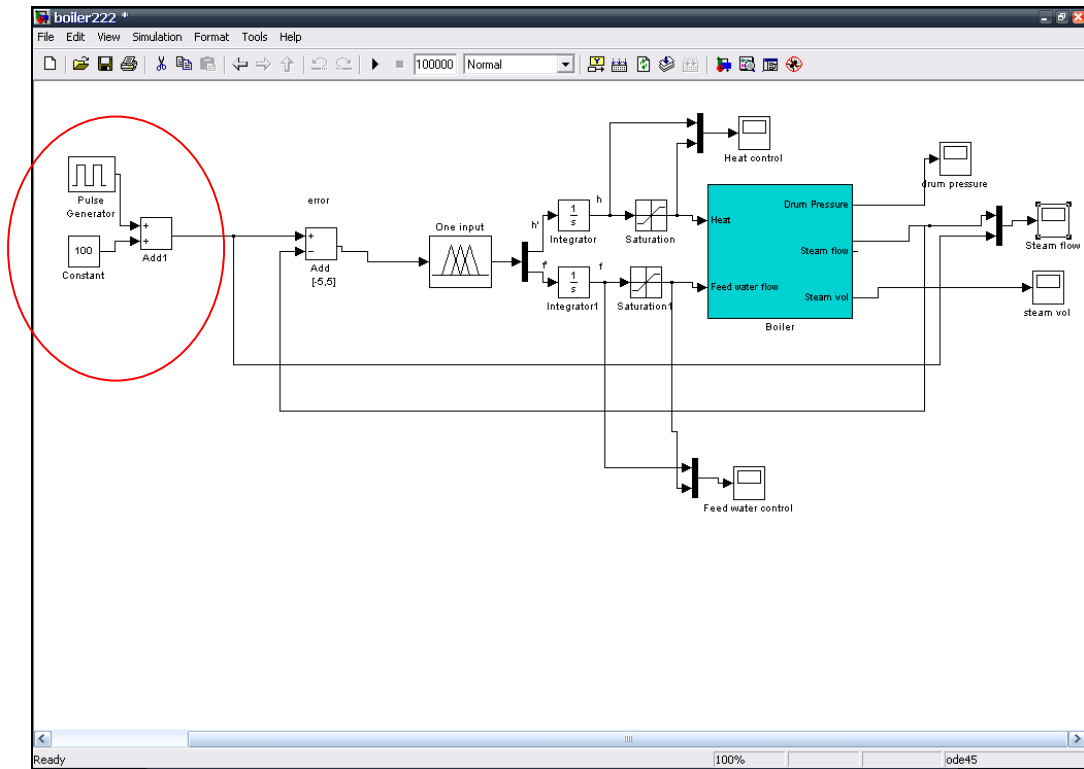
#### 4.2.4 Εκτέλεση Της Εφαρμογής

Εφόσον έχουν ακολουθηθεί τα παραπάνω βήματα, είναι πλέον εφικτή η εκτέλεση και απεικόνιση των αποτελεσμάτων του μοντέλου του boiler. Το κουμπί εκτέλεσης διακρίνεται στο σχήμα 4 .11



Σχήμα 4.11 Κουμπί εκτέλεσης του Simulink

Επόμενο βήμα είναι στο μοντέλο του boiler που δημιουργήσαμε στο Simulink να προσθέσουμε έναν παλμό με την επιθυμητή ροή ατμού του boiler έτσι ώστε να μπορούμε να την συγκρίνουμε με την τιμή που πραγματικά το boiler παράγει χρησιμοποιώντας τον ελεγκτή που σχεδιάσαμε παραπάνω. Το μοντέλο του boiler στο Simulink διαμορφώνεται τώρα όπως ακριβώς φαίνεται στο σχήμα 4.12.



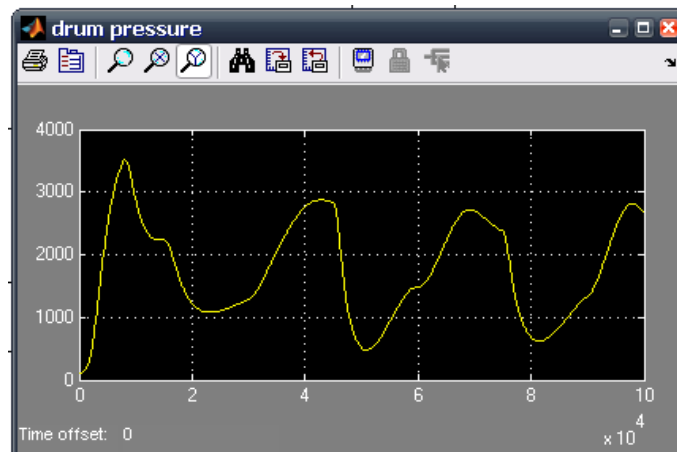
Σχήμα 4.12 Τελικό Μοντέλο boiler στο Simulink

Στο σχήμα 4.13 φαίνονται τα αποτελέσματα του ελεγκτή μας. Με ροζ διακρίνουμε την επιθυμητή τιμή της ροής του ατμού του boiler, ενώ με κίτρινο διακρίνουμε την πραγματική του τιμή. Επιθυμούμε η ροή ατμού να ξεκινά από τα  $150\text{m}^3$  για  $20.000\text{sec}$ , στη συνέχεια να πέφτει στα  $100\text{m}^3$  για  $20.000\text{sec}$  και να συνεχίζεται αυτό περιοδικά μέχρι τα  $100.000\text{sec}$ . Παρατηρούμε ότι η πραγματική τιμή της ροής ατμού που εξέρχεται από το boiler προσεγγίζει τις τιμές της επιθυμητής ροής με κάποιες αποκλίσεις όμως που φτάνουν στα  $50\text{m}^3$ . Επίσης παρατηρούμε ότι στις απότομες αλλαγές που επιθυμούμε στον ατμό, το δικό μας μοντέλο τις προσεγγίζει για μικρότερα χρονικά διαστήματα και με μεγαλύτερη απόκλιση.



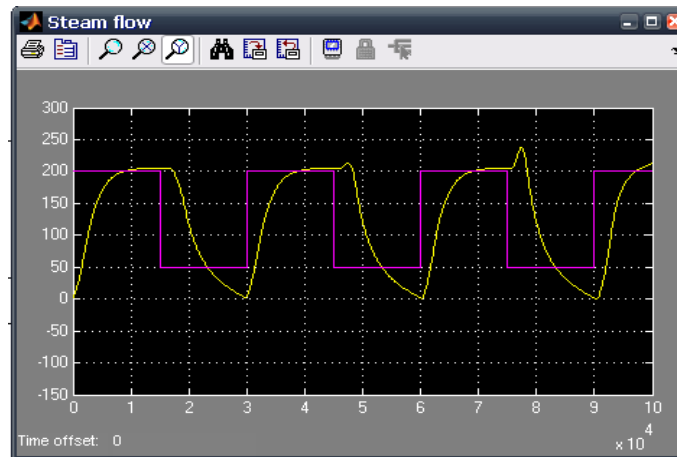
Σχήμα 4.13 Σύγκριση επιθυμητής – πραγματικής ροής ατμού

Σε ότι αφορά την πίεση των τοιχίων του δοχείου του boiler, αυτό ακολουθεί μια περιοδικότητα, μέσα στα όρια ασφαλείας, όπως ακριβώς φαίνεται στο σχήμα 4.14

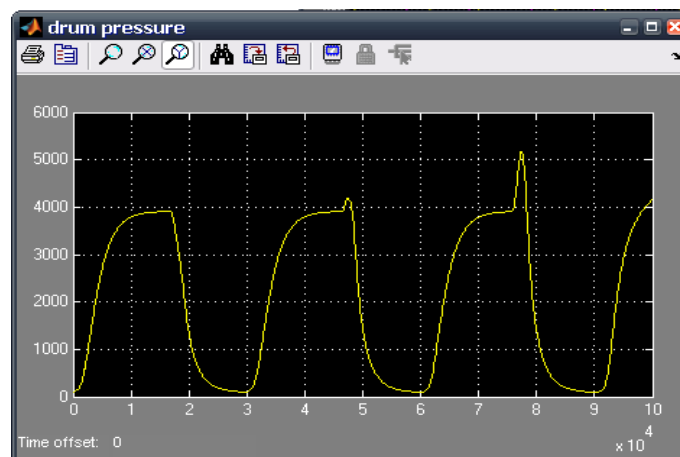


Σχήμα 4.14 Συμπεριφορά του ελεγκτή boilercontrol1 ως προς την μεταβλητή drum pressure

Ας δούμε την συμπεριφορά του ελεγκτή μας και για την περίπτωση που η επιθυμητή ροή ατμού θέλουμε να είναι από  $50 \text{ m}^3$  έως  $160 \text{ m}^3$  για διάφορες τιμές του χρόνου όπως διακρίνεται στον παλμό εισόδου του σχήματος 4.15 καθώς και τη μεταβλητή της πίεσης του δοχείου του boiler (drum pressure), όπως διακρίνεται στο σχήμα 4.16.



Σχήμα 4.15 Σύγκριση επιθυμητής – πραγματικής ροής ατμού

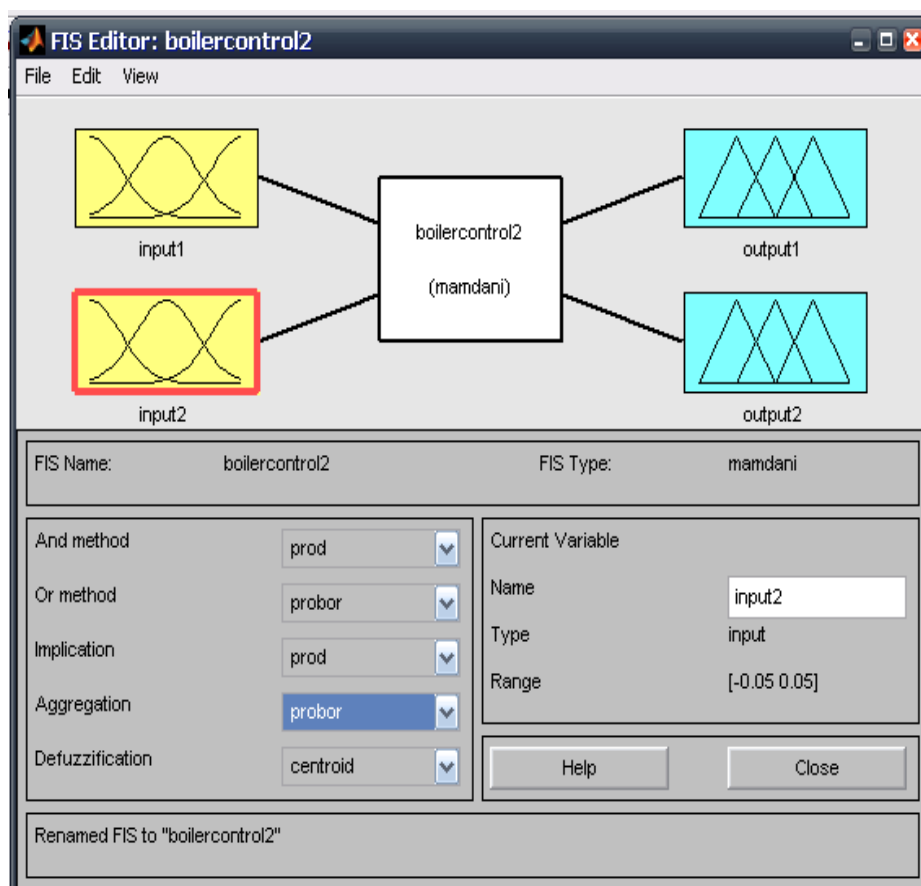


Σχήμα 4.16 Συμπεριφορά του ελεγκτή boilercontrol1 ως προς την μεταβλητή drum pressure

Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν πολύ από την προηγούμενη, δηλαδή η πραγματική ροή ατμού προσπαθεί να ακολουθήσει την πορεία της επιθυμητής αλλά υπάρχει δυσκολία κυρίως στις αυξομειώσεις του ατμού που ζητούνται. Επιπλέον η πίεση των τοιχίων του boiler ακολουθεί μια ικανοποιητική πορεία με μόνο πρόβλημα ότι αυξάνεται επικίνδυνα ως προς τις μέγιστες τιμές της πλησιάζοντας τα  $4000\text{N/m}^2$  με όριο ασφαλείας του boiler τα  $3000\text{N/m}^2$ .

### 4.3 Σχεδίαση ελεγκτή δύο εισόδων και δύο εξόδων

Στη συνέχεια και για να μπορέσουμε να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα στον ελεγκτή μας αποφασίσαμε να προσθέσουμε μία ακόμη είσοδο στον ελεγκτή μας, η οποία είσοδος θα είναι ο ρυθμός μεταβολής του σφάλματος της επιθυμητής ροής ατμού (error steam flow), το οποίο και ονομάζουμε derivative (ρυθμός μεταβολής του λάθους). Ο ελεγκτής μας, όπως θα τον σχεδιάσουμε στο fuzzy διαμορφώνεται τώρα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.17



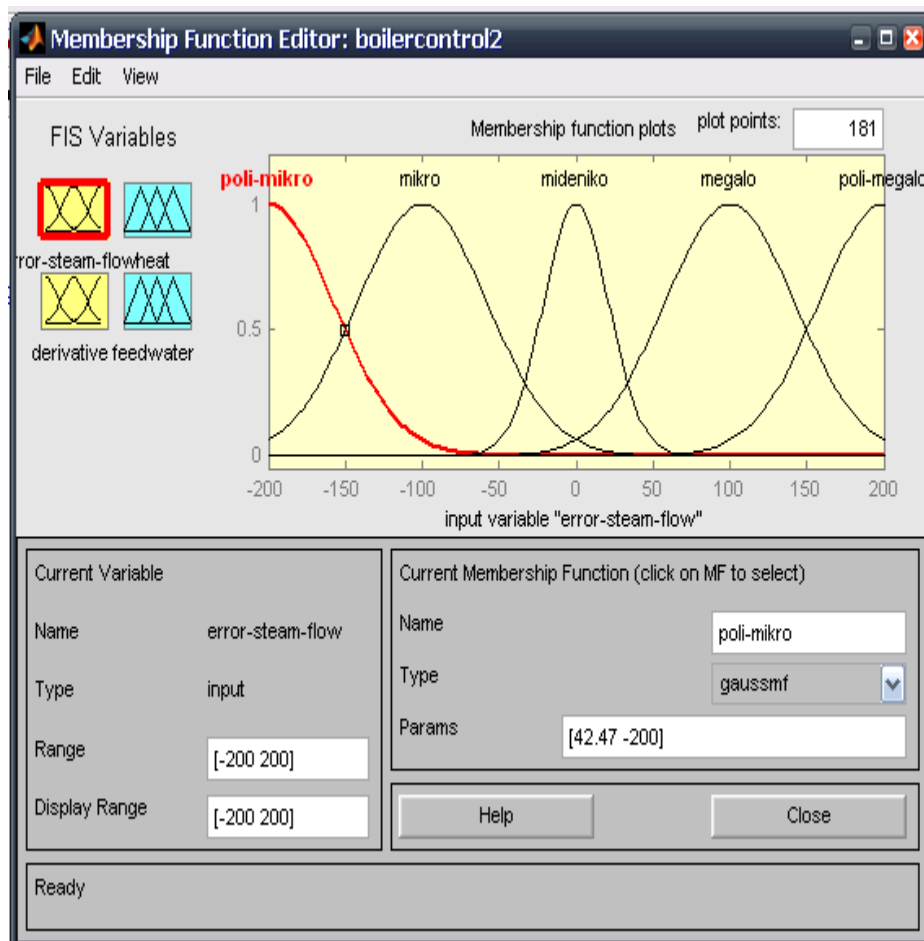
Σχήμα 4.17 Ελεγκτής 2 εισόδων και 2 εξόδων

Οι εισοδοί ήταν με την σειρά το σφάλμα της ροής του ατμού (error-steam-flow) και η ταχύτητα μεταβολής του σφάλματος (derivative). Έξοδος ήταν η θερμοκρασία (heat) που εφαρμόζεται στο boiler καθώς και η τροφοδοσία νερού του boiler(feedwater).

Τα υπερσύνολα αναφοράς ήταν  $[-200 \ 200]$ ,  $[-0.05 \ 0.05]$ , για την κάθε είσοδο αντίστοιχα και  $[-2 \ 2]$  για την κάθε έξοδο του συστήματος.

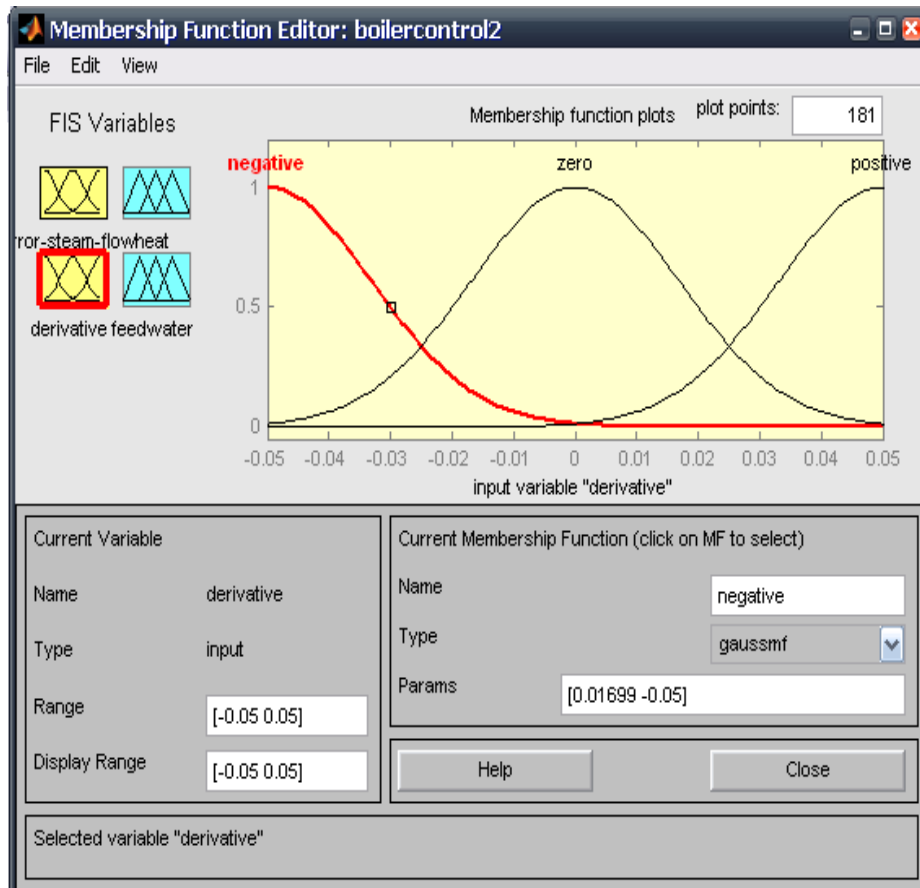
Στη συνέχεια έγιναν δοκιμές για την εύρεση του αριθμού και του τύπου των συναρτήσεων συμμετοχής της εισόδου και εξόδου, τον τρόπο που θα χρησιμοποιηθούν οι τελεστές AND και OR (εννοώντας αν χρησιμοποιηθούν ως min ή ως prod και ως max ή probor αντίστοιχα), την εύρεση της μεθόδου συνεπαγωγής, της μεθόδου της συνάθροισης και της μεθόδου από-ασαφοποίησης, που θα χρησιμοποιούνταν στον ελεγκτή για την καλύτερη ευστάθεια του συστήματος.

Τα ασαφή σύνολα στα οποία καταλήξαμε τόσο για τις δυο εισόδους όσο και για τις δυο εξόδους φαίνονται στα σχήματα 4.18 έως και 4.21 και παρουσιάζουν μικρές αλλά όπως αποδείχθηκε ουσιαστικές αλλαγές ως προς τις τιμές που λαμβάνουν.

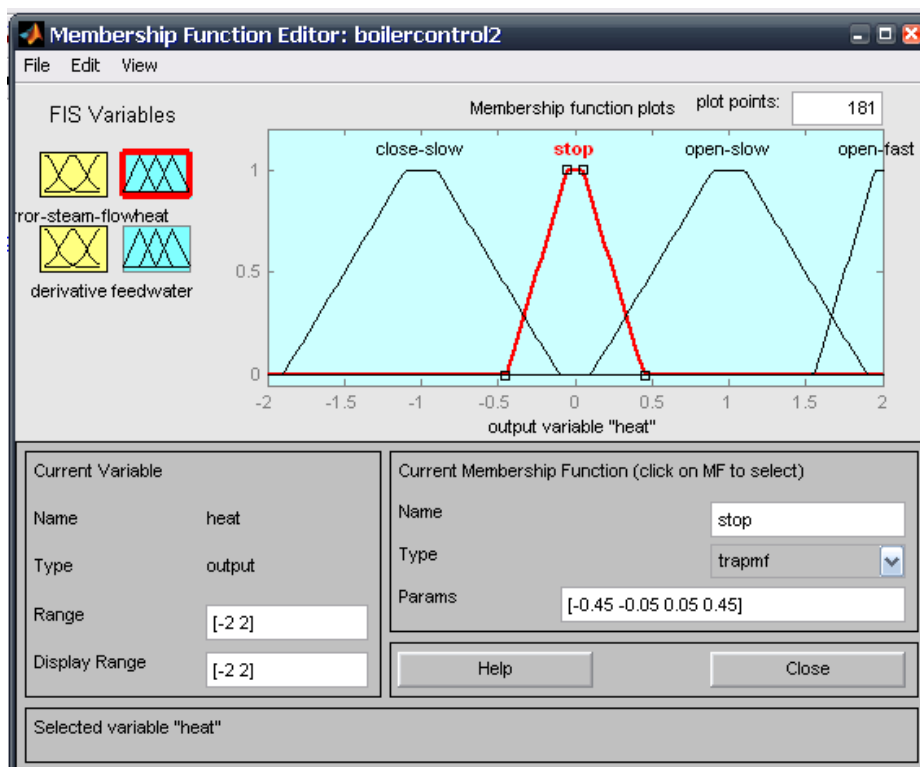


Σχήμα 4.18 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής error-Steam -Flow

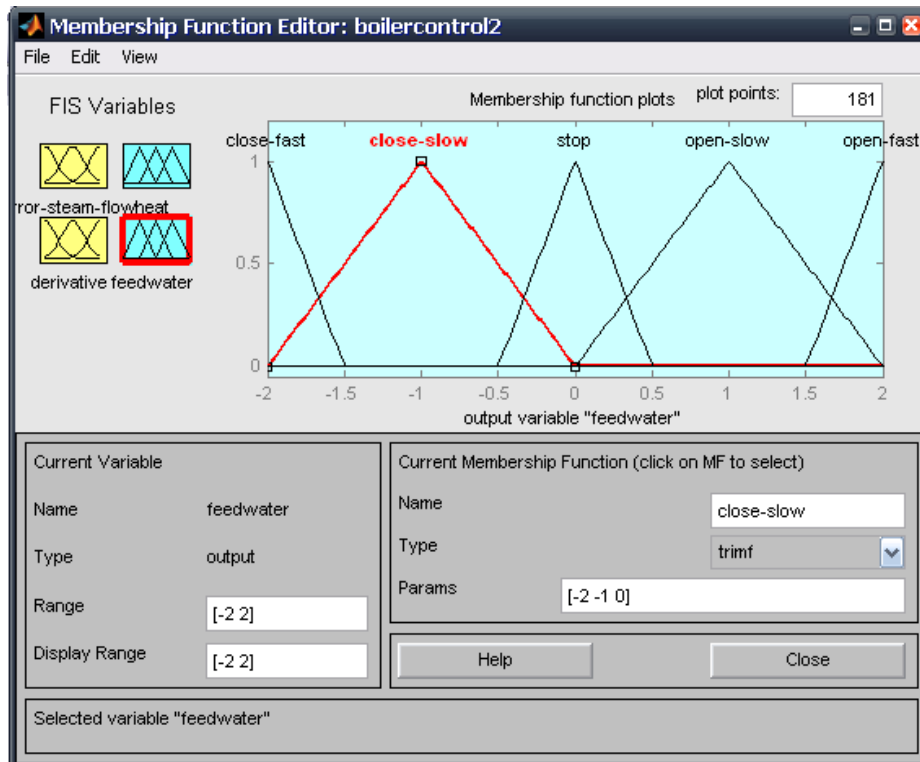




Σχήμα 4.19 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής derivative



Σχήμα 4.20 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής heat



Σχήμα 4.21 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής feedwater

### 4.3.1 Οι Κανόνες Του Ασαφή Ελεγκτή

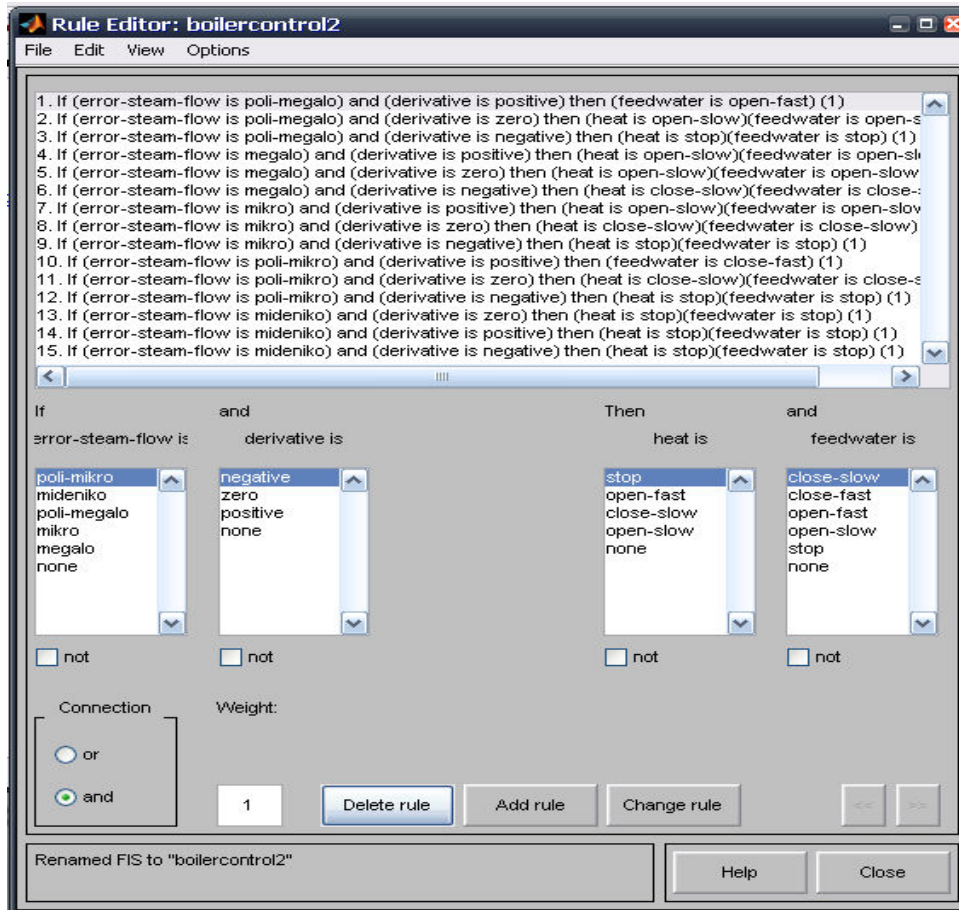
Θα πρέπει να τονιστεί, ότι εφόσον χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του Mamdani, οι κανόνες δημιουργήθηκαν από την γνώση και την προσωπική εμπειρία του σχεδιαστή του συστήματος. Με λίγα λόγια, ο σχεδιαστής του συστήματος παρατήρησε τις κινήσεις του μοντέλου του boiler και με βάση την πείρα του, απόδωσε τους αντίστοιχους κανόνες λειτουργίας του. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα περιορισμένα στοιχεία που υπήρχαν καθώς και το γεγονός ότι ένα βιομηχανικό boiler δεν είναι εύκολο να βρεθεί ώστε να δοκιμαστούν στην πράξη όλα αυτά που αφορούν τη λειτουργία του δυσκόλεψαν το έργο του σχεδιαστή.

Οι κανόνες που βρέθηκαν να ισορροπούν το σύστημα του boiler είναι:

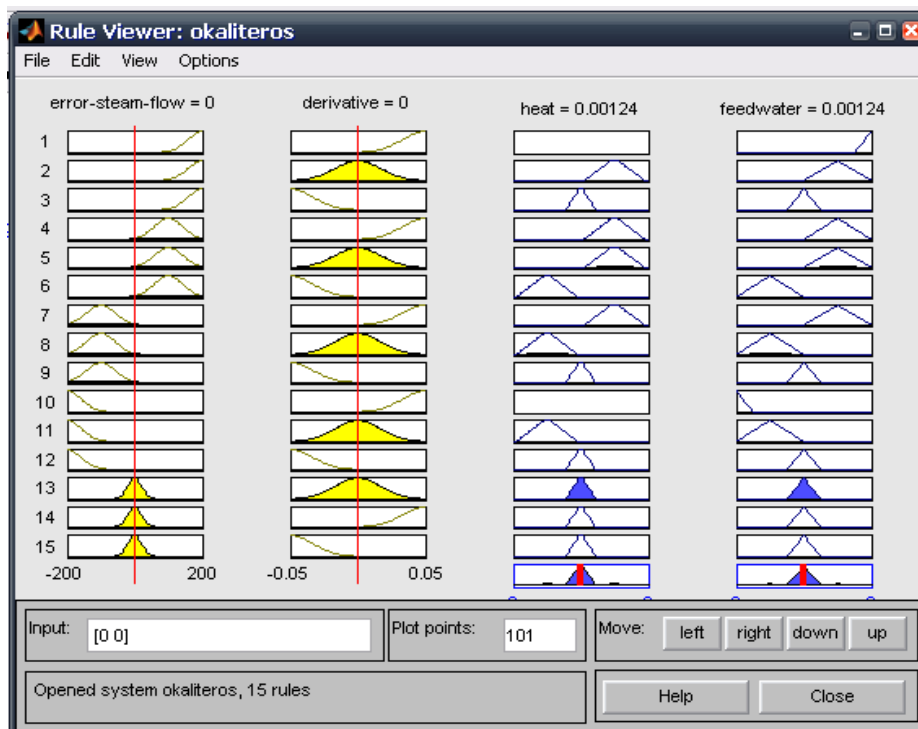
1. IF (error steam flow is poli megalos) AND (derivative is positive) THEN (feedwater is open fast).
2. IF (error steam flow is poli megalos) AND (derivative is zero) THEN (feedwater is open slow) AND (heat is open slow).
3. IF (error steam flow is poli megalos) AND (derivative is negative) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).

4. IF (error steam flow is megalos) AND (derivative is positive) THEN (feedwater is open slow) AND (heat is open slow).
5. IF (error steam flow is megalos) AND (derivative is zero) THEN (feedwater is open slow) AND (heat is open slow).
6. IF (error steam flow is megalos) AND (derivative is negative) THEN (feedwater is close slow) AND (heat is close slow).
7. IF (error steam flow is mikro) AND (derivative is positive) THEN (feedwater is open slow) AND (heat is open slow).
8. IF (error steam flow is mikro) AND (derivative is zero) THEN (feedwater is close slow) AND (heat is close slow).
9. IF (error steam flow is mikro) AND (derivative is negative) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).
10. IF (error steam flow is poli mikro) AND (derivative is positive) THEN (feedwater is close slow).
11. IF (error steam flow is poli mikro) AND (derivative is zero) THEN (feedwater is close slow) AND (heat is close slow).
12. IF (error steam flow is mikro) AND (derivative is negative) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).
13. IF (error steam flow is mideniko) AND (derivative is zero) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).
14. IF (error steam flow is mideniko) AND (derivative is positive) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).
15. IF (error steam flow is mideniko) AND (derivative is negative) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).

Στο σχήμα 4.22 φαίνονται όλοι οι κανόνες συνοπτικά όπως έχουν δημιουργηθεί μέσα από τον Rule Editor του Fuzzy του πακέτου του Matlab ενώ στο σχήμα 4.23 έχουμε την γραφική απεικόνιση των κανόνων του ελεγκτή.

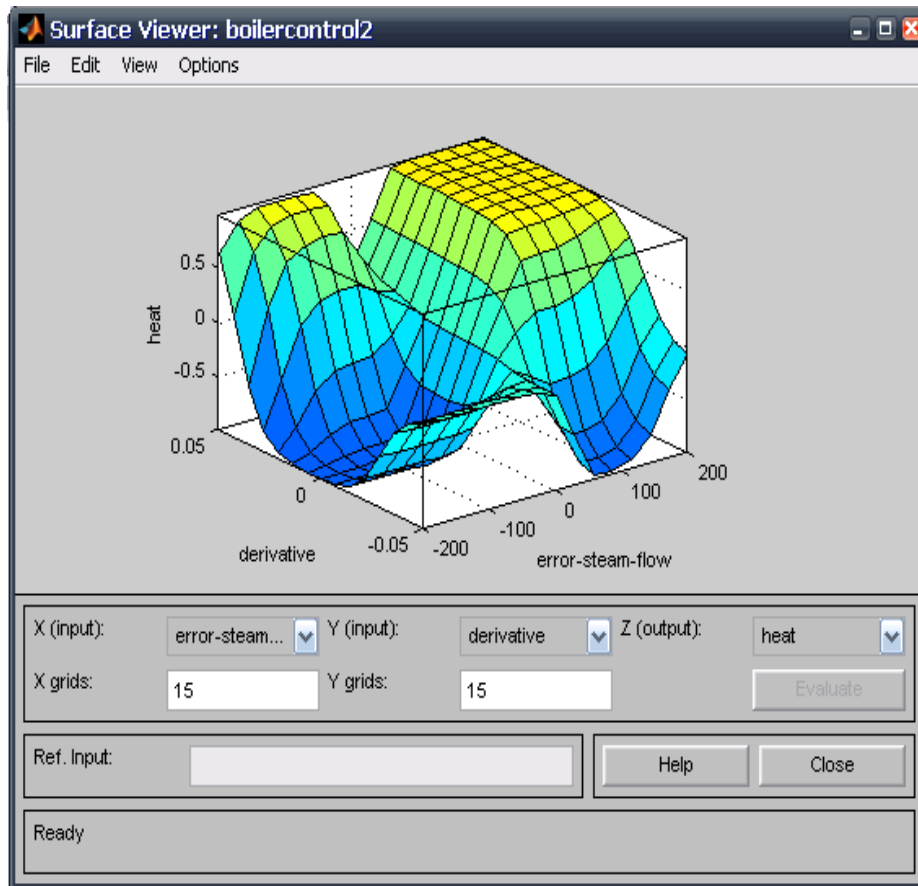


Σχήμα 4.22 Rule Editor του ελεγκτή boilercontrol2



Σχήμα 4.23 Γραφική απεικόνιση κανόνων ελεγκτή boilercontrol2

Στο διάγραμμα 4.24 απεικονίζεται η επιφάνεια των εξόδων του ελεγκτή σε σχέση με τις εισόδους του ελεγκτή.

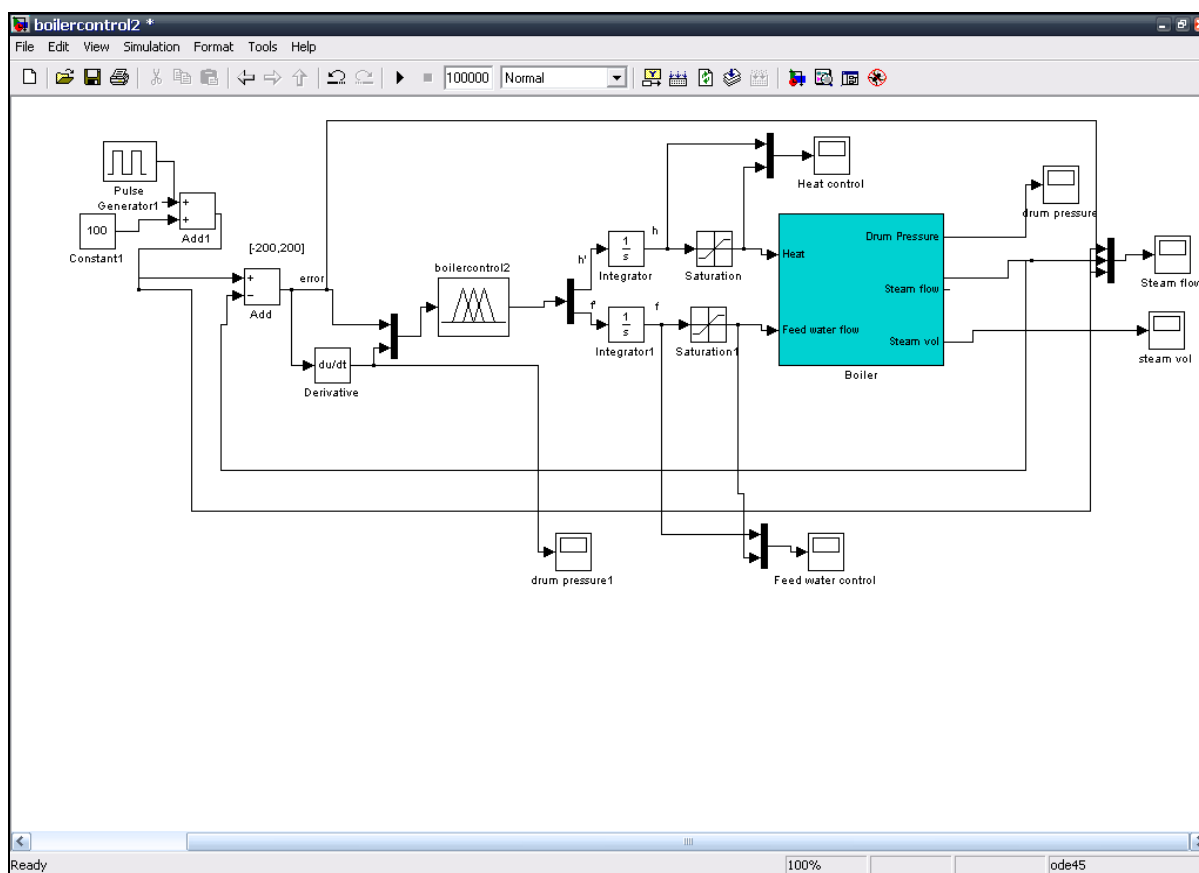


Σχήμα 4.24 Surface Viewer των εξόδων του ασαφή ελεγκτή για τις εισόδους της θερμοκρασίας και της τροφοδοσίας νερού

Όσο πιο ομαλή παρουσιάζεται η επιφάνεια της εξόδου του ελεγκτή τόσο πιο αποδοτικός είναι ο ασαφής ελεγκτής.

### 4.3.2 Άνοιγμα Του Simulink Μοντέλου Του boiler

Δεύτερο βήμα είναι το άνοιγμα του μοντέλου του boiler. Πληκτρολογώντας στο command line του Matlab τη λέξη **simulink** ανοίγει αυτόματα το παράθυρο τη βιβλιοθήκης του simulink (Simulink Library Browser). Από το μενού **File**→ **Open** και επιλογή του αρχείου με το οποίο ονομάστηκε το μοντέλο του boiler (boiler2.mdl), ανοίγει ένα παράθυρο που περιέχει το μοντέλο του boiler (σχήμα 4.25).



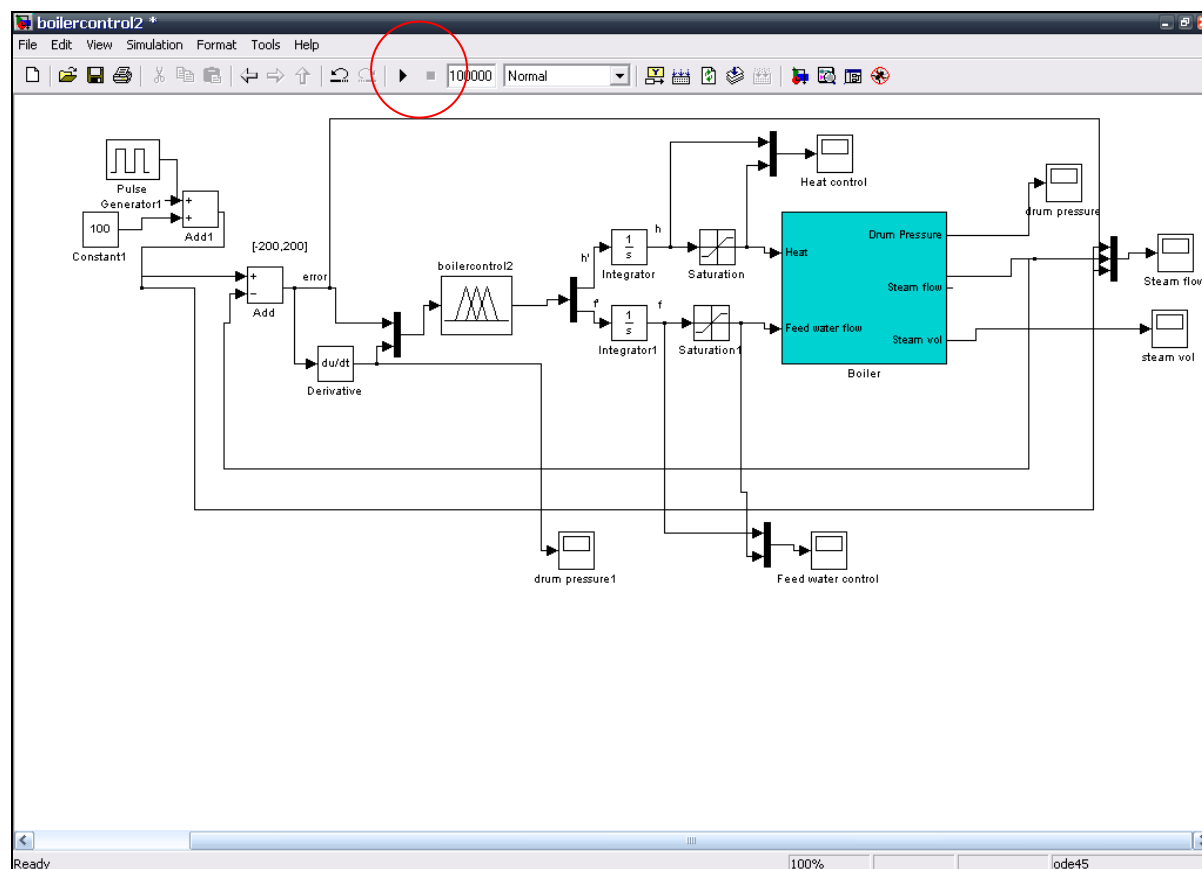
Σχήμα 4.25 Μοντέλο του boiler στο Simulink

### 4.3.3 Εισαγωγή Του Ασαφούς Ελεγκτή Στο Σύστημα

Πληκτρολογώντας στο command line του Matlab τη λέξη Fuzzy και ENTER ανοίγει το παράθυρο του Fuzzy. Από το μενού **File**→ **Import**→ **From Disk** και την επιλογή του αρχείου με το οποίο έχει ονομαστεί ο ασαφής ελεγκτής του boiler (boilercontrol2.fis), ανοίγει το αρχείο αυτό. Στη συνέχεια από το μενού **File**→ **Export**→ **To Workspace** είναι δυνατή η χρήση του για τις επιμέρους διαδικασίες.

### 4.3.4 Εκτέλεση Της Εφαρμογής

Εφόσον έχουν ακολουθηθεί τα παραπάνω βήματα, είναι πλέον εφικτή η εκτέλεση και απεικόνιση των αποτελεσμάτων του μοντέλου του boiler. Το κουμπί εκτέλεσης διακρίνεται στο σχήμα 4.26



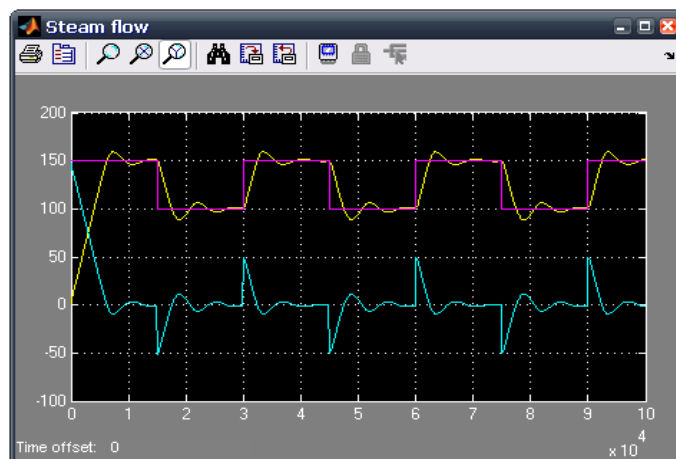
Σχήμα 4.26 Κουμπί εκτέλεσης του Simulink

Με το πάτημα του κουμπιού εκτέλεσης, εκτελείται το μοντέλο του boiler και εμφανίζονται τρία διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εξόδων του boiler που είναι η ροή του ατμού (steam flow), η πίεση των τοιχίων του δοχείου του boiler (drum pressure) και ο όγκος του ατμού που παράγεται (steam volume)(σχήματα 4.27, 4.28 και 4.29 αντίστοιχα).

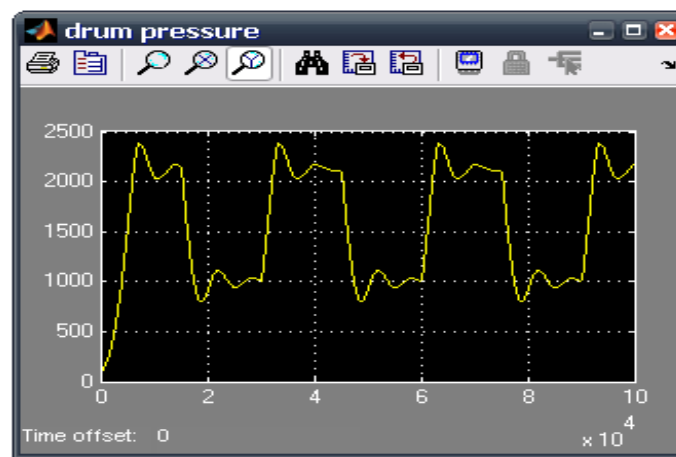
Με ροζ διακρίνεται η επιθυμητή τιμή της ροής του ατμού που δόθηκε σαν είσοδος στο Simulink με τη μορφή παλμού, ίδια με αυτή που δόθηκε και στη σχεδίαση του πρώτου ελεγκτή, με κίτρινο διακρίνεται η πραγματική τιμή του ατμού που παράγεται

έπειτα από τις λειτουργίες που εκτελεί ο ελεγκτής που σχεδιάσαμε και με θαλασσί διακρίνεται η μεταβολή του σφάλματος της ροής ατμού του boiler.

Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι σαφώς καλύτερα. Η τιμή που θέλουμε να πετύχουμε ( $150 \text{ m}^3$ ) επιτυγχάνεται σε περίπου  $5.000 \text{ sec}$ , η πραγματική τιμή του ατμού ακολουθεί την επιθυμητή με πολύ μικρές αποκλίσεις κυρίως ως προς τις αλλαγές που επιδιώκουμε και επιπλέον η πίεση των τοιχίων του boiler όπως φαίνεται στο σχήμα 4.44 πλησιάζουν τα  $2.500 \text{ N/m}^2$  στις υψηλότερες τιμές της ροής ατμού.

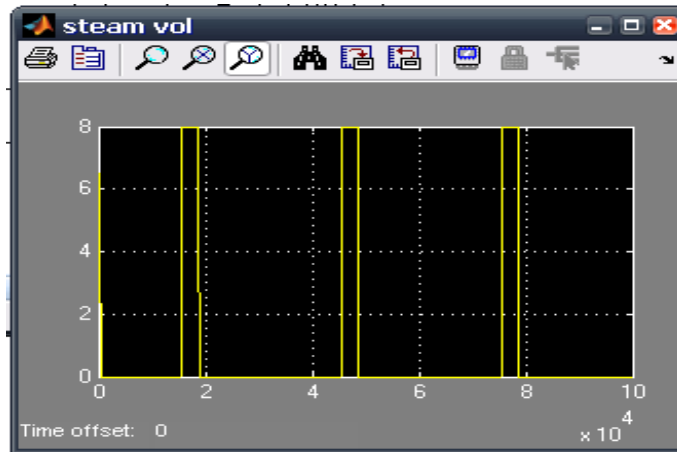


Σχήμα 4.27 Απεικόνιση επιθυμητής και πραγματικής ροής ατμού για καθώς και της μεταβολής του σφάλματος της ροής ατμού



Σχήμα 4.28 Απεικόνιση της μεταβλητής drum pressure



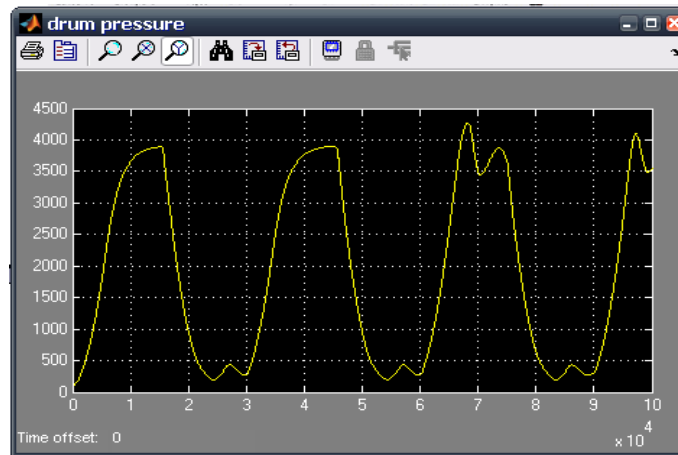


Σχήμα 4.29 Απεικόνιση της μεταβλητής steam vol

Ας επιχειρήσουμε τώρα να αυξήσουμε τη ροή του ατμού που εξέρχεται από το boiler, κυρίως για να ελέγξουμε την πίεση των τοιχίων του που όπως αναφέρθηκε και παραπάνω δεν πρέπει να ξεπερνά τα  $3000\text{N/m}^2$  διότι υπάρχει ο κίνδυνος της έκρηξης του δοχείου.



Σχήμα 4.30 Απεικόνιση επιθυμητής και πραγματικής ροής ατμού για καθώς και της μεταβολής του σφάλματος της ροής ατμού



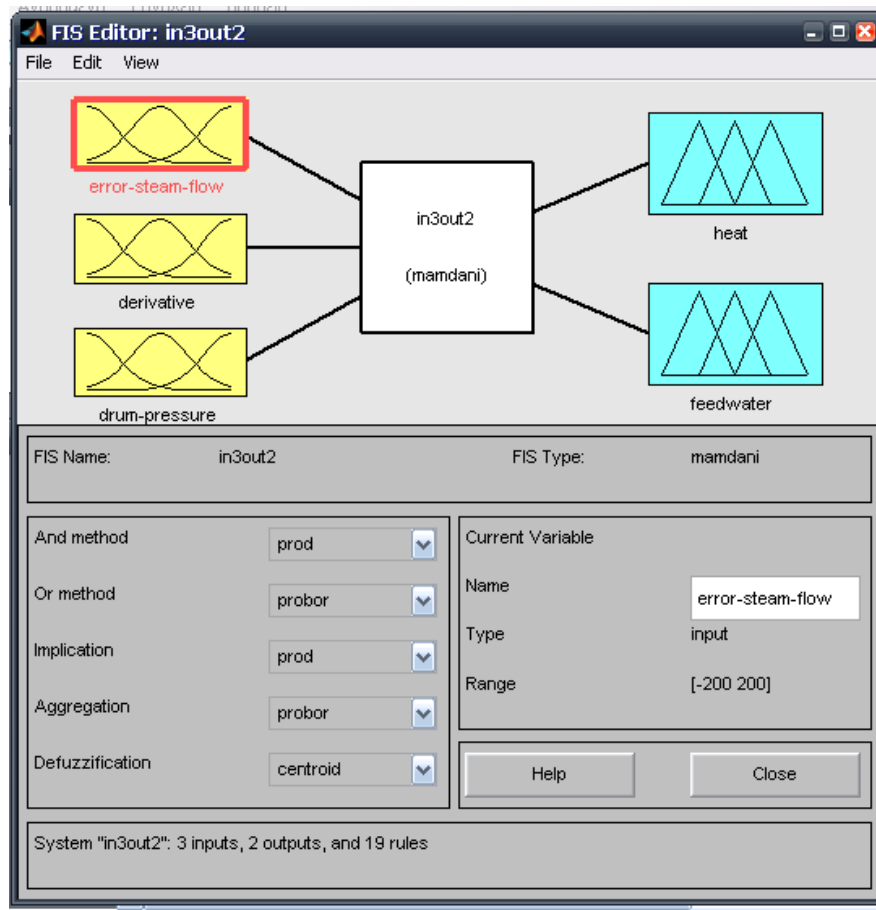
Σχήμα 4.31 Απεικόνιση της μεταβλητής drum pressure

Στην περίπτωση αυτή, όπου δηλαδή αυξάνουμε την επιθυμητή ροή ατμού στα  $200\text{m}^3$ , ο ελεγκτής μας πετυχαίνει την τιμή αυτή σε μεγαλύτερο χρόνο, περίπου  $15.000\text{sec}$ , το οποίο είναι απολύτως λογικό καθώς μεγαλύτερη εξαγωγή ατμού συνεπάγεται περισσότερο νερό, μεγαλύτερη θερμοκρασία και κατ'επέκταση περισσότερος χρόνος. Σε ότι αφορά την πίεση των τοιχίων του boiler, παρατηρούμε ότι αυξάνεται επικίνδυνα πολύ και πλησιάζει στις  $4000\text{N/m}^2$ , επίπεδο ιδιαίτερα υψηλό.

Πρέπει λοιπόν να γίνει μία πρόβλεψη έτσι ώστε όταν η πίεση των τοιχίων του boiler ξεπερνάει τα  $2.500\text{N/m}^2$  να υπάρχει ένας μηχανισμός που με κατάλληλες συνθήκες να προειδοποιεί το σύστημα ότι υπάρχει κίνδυνος. Αυτό θα προσπαθήσουμε να το πετύχουμε βάζοντας μία ακόμη είσοδο στον ελεγκτή μας που θα ασχολείται αποκλειστικά και μόνο με τα επίπεδα της πίεσης των τοιχίων του boiler.

#### 4.4 Σχεδίαση ελεγκτή τριών εισόδων και δύο εξόδων

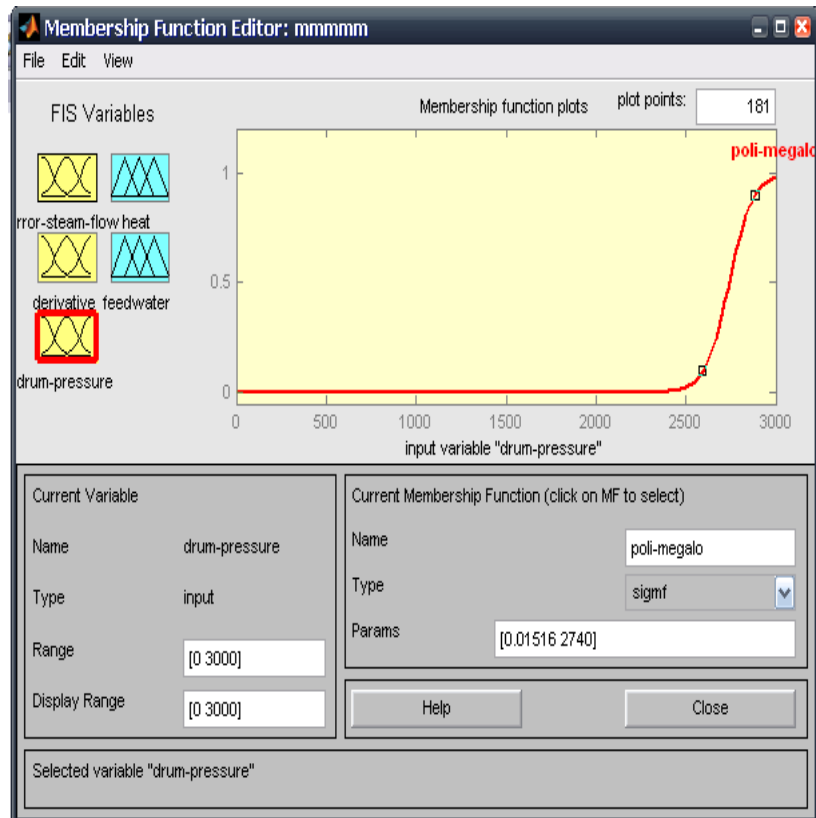
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στον δεύτερο ελεγκτή που σχεδιάσαμε (boilercontrol2), κρίνεται απαραίτητο να προσθέσουμε μία είσοδο, η οποία θα ασχολείται με τα επίπεδα της πίεσης των τοιχίων του δοχείου του boiler. Έτσι λοιπόν ο ελεγκτής μας στο Fuzzy θα έχει την μορφή που φαίνεται στο σχήμα 4.32



Σχήμα 4.32 Ο Fis Editor για ελεγκτή τριών εισόδων και δύο εξόδων

Όλα τα δεδομένα του δεύτερου ελεγκτή που αφορούν τα ασαφή σύνολα τόσο των εισόδων όσο και των εξόδων τα διατηρούμε σταθερά και απλώς εισάγουμε δεδομένα μόνο για την είσοδο drum pressure.

Κάνοντας διπλό κλικ πάνω στην μεταβλητή drum pressure ανοίγει ο Membership function editor. Προσθέτουμε τα κατάλληλα ασαφή σύνολα, π.χ. "poli-megalo", διαλέγοντας την αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής. Πιο κάτω, Σχήμα 4.33, φαίνονται οι συναρτήσεις συμμετοχής της μεταβλητής drum pressure όπως σχεδιάστηκαν στο MAT LAB.



Σχήμα 4.33 Συναρτήσεις συμμετοχής μεταβλητής drum pressure

#### 4.4.1 Οι κανόνες του ελεγκτή

Η μία είσοδος που προσθέσαμε στον ελεγκτή μας αυτομάτως αλλάζει τους κανόνες, οι οποίοι με τη σειρά τους γίνονται ως εξής :

IF (error steam flow is poli megalo) AND (derivative is positive) AND (drum pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is open fast).

IF (error steam flow is poli megalo) AND (derivative is negative) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).

IF (error steam flow is megalo) AND (derivative is positive) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is open slow) AND (heat is open slow).

IF (error steam flow is megalo) AND (derivative is zero) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is open slow) AND (heat is open slow).

IF (error steam flow is megalo) AND (derivative is negative) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is close slow) AND (heat is close slow).

IF (error steam flow is mikro) AND (derivative is positive) AND (drum

Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is open slow) AND (heat is open slow).

IF (error steam flow is mikro) AND (derivative is zero) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is close slow) AND (heat is close slow).

IF (error steam flow is mikro) AND (derivative is negative) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).

IF (error steam flow is poli mikro) AND (derivative is positive) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is close slow).

IF (error steam flow is poli mikro) AND (derivative is zero) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is close slow) AND (heat is close slow).

IF (error steam flow is mikro) AND (derivative is negative) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).

IF (error steam flow is mideniko) AND (derivative is zero) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).

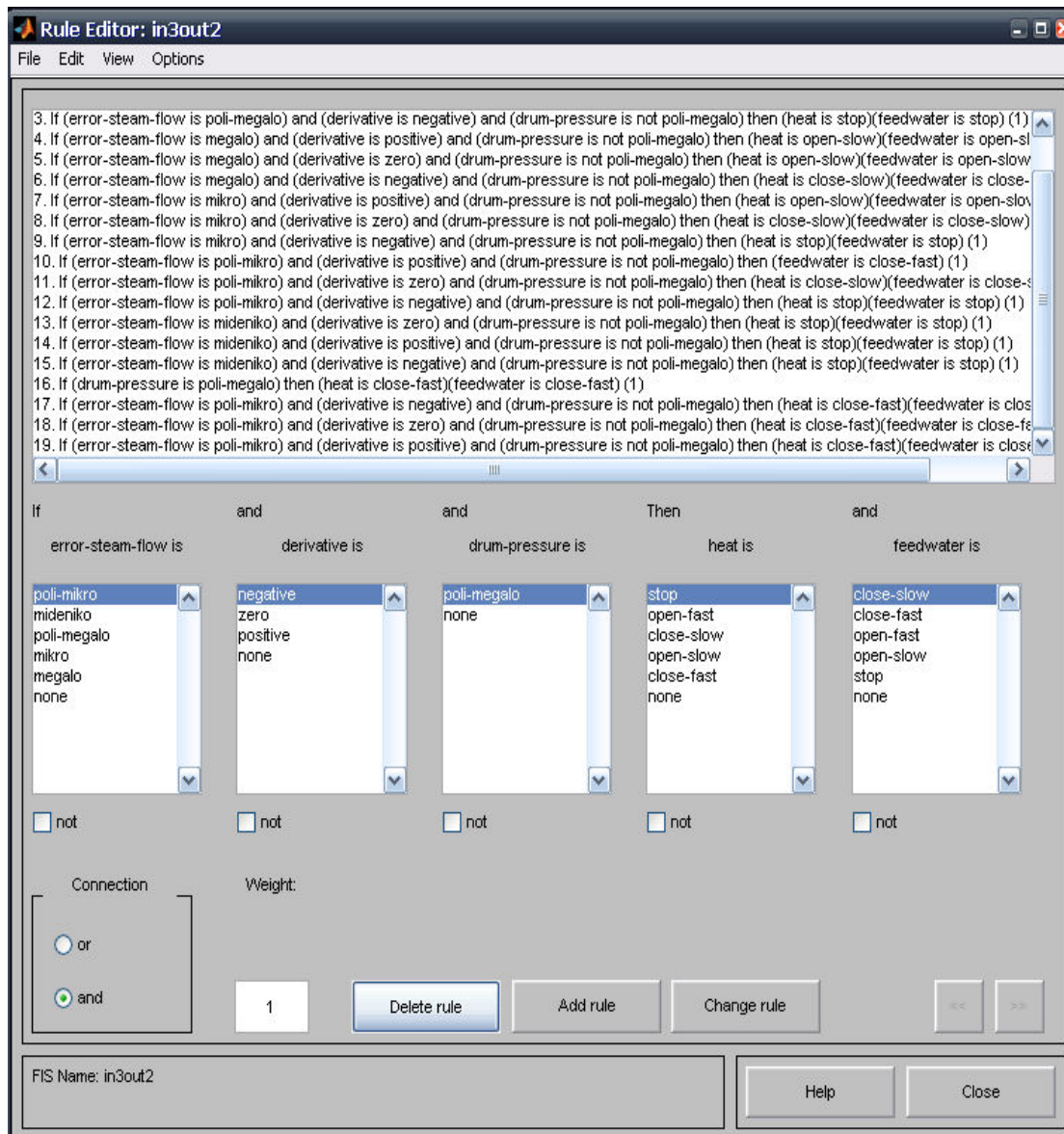
IF (error steam flow is mideniko) AND (derivative is positive) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).

IF (error steam flow is mideniko) AND (derivative is negative) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is stop) AND (heat is stop).

IF (drum pressure is poli-megalo) THEN (heat is close fast) AND (feedwater is close fast).

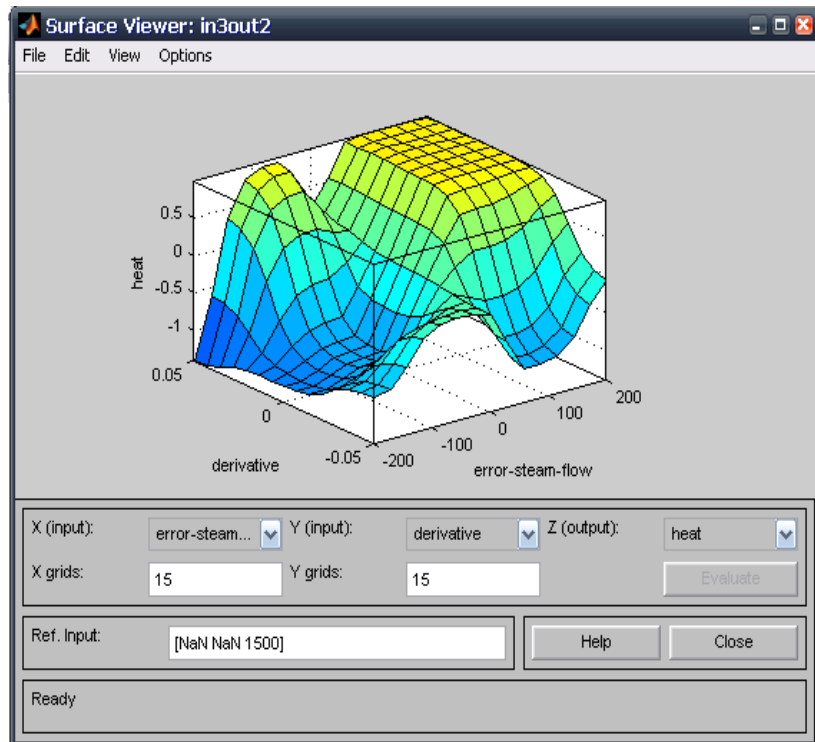
IF (error steam flow is poli-mikro) AND (derivative is negative) AND (drum Pressure is not poli megalo) THEN (feedwater is close fast) AND (heat is close fast).

IF (error steam flow is poli-mikro) AND (derivative is negative) AND (drum Pressure is poli megalo) THEN (feedwater is close-fast) AND (heat is close-fast).



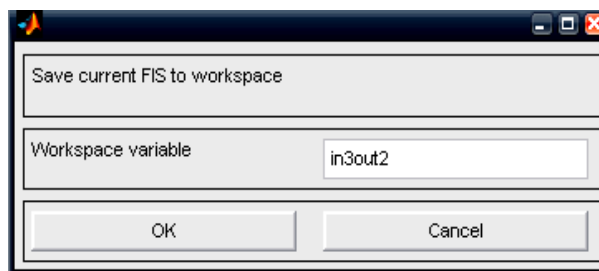
Σχήμα 4.34 Rule Editor του ελεγκτή

Στο διάγραμμα 4.35 απεικονίζεται η επιφάνεια των εξόδων του ελεγκτή σε σχέση με τις είσοδο του ελεγκτή.



Σχήμα 4.35 Surface Viewer των εξόδων του ασαφή ελεγκτή για τις εισόδους της θερμοκρασίας, της τροφοδοσίας νερού και της drum pressure

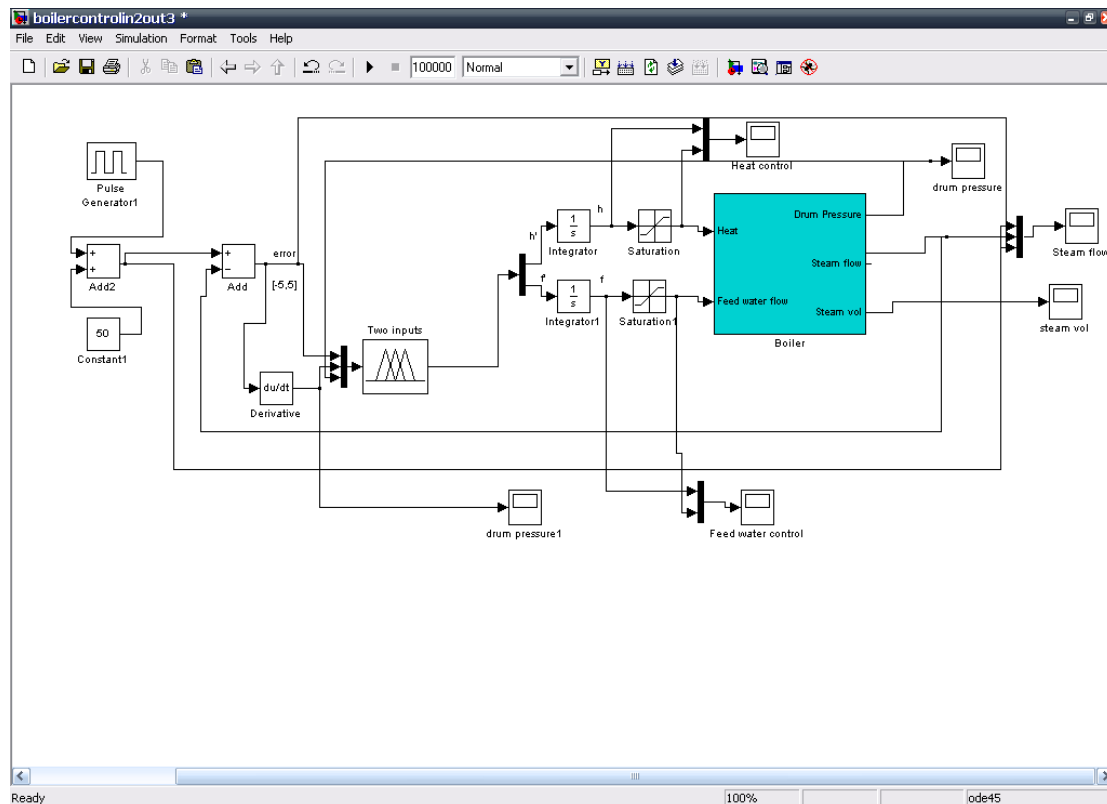
Αφού σχεδιάσουμε πλήρως τον ελεγκτή, τον κάνουμε εξαγωγή στο MATLAB από το File -> Export -> To Workspace με ένα όνομα, έστω in3out2, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.36.



Σχήμα 4.36 Αποθήκευση ελεγκτή με το όνομα in3out2

#### 4.4.2 Το μοντέλο του boiler στο Simulink

Τώρα το μοντέλο του boiler στο Simulink, με τις τρεις εισόδους του ελεγκτή και τις δύο εξόδους του διαμορφώνεται όπως φαίνεται στο σχήμα 4.37

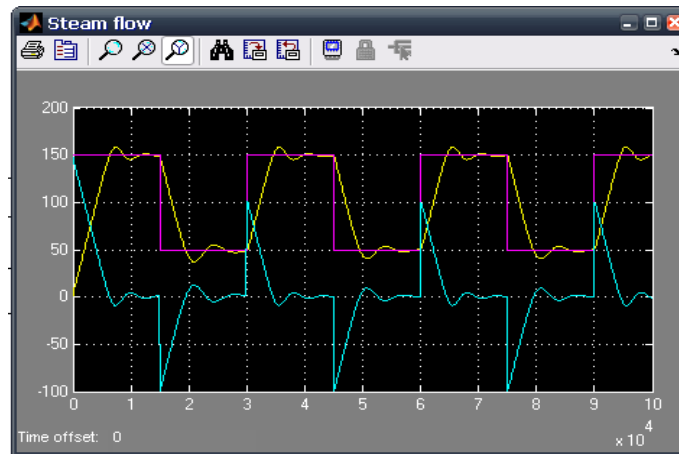


Σχήμα 4.37 Τελικό μοντέλο boiler με ελεγκτή in3out2

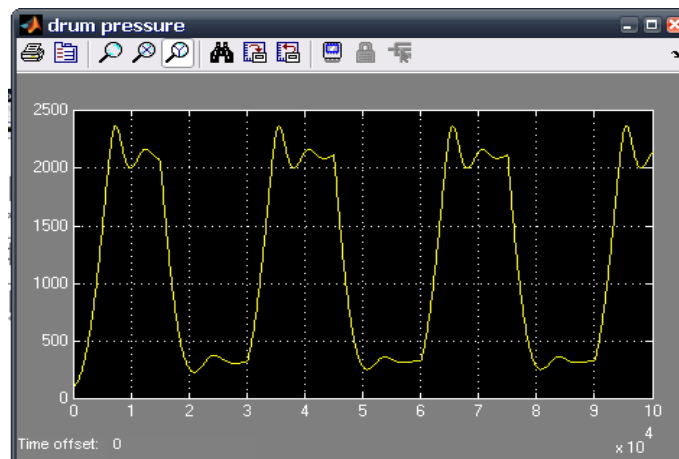
Με το πάτημα του κουμπιού εκτέλεσης, εκτελείται το μοντέλο του boiler και εμφανίζονται δύο διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται τα αποτελέσματα των δύο εξόδων του boiler που είναι η ροή του ατμού (steam flow) και η πίεση των τοιχιών του δοχείου του boiler (drum pressure)(σχήματα 4.38 και 4.39 αντίστοιχα).

Με ροζ διακρίνεται η επιθυμητή τιμή της ροής του ατμού που δόθηκε σαν είσοδος στο Simulink με τη μορφή παλμού, ίδια με αυτή που δόθηκε και στη σχεδίαση του πρώτου ελεγκτή, με κίτρινο διακρίνεται η πραγματική τιμή του ατμού που παράγεται έπειτα από τις λειτουργίες που εκτελεί ο ελεγκτής που σχεδιάσαμε και με θαλασσί διακρίνεται η μεταβολή του σφάλματος της ροής ατμού του boiler. Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα δεν έχουν αλλάξει σε σχέση με τον δεύτερο ελεγκτή μας, καθώς η πίεση των τοιχιών του boiler δεν βρίσκεται σε επικίνδυνα επίπεδα και δεν χρειάζεται καμία παρέμβαση από τον ελεγκτή μας για να την επαναφέρει στα φυσιολογικά επίπεδα. (Σχήμα 4.38 και Σχήμα 4.39).





Σχήμα 4.38 Απεικόνιση επιθυμητής και πραγματικής ροής ατμού για καθώς και της μεταβολής του σφάλματος της ροής ατμού για τον ελεγκτή in3out2



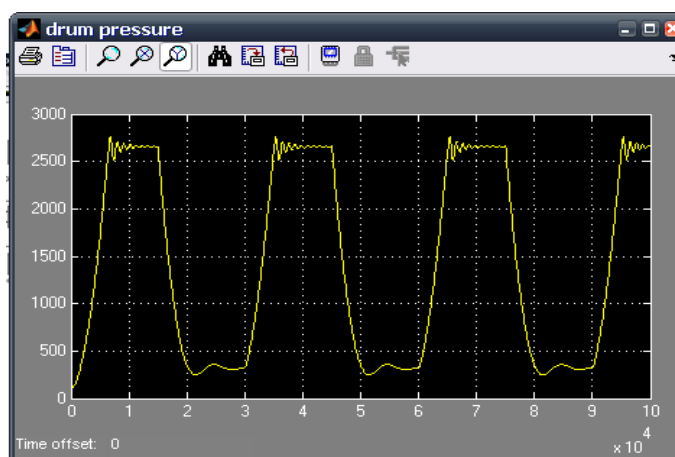
Σχήμα 4.39 Απεικόνιση της μεταβλητής drum pressure του ελεγκτή in3out2

Όταν αυξήσουμε την παραγωγή της ροής ατμού τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά. Ως τιμή στόχο για την επιθυμητή ροή ατμού θέτουμε τα  $200\text{m}^3$ . Όπως είδαμε και στην περίπτωση του δεύτερου ελεγκτή μας, η πίεση των τοιχίων του boiler (drum pressure) εκτοξεύεται στα  $4000\text{N/m}^2$ . Έχοντας ως δεδομένο από τα αρχικά στοιχεία του μοντέλου του boiler ότι η πίεση των τοιχίων του δοχείου του boiler δεν πρέπει να ξεπερνά τα  $3000\text{N/m}^2$  προσθέσαμε μία είσοδο στον ελεγκτή μας που ελέγχει τα όρια αυτά. Έτσι λοιπόν όταν η επιθυμητή ροή ατμού είναι  $200\text{ m}^3$  παρατηρούμε στο σχήμα ότι δεν επιτυγχάνεται αυτό το αποτέλεσμα διότι αυξάνεται επικίνδυνα η πίεση μέσα στο boiler και υπάρχει ο κίνδυνος της έκρηξης του. Ο ελεγκτής διατηρεί την πίεση των τοιχίων του boiler μέσα στα προβλεπόμενα όρια ασφαλείας με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν να παραχθεί η επιθυμητή ροή ατμού.

Η μέγιστη ροή του ατμού που μπορεί να εξέλθει από το boiler είναι της τάξεως των 180 m<sup>3</sup>.



Σχήμα 4.40 Απεικόνιση επιθυμητής και πραγματικής ροής ατμού για καθώς και της μεταβολής του σφάλματος της ροής ατμού για τον ελεγκτή in3out2



Σχήμα 4.41 Απεικόνιση της μεταβλητής drum pressure του ελεγκτή in3out2

Ολοκληρώνοντας την σχεδίαση των ελεγκτών καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο καταλληλότερος ελεγκτής που ανταποκρίνεται καλύτερα στο μοντέλο του boiler των Åström – Bell που μελετάμε είναι ένας ελεγκτής που αποτελείται από τρεις εισόδους (σφάλμα της ροής του ατμού, ρυθμός μεταβολής του σφάλματος, πίεση τοιχίων του boiler) και δύο εξόδους (θερμοκρασία και τροφοδοσία νερού). Για την σχεδίαση του τελικού ελεγκτή χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος συμπερασμού αυτή που βασίζεται στη συνεπαγωγή Mamdani. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιεί τον τελεστή max, επιλέγεται δηλαδή η μέγιστη τιμή μιας σειράς πραγματικών αριθμών σε

ελάχιστο χρόνο και με ελάχιστο υπολογιστικό έργο. Όπως είδαμε και παραπάνω τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά. Για να μπορεί να γίνεται λόγος τελικά για έναν ολοκληρωμένο ελεγκτή κρίνεται απαραίτητο να μελετήσουμε και την συμπεριφορά του σε εξωτερικές διαφορές καθώς και στον θόρυβο. Με τη συμπεριφορά του ελεγκτή σε διάφορες βαθμίδες θορύβου θα ασχοληθούμε στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

## ΕΥΡΩΣΤΙΑ ΤΟΥ ΑΣΑΦΗ ΕΛΕΓΚΤΗ

### 5.1 Εισαγωγή Θορύβου Στο Σύστημα Του boiler

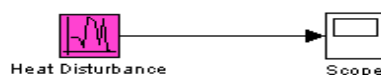
Προτού να γίνει εισαγωγή θορύβου στο σύστημα πρέπει πρώτα να γίνει μία αναφορά στην έννοια του θορύβου. **Θόρυβος** ονομάζεται μία τυχαία ενέργεια που παρεμβάλλεται στο σήμα της πληροφορίας (συχνά αναφέρεται και ως παράσιτο) και αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα σε οποιοδήποτε σύστημα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο θόρυβος που παρεμβάλλεται στο σήμα, τόσο περισσότερο η λήψη της πληροφορίας καθίσταται αναξιόπιστη.

Ο θόρυβος χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: α) στον **εξωτερικό** που προέρχεται από βιομηχανικές, ατμοσφαιρικές ή διαστημικές πηγές και β) στον **εσωτερικό θόρυβο** που προέρχεται από το ίδιο το σύστημα.

Ο εσωτερικός θόρυβος προκαλείται συχνά από ένα φαινόμενο που ονομάζεται θερμική διέγερση και είναι ουσιαστικά μια τυχαία κίνηση των ηλεκτρονίων σε ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα εξαιτίας της αύξησης της θερμότητας. Η κίνηση αυτή των ηλεκτρονίων προκαλεί μία μικρή τάση στα άκρα του εξαρτήματος. Η θερμική διέγερση συχνά αναφέρεται ως **λευκός θόρυβος** ή **θόρυβος του Johnson**.

Στο σύστημα του boiler θα προστεθεί θόρυβος για να φανεί η αποδοτικότητα του ασαφή ελεγκτή. Η εισαγωγή θορύβου θα γίνει για την έξοδο heat (θερμοκρασία) του ελεγκτή. Επίσης ο παλμός που δίνεται κάθε φορά είναι τυχαίος (step).

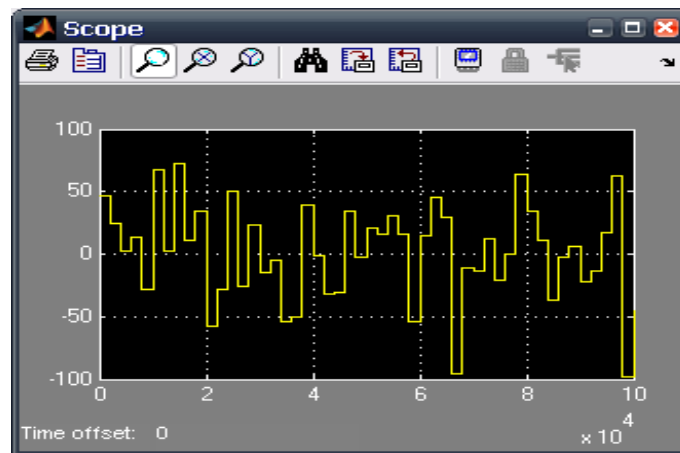
Στο σχήμα 5.1 φαίνεται το block του θορύβου (white noise) να συνδέεται με το block του παλμογράφου (scope). Το μέγεθος του θορύβου απεικονίζεται στο σχήμα 5.2. Στη συνέχεια όποτε θα γίνεται λόγος για τιμή θορύβου, θα εννοείται ότι αυτή η τιμή είναι ανάλογη της αρχικής που διακρίνεται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.1 Block του θορύβου του Simulink

## 5.2 Εισαγωγή Θορύβου ίδια με το πρότυπο μοντέλο

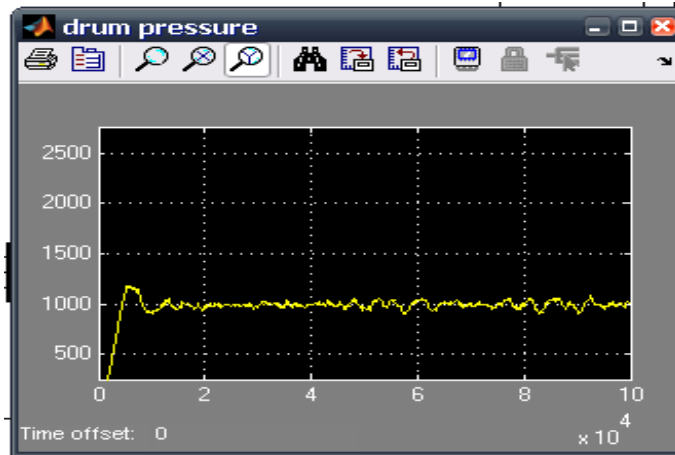
Εισάγουμε στο σύστημα θόρυβο της τάξης των 1600. Στα σχήματα 5.3 και 5.4 παρατηρούμε κατά πόσο ο θόρυβος αυτός επηρεάζει τα αποτελέσματα της ροής του ατμού για  $100\text{m}^3$  και κατά επέκταση και την τιμή της μεταβλητής drum pressure, ενώ στα σχήματα 5.5 και 5.6 βλέπουμε κατά πόσο η ροή ατμού και η πίεση των τοιχιών του boiler επηρεάζονται για διάφορες τιμές.



Σχήμα 5.2 Απεικόνιση του μεγέθους του θορύβου



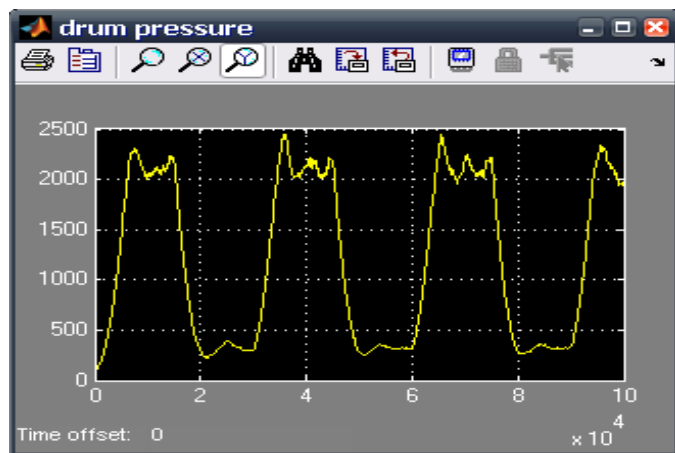
Σχήμα 5.3 Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 1600 στην θερμοκρασία του boiler



Σχήμα 5.4 Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θορύβου 1600 στην θερμοκρασία του boiler



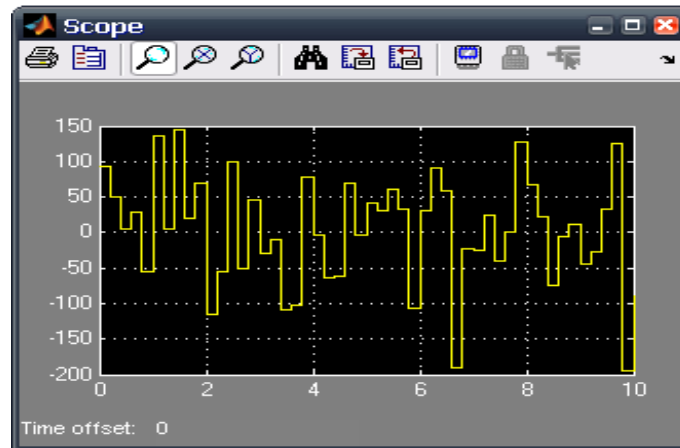
Σχήμα 5.5 Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 1600 στην θερμοκρασία του boiler



Σχήμα 5.6 Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θορύβου 1600 στην θερμοκρασία του boiler

### 5.3 Διπλασιασμός Θορύβου

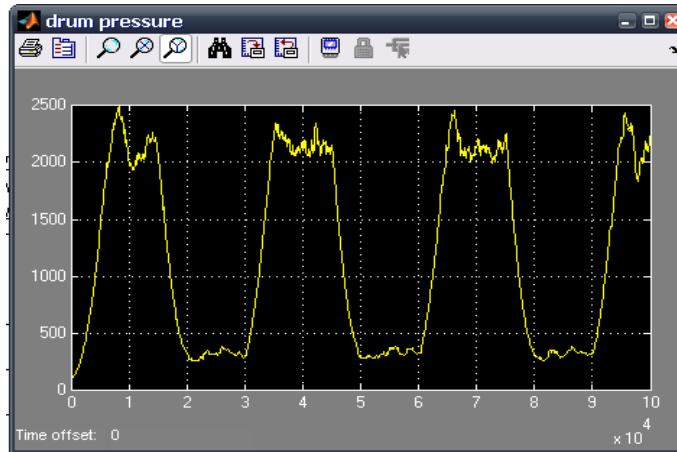
Διπλασιάζουμε τον θόρυβο, όπως διακρίνεται στο σχήμα 5.7 και παρατηρούμε ότι ακόμη δεν υπάρχουν μεγάλες παρεμβολές (Σχήμα 5.8 έως 5.11). Ο ελεγκτής μας συνεχίζει να συμπεριφέρεται αρκετά καλά ακόμη.



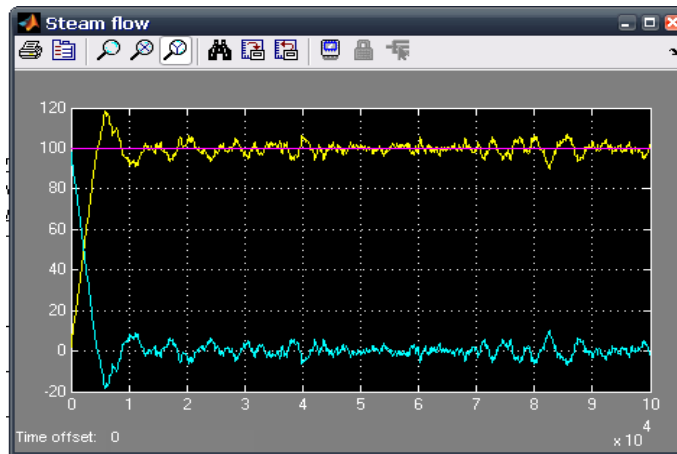
Σχήμα 5.7 Απεικόνιση του μεγέθους του θορύβου



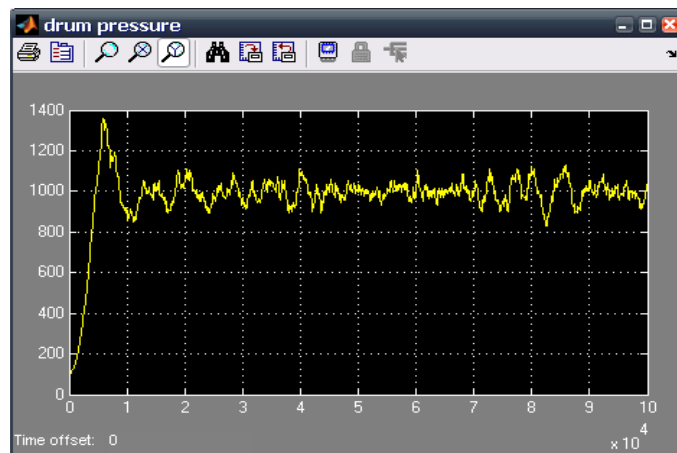
Σχήμα 5.8 Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 3200 στην θερμοκρασία του boiler



Σχήμα 5.9 Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θερύβου 3200 στην θερμοκρασία του boiler



Σχήμα 5.10 Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θερύβου 3200 στην θερμοκρασία του boiler

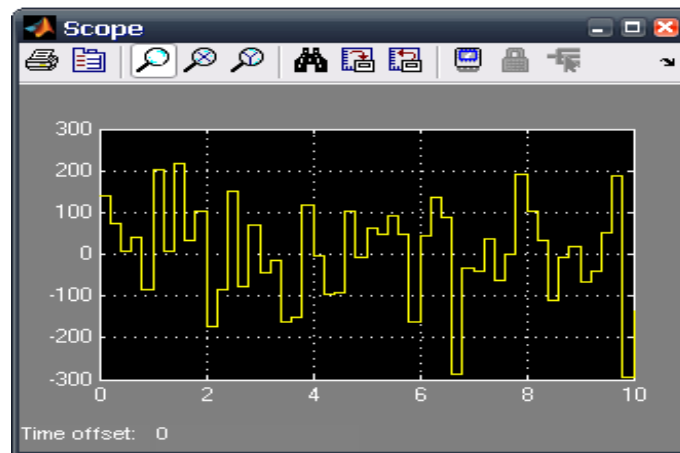


Σχήμα 5.11 Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θερύβου 3200 στην θερμοκρασία του boiler

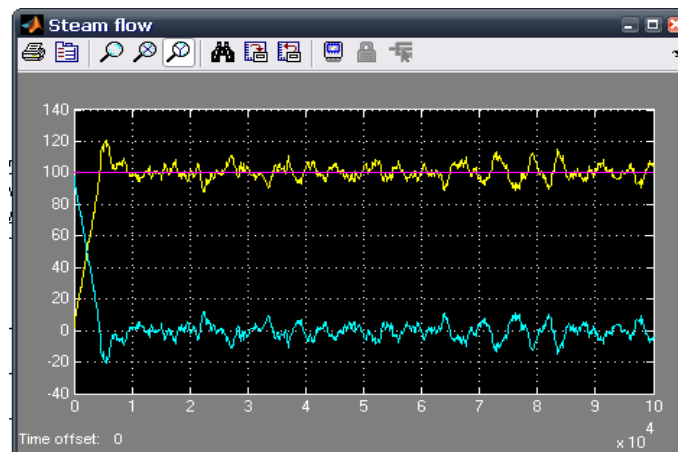


## 5.4 Τριπλασιασμός θορύβου

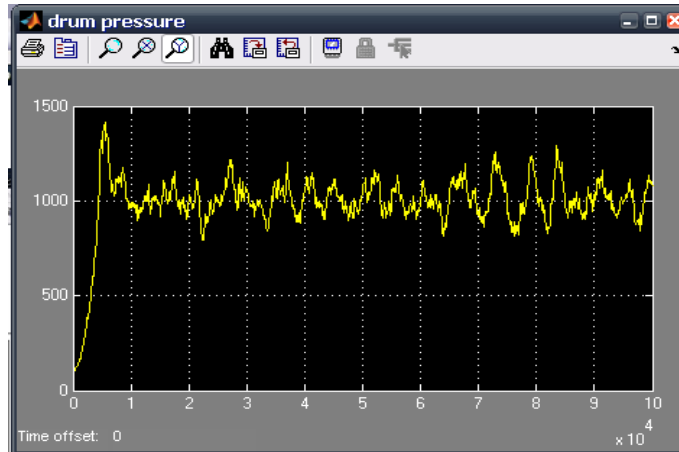
Τριπλασιάζουμε τον θόρυβο, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.12 και παρατηρούμε ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα των μετρήσεων μας. Η ροή ατμού δεν μπορεί να φτάσει στην επιθυμητή τιμή της αλλά και η πίεση των τοιχείων του boiler πλησιάζει ως προς τις ανώτερες τιμές του στα όρια ασφαλείας του δοχείου. Ο ελεγκτής μας παρόλα αυτά δεν συνεχίζει να έχει μεγάλες αποκλίσεις και συμπεριφέρεται αρκετά καλά.



Σχήμα 5.12 Απεικόνιση του μεγέθους του θορύβου



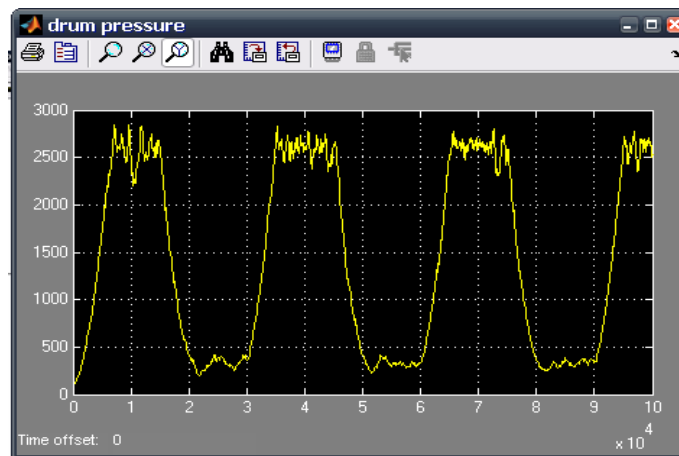
Σχήμα 5.13 Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 4800 στην θερμοκρασία του boiler



Σχήμα 5.14 Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θορύβου 4800 στην θερμοκρασία του boiler



Σχήμα 5.15 Απεικόνιση της ροής ατμού για εισαγωγή θορύβου 4800 στην θερμοκρασία του boiler



Σχήμα 5.16 Απεικόνιση της πίεσης των τοιχίων για εισαγωγή θορύβου 4800 στην θερμοκρασία του boiler

Έχοντας ολοκληρώσει τη σχεδίαση του ελεγκτή εξασφαλίζοντας την καλή συμπεριφορά του σε διάφορες συνθήκες καθώς και εντοπίσαμε τα επίπεδα του θορύβου στα οποία είναι ανεκτικός, επόμενο βήμα είναι με κάποιο τρόπο να συνδέσουμε σε δίκτυο δύο υπολογιστές όπου στο πρώτο θα τρέχει το μοντέλο του boiler στο MATLAB ενώ ο δεύτερος ηλεκτρονικός υπολογιστής θα παίζει το ρόλο του ελεγκτή. Η επικοινωνία των δύο υπολογιστών θα γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου OPC (Ole for Process Control) που υποστηρίζεται από το MATLAB μέσω του OPC Toolbox. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στο τι είναι OPC, πώς μπορούμε να διαβάσουμε και να γράψουμε σε έναν OPC Server, πώς γίνεται η σύνδεση και με ποιο τρόπο και τελικά θα συνδέσουμε τον ελεγκτή που σχεδιάσαμε παραπάνω με σκοπό να διαβάζουμε μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο και να παρακολουθούμε την εξέλιξη των μεταβλητών .

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

## OPC TOOLBOX ΤΟΥ MATLAB

### 6.1 Τι είναι OPC

Η προδιαγραφή OPC προσφέρει ένα τυποποιημένο τρόπο για την εξαγωγή των παραμέτρων παρακάμπτοντας κλειστούς και ιδιοκτησιακούς τρόπους επικοινωνίας μεταξύ εφαρμογών και βιομηχανικής διεργασίας. Η προδιαγραφή OPC που στηρίζεται στις τεχνολογίες COM και DCOM της Microsoft υπαγορεύει κατά κύριο λόγο το πλαίσιο προσπέλασης εφαρμογών σε δεδομένα (data access) που αφορούν σε μια βιομηχανική διεργασία κατά τη φάση της εκτέλεσης της. Υπεύθυνος για την εξαγωγή των παραμέτρων από το δίκτυο πεδίου είναι ο OPC Server. Αναλυτική αναφορά στο OPC γίνεται στη συνέχεια.

Σήμερα οι περισσότεροι από τους κατασκευαστές βιομηχανικού λογισμικού υποστηρίζουν την τεχνολογία OPC στα προϊόντα τους. Σαν αποτέλεσμα η συντριπτική πλειοψηφία των clients που είναι διαθέσιμοι στην αγορά και επιτρέπουν παρακολούθηση και έλεγχο βιομηχανικής διεργασίας είναι βασισμένοι στην OPC διεπαφή. Το γεγονός αυτός μας οδήγησε στην απόφαση να υιοθετήσουμε την OPC διεπαφή και να διατηρήσουμε συμβατότητα προς αυτή.

Η προδιαγραφή OPC υπαγορεύει κατά κύριο λόγο το πλαίσιο προσπέλασης εφαρμογών σε δεδομένα (data access) που αφορούν σε μια βιομηχανική διεργασία κατά τη φάση εκτέλεσης της. Τα δεδομένα δημιουργούνται σε πραγματικό χρόνο από τη βιομηχανική διεργασία (π.χ. ένας βρόγχος ελέγχου PID). Η εποπτεία κρίσιμων παραμέτρων είναι επιτακτική ανάγκη σε ένα σύστημα βιομηχανικής αυτοματοποίησης και ως εκ τούτου, η προδιαγραφή OPC δημιουργεί ένα 'παράθυρο' στην εξέλιξη της διεργασίας για την παρακολούθηση της, χωρίς βέβαια να παραβιάζεται η λειτουργία της. Με τον τρόπο αυτό οι τιμές των παραμέτρων της διεργασίας εξάγονται από την κλειστή νησίδα αυτοματοποίησης και προσφέρονται σε εφαρμογές παρακολούθησης, ελέγχου, οπτικοποίησης και αποθήκευσης. Η προδιαγραφή OPC προσφέρει ένα μοναδικό και τυποποιημένο τρόπο για την εξαγωγή των παραμέτρων παρακάμπτοντας κλειστούς και ιδιοκτησιακούς τρόπους επικοινωνίας μεταξύ εφαρμογών και διεργασίας. Υπεύθυνος για την εξαγωγή των

παραμέτρων με τη μορφή αντικειμένων είναι ο OPC Server. Τυπικό είναι το σενάριο διαφορετικών OPC clients (όπως εφαρμογές SCADA, Excel) να συνδέονται μέσω του δικτύου με τον OPC Server. Λόγω ότι τα προϊόντα της Microsoft είναι ιδιαίτερα δημοφιλή, ανάλογη είναι και η υιοθέτηση του OPC. Παρακάτω θα μελετήσουμε τον I CONICS Simulator OPC Server 3.13 και η σύνδεση του με το OPC Toolbox του πακέτου MAT LAB.

## 6.2 OPC Toolbox™ 2.1.1

Το MATLAB και το Simulink επεκτείνονται στο πακέτο OPC Toolbox που με τα εργαλεία του μπορεί να αλληλεπιδρά με διάφορους OPC servers. Μπορεί να διαβάζει, να γράφει, και να συνδέεται με τα OPC δεδομένα από συσκευές που συμμορφώνονται με το OPC Data Access πρότυπο, όπως μπορεί να διανέμει συστήματα ελέγχου, εποπτείας και ελέγχου των συστημάτων απόκτησης δεδομένων. Η εργαλειοθήκη του MATLAB και του Simulink παρέχουν τη δυνατότητα να δοθούν απαντήσεις σε έναν OPC server ή OPC Toolbox. Μηχανικοί σε διάφορους τομείς όπως η χημεία, η φαρμακευτική, η ηλεκτροπαραγωγή καθώς και σε άλλες βιομηχανίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την εργαλειοθήκη για την εισαγωγή δεδομένων στο MATLAB για την ανάλυση, την οπτικοποίηση της προσομοίωσης, και την ταχεία προτυποποίηση των αλγορίθμων. Αυτό επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν τα Simulink μοντέλα στο διαδικτυακό εποπτικό έλεγχο και υπεύθυνος της δοκιμής (hardware-in-the-loop) εφαρμογών.

### 6.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά

Τα βασικά χαρακτηριστικά του OPC Toolbox™ 2.1.1 είναι τα εξής :

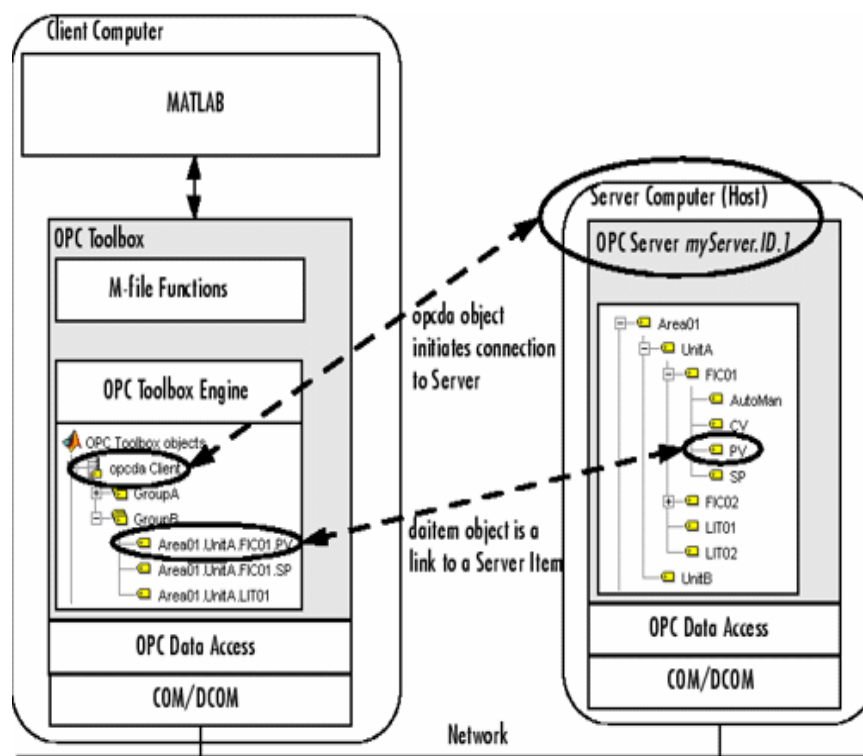
- Υποστηρίζει το OPC Data Access πρότυπο v2.05a
- Το MATLAB δίνει τη δυνατότητα να διαβάζουν και να γράφουν από τους OPC servers χρησιμοποιώντας σύγχρονες ή ασύγχρονες πράξεις
- Υποστηρίζει την ταυτόχρονη καταγραφή των δεδομένων και την αριθμητική επεξεργασία
- Υποστηρίζει πολλαπλές και ταυτόχρονες συνδέσεις σε διακομιστές OPC .

## 6.2.2 Συνεργασία με το OPC Toolbox

Το OPC Toolbox παρέχει τρεις τρόπους για την εφαρμογή ενός OPC Data Access Client. Μπορεί να:

- Εκτελεί όλες τις λειτουργίες απευθείας από το command line του MATLAB ή να ενσωματώνεται σε διάφορες εφαρμογές του MATLAB
- Χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη Simulink Blockset μπορούμε να διαβάζουμε και να γράφουμε δεδομένα από και προς τον OPC server.
- Χρησιμοποιώντας το graphical user interface (GUI) για την ταχεία σύνδεση στους OPC Servers, μπορούμε να ρυθμίσουμε τα OPC Toolbox αντικείμενα, έτσι ώστε να διαβάζουν και να γράφουν.

## 6.2.3 Σύνδεση MATLAB, OPC TOOLBOX, OPC SERVER

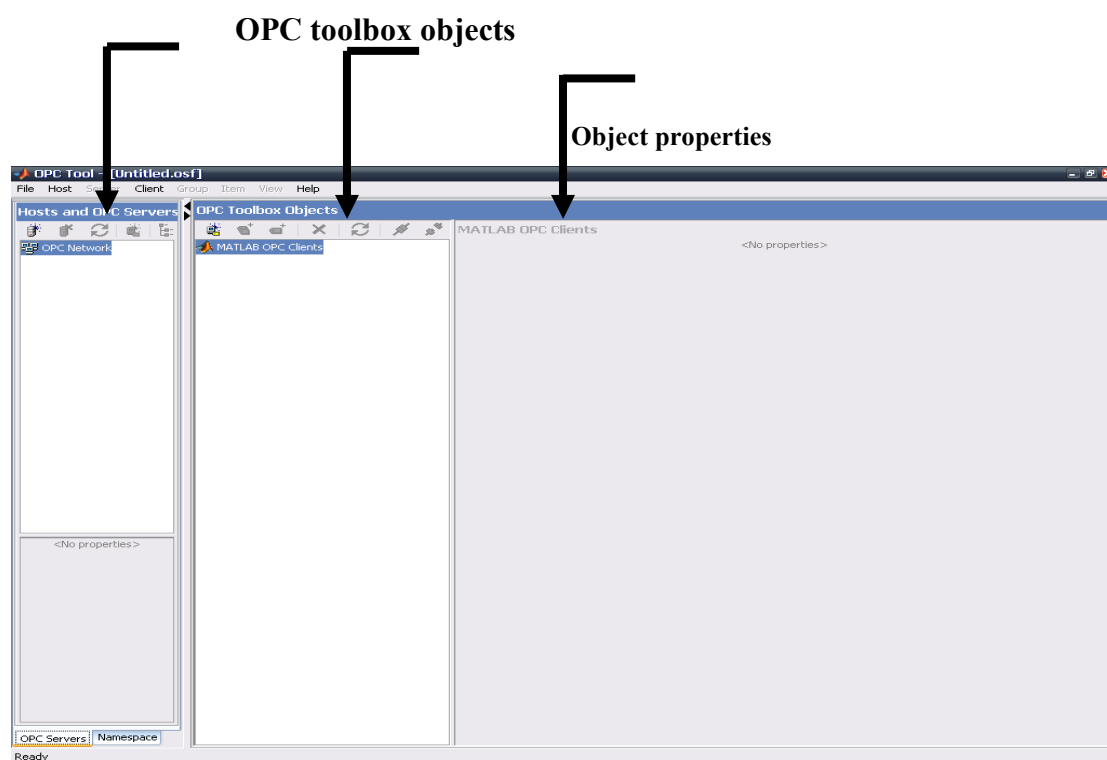


Σχήμα 6.1 Σύνδεση MATLAB, OPC TOOLBOX, OPC SERVER

Στο σχήμα 6.1 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται το MATLAB, το OPC TOOLBOX και ο OPC SERVER. Στο σχήμα 6.2 διακρίνεται το περιβάλλον του

OPC TOOLBOX του MATLAB. Στο αριστερό τμήμα του παραθύρου φαίνονται τα hosts και οι OPC SERVERS, φαίνονται δηλαδή τα ονόματα των OPC servers που είναι εγκατεστημένα. Το hostname (είναι ένα περιγραφικό όνομα όπως «PlantServer» ή μια διεύθυνση IP όπως το 192.168.16.32) είναι απαραίτητο για έναν υπολογιστή που βρίσκεται σε δίκτυο και χρησιμοποιείται από τα πρωτόκολλα πρόσβασης στοιχείων OPC για να καθορίσει τους διαθέσιμους κεντρικούς υπολογιστές OPC σε ένα υπολογιστή καθώς και για να επικοινωνεί με τον υπολογιστή για να εγκαταστήσει μια σύνδεση στον κεντρικό υπολογιστή. Στη δεύτερη στήλη διακρίνονται τα αντικείμενα του OPC TOOLBOX ενώ στην τρίτη στήλη παρουσιάζονται οι ιδιότητες του κάθε αντικειμένου.

### Hosts and OPC servers

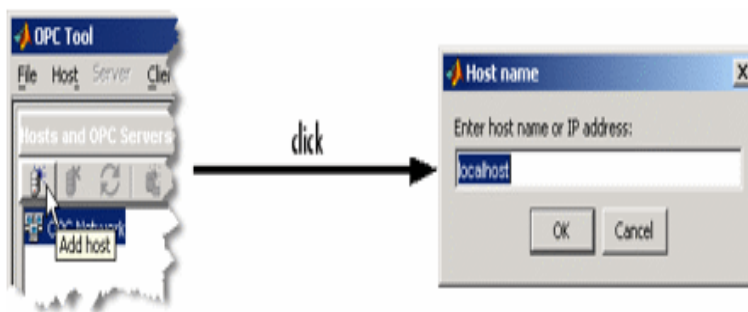


Σχήμα 6. 2 ΤοΠεριβάλλον του OPC Toolbox του MATLAB

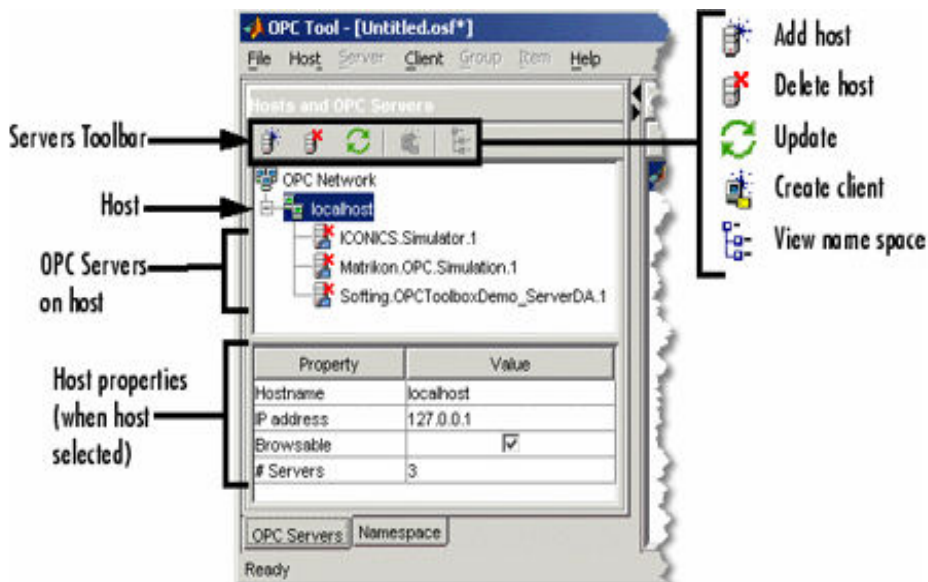
Στη συνέχεια επιλέγουμε το εικονίδιο add host και κάνοντας κλικ πάνω του ανοίγει ένα παράθυρο που μας ζητάει το host name του «οικοδεσπότη» του συστήματος μας που θέλουμε να δημιουργήσουμε. Πληκτρολογούμε localhost και πατάμε OK. Το

localhost θα προστεθεί στην άποψη του δέντρου των δικτύων του OPC και οι κεντρικοί υπολογιστές που συνδέονται σε εκείνον τον οικοδεσπότη θα βρεθούν αυτόματα και θα εμφανιστούν στη λίστα του δέντρου όπως φαίνεται στο σχήμα 6.4.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτό το παράδειγμα, θα χρησιμοποιήσουμε localhost ως hostname, επειδή θα συνδέσουμε τον κεντρικό υπολογιστή OPC στην ίδια μηχανή με τον πελάτη. (Σχήμα 6.3)



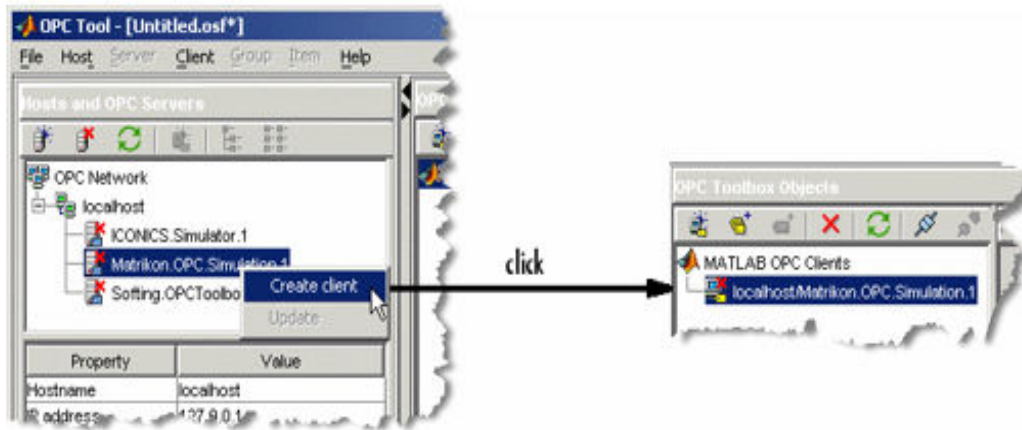
Σχήμα 6.3 Προσθήκη νέου host



Σχήμα 6.4 Εμφάνιση σε μορφή δέντρου των διαθέσιμων OPC servers με τον οικοδεσπότη localhost

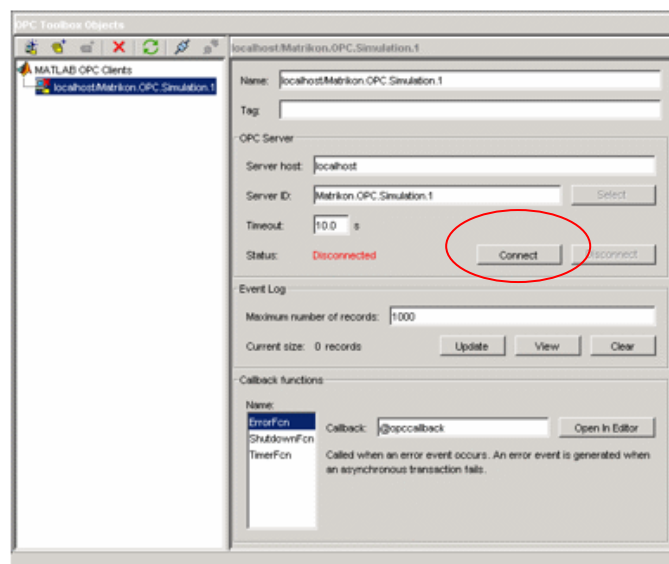


Αφού επιλέξουμε τον OPC server που επιθυμούμε κάνουμε πάνω του δεξί κλικ και επιλέγουμε create client θέλοντας έτσι να δημιουργήσουμε το όνομα του πελάτη (Σχήμα 6.5) . Στην παρούσα εργασία ο οικοδεσπότης είναι ο localhost και ο πελάτης είναι ο I CONICS Simulator OPC Server 3.13

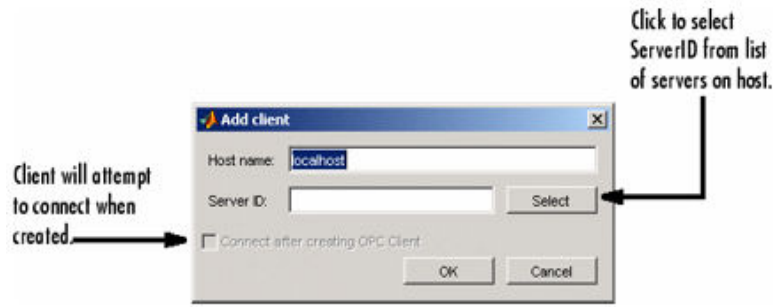


Σχήμα 6.5 Δημιουργία client

Έχοντας δημιουργήσει και τον πελάτη είναι η ώρα να συνδέσουμε τον OPC server μας. Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο connect όπως φαίνεται στο σχήμα 6.6 και ο OPC server μας είναι πλέον συνδεδεμένος.



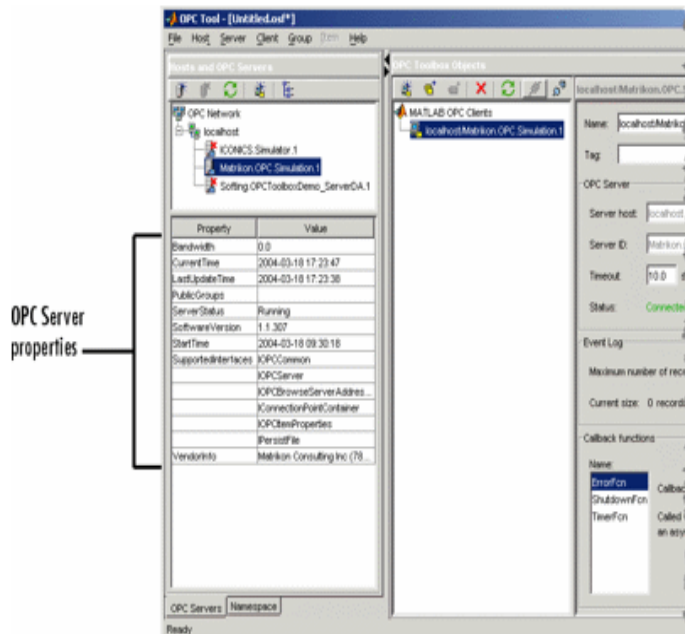
Σχήμα 6.6 Σύνδεση OPC Server



Σχήμα 6.7 Επιλογή του OPC Server

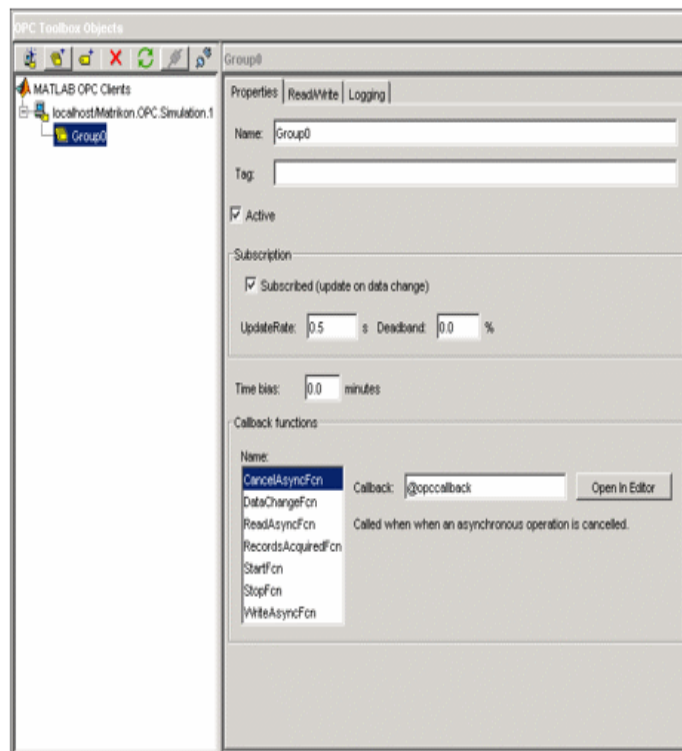


Σχήμα 6.8 Επιλογή του I CONICS Simulator OPC Server 3.13



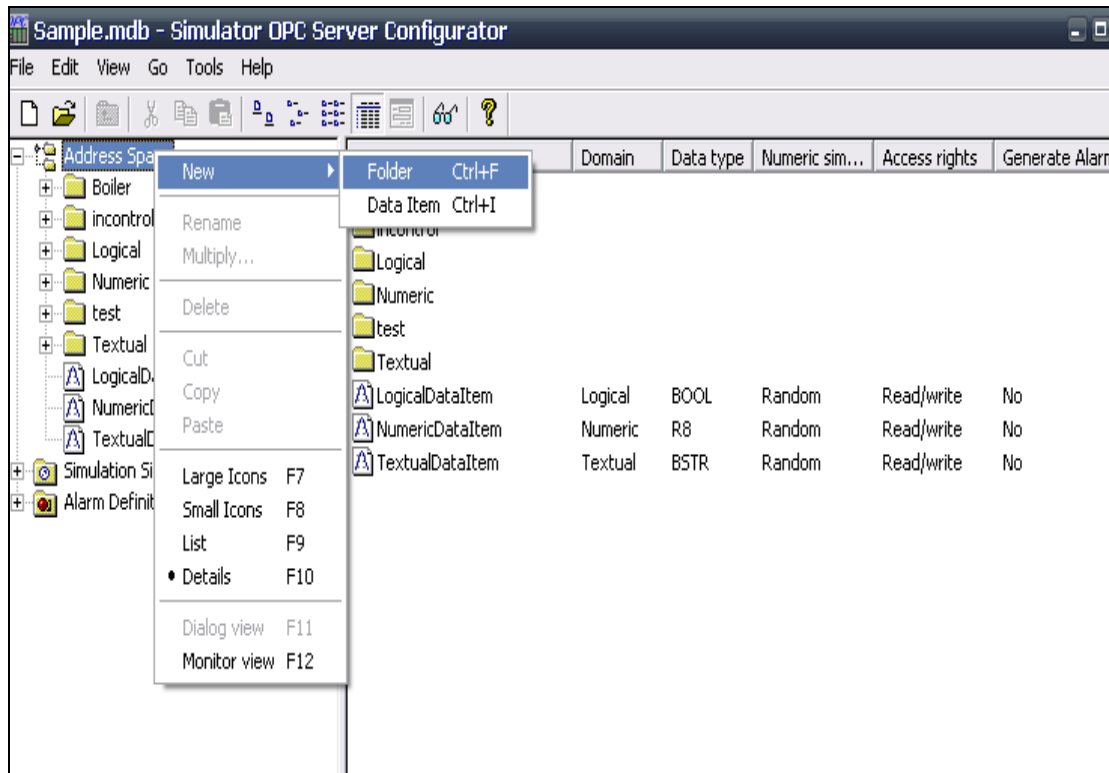
Σχήμα 6.9 Ιδιότητες του OPC Server

Στα σχήματα 6.7, 6.8 και 6.9 βλέπουμε ξανά την επιλογή του κατάλληλου OPC server καθώς και τις ιδιότητες του.



Σχήμα 6.10 Δημιουργία group

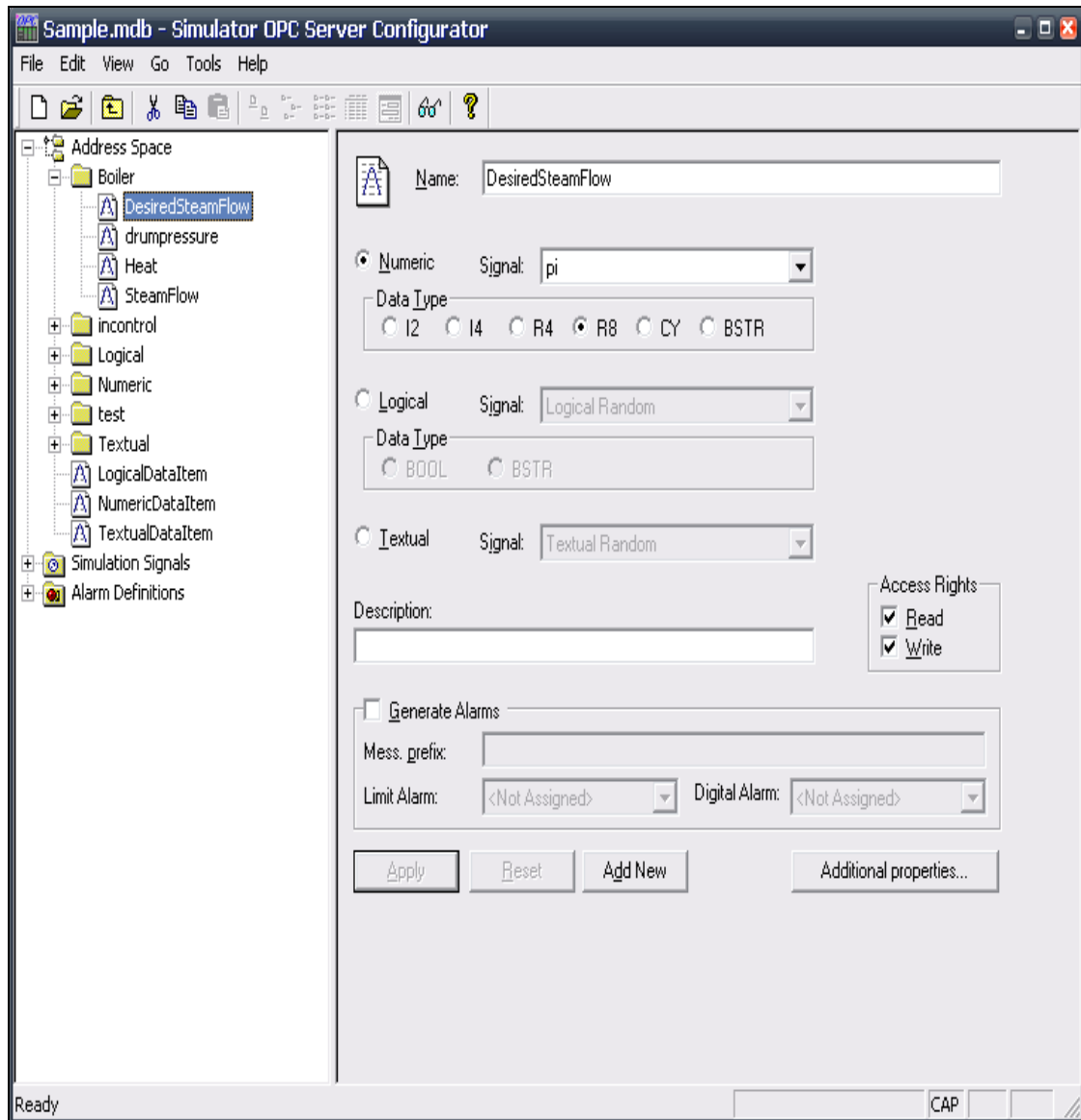
Στη συνέχεια και όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.10 είναι η ώρα για να δημιουργήσουμε μία ομάδα (group) .Το group παίρνει αυτόματα όνομα είτε από τον OPC server, είτε από το OPC Toolbox. Στην περίπτωση μας όμως θα το ονομάσουμε boiler.



Σχήμα 6.11 Δημιουργία group boiler

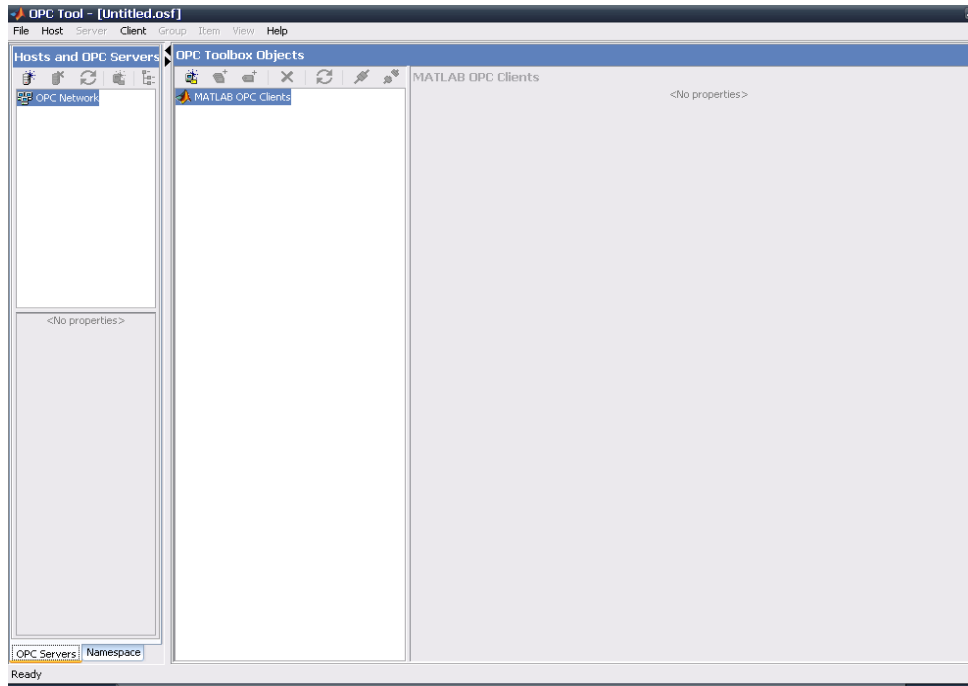
Αφού δημιουργήσουμε το group boiler είναι ώρα να προσθέσουμε τις μεταβλητές από τις οποίες θα διαβάζουμε και θα γράφουμε στον OPC Server μας. Πρέπει στο σημείο αυτό να αναφερθεί το γεγονός ότι υπάρχει περιορισμός στις μεταβλητές που θέλουμε να εισάγουμε λόγω του ότι ο I CONICS Simulator OPC Server 3.13 διατίθεται δωρεάν. Επιλέγουμε λοιπόν να εισάγουμε τις μεταβλητές desired steam flow (επιθυμητή ροή ατμού), drum pressure (πίεση των τοιχίων του boiler), steam flow(ροή ατμού ) και heat (θερμοκρασία με την οποία τροφοδοτείται το boiler για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων). Όλα τα παραπάνω φαίνονται στο σχήμα 6.12.

Επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία των παραπάνω μεταβλητών, δηλαδή το αν πρόκειται για μεταβλητή read, για μεταβλητή write ή για μεταβλητή read/write. Επίσης, επιλέγουμε τον τύπο δεδομένων της κάθε μεταβλητής καθώς και οτιδήποτε άλλο κρίνεται απαραίτητο.



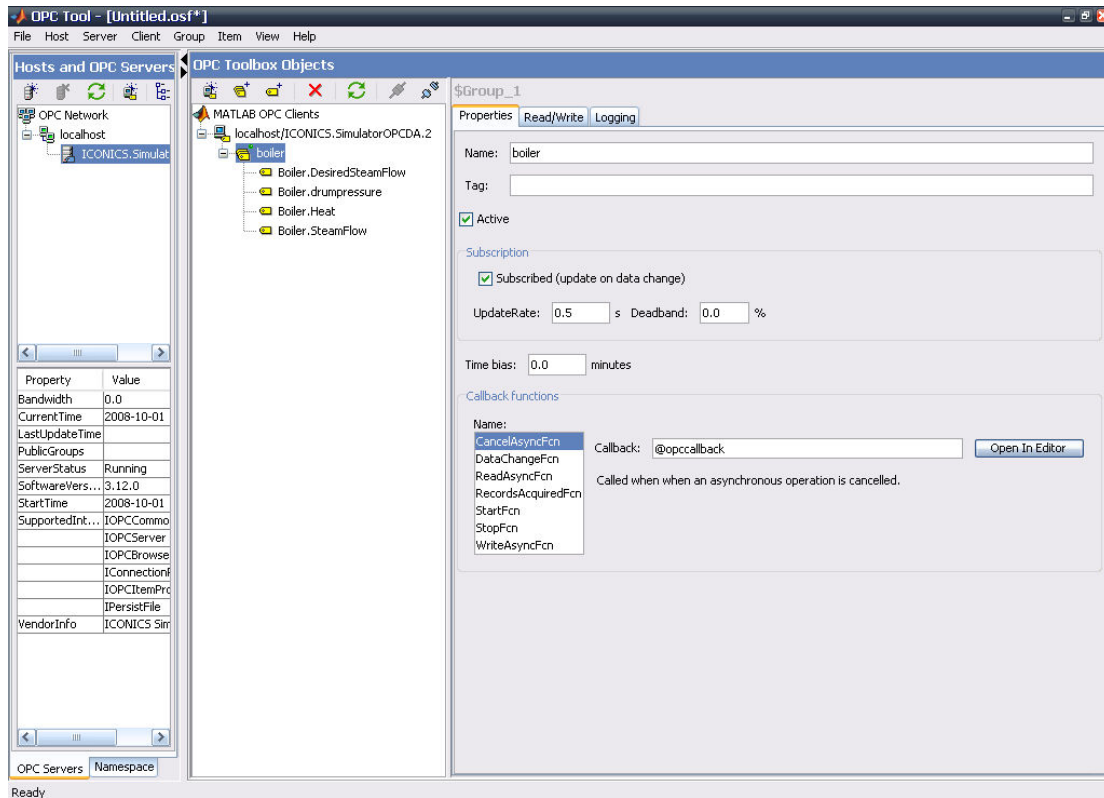
Σχήμα 6.12 Εισαγωγή μεταβλητών στο group boiler

Αφού έχουμε κάνει όλες τις απαραίτητες ενέργειες που περιγράφηκαν παραπάνω ανοίγουμε το MATLAB και ακολουθώντας τη διαδρομή Start->Toolboxes->OPC->OPC Tool οδηγούμαστε στο παράθυρο που διακρίνεται στο σχήμα 6.13.



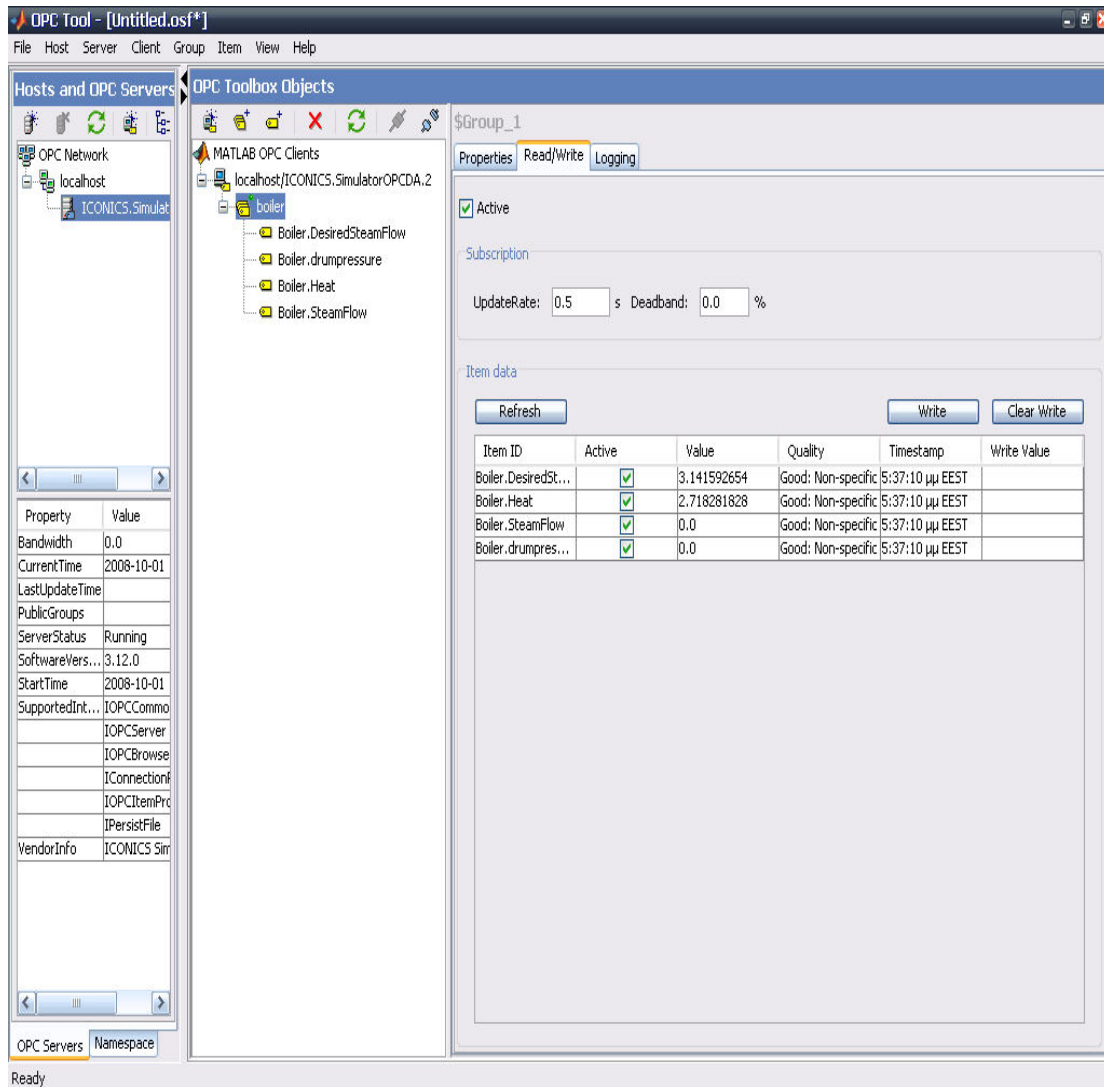
Σχήμα 6.13 OPC Tool του Matlab

Συνδεόμαστε με τον OPC Server μας, προσθέτουμε σε αυτόν το group boiler που δημιουργήσαμε μαζί με όλες τις παραμέτρους και τα δεδομένα του και εμφανίζεται το παράθυρο που διακρίνεται στο σχήμα 6.14



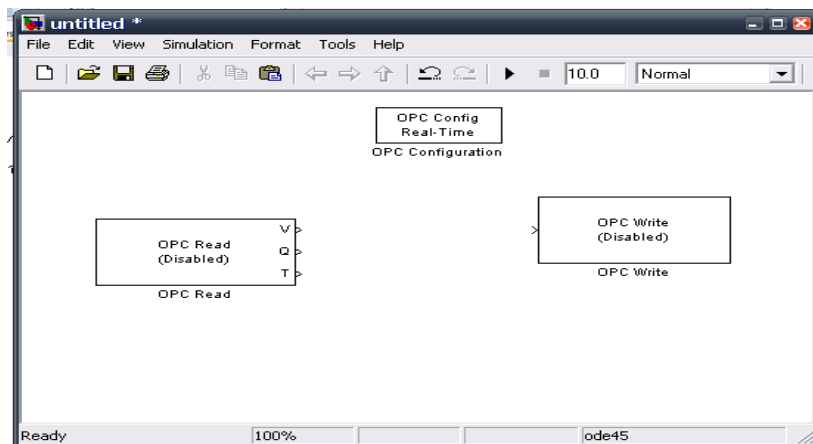
Σχήμα 6.14 Προσθήκη group boiler στον OPC Server

Εάν επιλέξουμε την καρτέλα Read/Write όπως φαίνεται στο σχήμα 6.15 οδηγούμαστε στο σημείο όπου θα μπορούμε να παρακολουθούμε την εξέλιξη των μεταβλητών μας. Πρέπει λοιπόν να συνδέσουμε τον OPC Server μας με το μοντέλο του boiler που σχεδιάσαμε στο Simulink. Κατά την εκτέλεση του μοντέλου του boiler στο Simulink θα βλέπουμε την εξέλιξη των μεταβλητών μας σε πραγματικό χρόνο και θα μπορούμε να συλλέγουμε πληροφορίες για τον τρόπο λειτουργίας του καθώς επίσης και να παρακολουθούμε την εξέλιξη των μεταβλητών γραφικά όπως θα δούμε παρακάτω με κατάλληλη σύνδεση του OPC Server, του μοντέλου του boiler στο Simulink και του γραφικού περιβάλλοντός μας.



Σχήμα 6.15 Παρακολούθηση μεταβλητών μέσω OPC Server

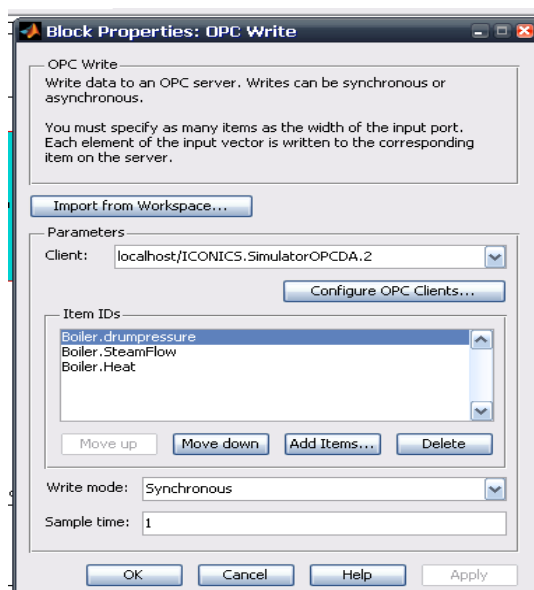
Ανοίγουμε το μοντέλο του boiler που σχεδιάσαμε στο Simulink και προσθέτουμε σε αυτό τα εικονίδια που φαίνονται στο σχήμα 6.16.



Σχήμα 6.16 Blocks OPC Read, OPC Write, OPC Config Real-Time

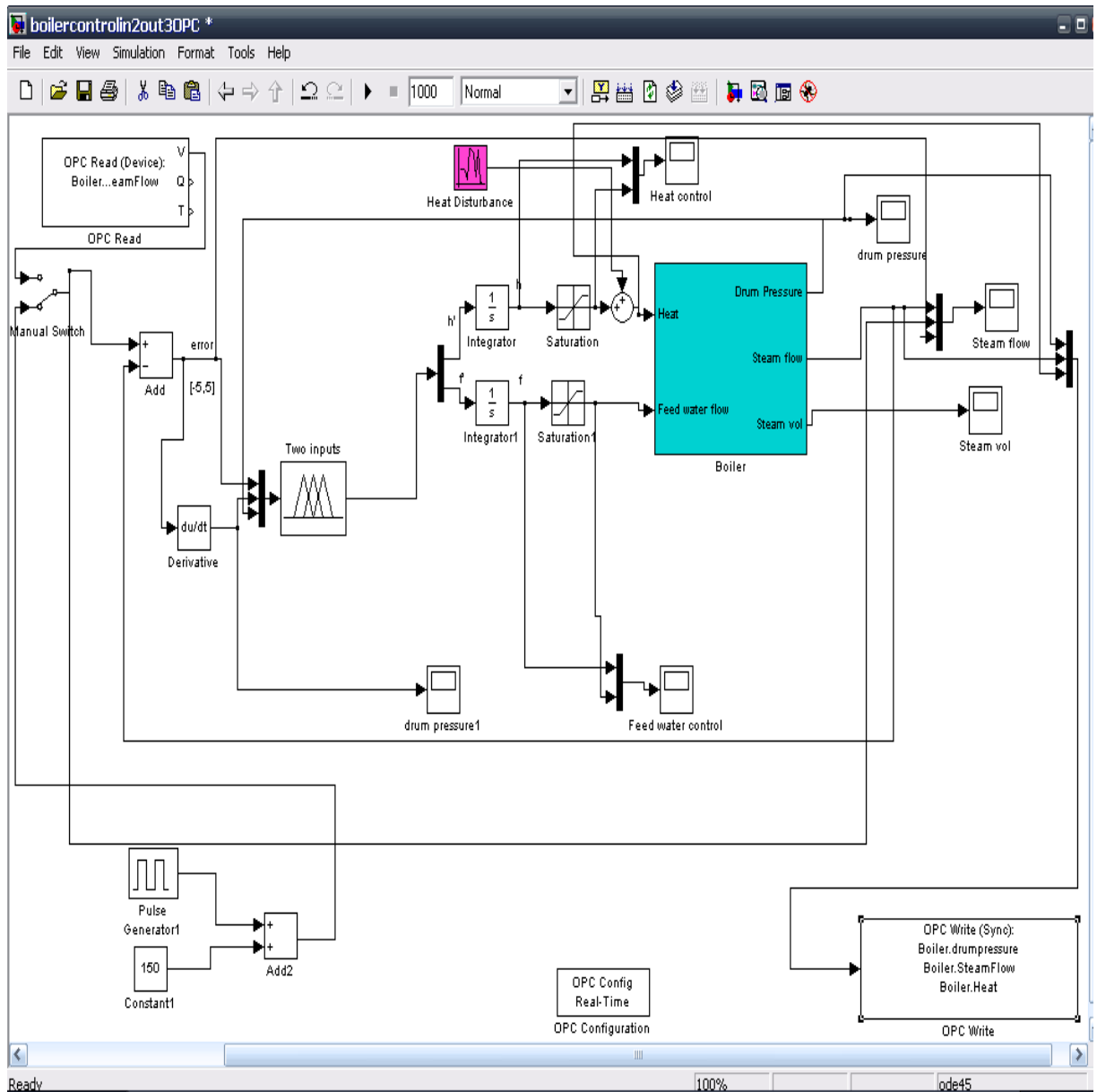


Κάνοντας διπλό κλικ στο block OPC Write ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μας ζητείται να δηλώσουμε τις μεταβλητές που επιθυμούμε να γράφονται στον OPC Server μας. Στην προκειμένη περίπτωση εισάγουμε τις μεταβλητές drum pressure, steam flow και heat. Η εγγραφή μπορεί να γίνεται σύγχρονα ή ασύγχρονα όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.17 . Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθείται και με το block OPC Read όπου εκεί η μεταβλητή της οποίας τα δεδομένα θέλουμε να διαβάσουμε είναι η desired steam flow.



Σχήμα 6.17 Εισαγωγή δεδομένων στο block OPC Write

Μετά από τις κατάλληλες συνδέσεις το μοντέλο του boiler στο Simulink διαμορφώνεται όπως ακριβώς φαίνεται στο σχήμα 6.18.



Σχήμα 6.18 Μοντέλο boiler στο Simulink για την απεικόνιση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μέσω του OPC Server

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>Ο</sup>

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ SCADA

### 7.1 Το SCADA

Με τις δυνατότητες του υπολογιστή να χειριστεί πολύπλοκα γραφικά και την ευκολία που προσέφερε η επιλογή με το ποντίκι, παρουσιάστηκαν προγράμματα που εμφάνιζαν το μιμικό διάγραμμα σε εικόνες (σελίδες), και έδιναν στον χρήστη την δυνατότητα να χειρίζεται από απόσταση τα μηχανήματα που ήταν συνδεδεμένα στα PLC's. Δηλαδή, να έχει την εποπτεία και τον χειρισμό της εγκατάστασης.

Η ανάγκη δημιουργίας τέτοιων προγραμμάτων, οδήγησε στην υλοποίηση του SCADA. του Supervisory Control And Data Acquisition. Το όνομα του δηλώνει τι ακριβώς κάνει: εποπτεία, έλεγχο και συλλογή δεδομένων. Πρόκειται για ένα σύνθετο αυτόνομο λογισμικό, όπου επιτρέπεται η δημιουργία ενεργών μιμικών διαγραμμάτων, διαγραμμάτων ροής και σχέδια μηχανημάτων, όσο πολύπλοκα και μεγάλης εκτάσεως επιθυμούμε εμείς. Καλύπτουν μια τεράστια γκάμα εφαρμογών, από μια απλή βιοτεχνία έως πολύπλοκα εργοστάσια. Κοινός παρανομαστής, είναι η ευκολία δημιουργίας projects από το μηδέν, ώστε το πρόγραμμα να καλύπτει τις ανάγκες της εγκατάστασης. Από την οθόνη του υπολογιστή, είναι εύκολο να διαχειρίζεται ολόκληρο εργοστάσιο, μέσα από φιλικά προς τον χρήστη μενού, που οδηγούν σε σελίδες. Κάθε σελίδα αποτελεί τμήμα του μιμικού διαγράμματος. Έτσι, είναι εύκολο να χωρέσει ολόκληρο διάγραμμα μιας μονάδας που με συμβατικό τρόπο καταλάμβανε ένα τοίχο. Κατά την σχεδίαση των σελίδων, επιλέγεται ποια πληροφορία είναι χρήσιμη να εμφανίζεται δίπλα σε κάθε διάταξη, ώστε να υπάρχει μια συνεχή εποπτεία από τον χρήστη, όσον αφορά για την λειτουργία της μονάδας. Επίσης, τοποθετούνται τα εικονικά χειριστήρια ελέγχου που επιτρέπουν το χειρισμό των συσκευών μηχανημάτων. Οι δυνατότητες που διαθέτει το SCADA είναι πολλές και παραμετροποιήσιμες από τον χρήστη, ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες μιας εγκατάστασης, ανεξαρτήτως μεγέθους. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά είναι:

- Δημιουργία χειρισμού με γραφικό περιβάλλον
- Έλεγχος καταστάσεως (on-off) οποιασδήποτε συσκευής είναι συνδεδεμένης στο δίκτυο του καθώς και απεικόνιση πληροφοριών για αυτή
- Δυνατότητα συναγερμών με κριτήρια και τιμές που εμείς θέτουμε

- Ειδοποίηση για βλάβη με οπτικό, ηχητικό τρόπο, αποστολή e-mail ειδοποίηση ακόμα και μέσω κινητού
- Σενάρια που εμείς επιλέγουμε να τρέξουν, όταν συμβεί ένα γεγονός
- Παρακολούθηση και καταγραφή μετρήσεων
- Παρακολούθηση ωρών λειτουργίας μηχανημάτων για προγραμματιζόμενη συντήρηση
- Εξαγωγή και απεικόνιση μετρήσεων, συναγερμών, βλαβών και χειρισμών
- Μέσω ενός υπολογιστή, έχουμε πρόσβαση σε όλη την εγκατάσταση, ελέγχοντας όσα έχουμε περάσει στο σύστημα.
- Δημιουργία αυτόματου ελέγχου. χειροκίνητη ή με βάση χρονοπρογράμματος. για κάθε χειριστήριο. Σε περίπτωση σφάλματος, υπάρχει η δυνατότητα alarm οπτικού ή ηχητικού.

Οι συναγερμοί αντιδρούν όπως προγραμματίζεται από τον σχεδιαστή και προσφέρουν επιλογές αντίδρασης στον χειριστή. Όλοι οι συναγερμοί καταγράφονται σε αρχείο με ημερομηνία. Υποστηρίζει δυνατότητα καταγραφής τιμών που ορίζουμε εμείς, και εμφανίζει διαγράμματα με χρονικό ορίζοντα. Οι τιμές που θα καταγράφονται πρέπει να ορίζονται κατά την φάση της σχεδίασης του προγράμματος. Υποστηρίζει εξαγωγή δεδομένων σε τρίτα προγράμματα, όπως MS Excel και βάσης δεδομένων. Προσφέρει έτσι την δυνατότητα περαιτέρω επεξεργασίας των δεδομένων καθώς και μια πιο εύκολη σύνταξη έκθεσης.

Ο τρόπος προγραμματισμού, θυμίζει την γλώσσα των PLC's. Κάθε λειτουργία, όπως μνήμη, είσοδος, έξοδος, χρονικά, μετρητές κ.α. χαρακτηρίζεται από μία μοναδική ετικέτα, το Tag-Name. Όσες περισσότερες λειτουργίες χρειάζονται ή περισσότερες συσκευές συνδέονται, τόσα περισσότερα tags απαιτούνται. Η άδεια του προγράμματος, ουσιαστικά το κόστος απόκτησης του. καθορίζεται από τον αριθμό των tags που χρησιμοποιούνται.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] American National Metric Council. 1993. ANMC Metric Editorial Guide, Fifth Edition.

American National Metric Council, 4330 East / West Highway , Suite 1117, Bethesda , MD 20814.

[2] K. J. Åström. “Modeling and identification of power system components.” In Handxchin, Ed., Real-time Control of Electric Power Systems, Proc. Symp. On Real-time Control of Electric Power System, Baden, Switzerland, 1971, pp. 1-28. Elsevier, 1972.

[3] K. J. Åström. and R. Bell . “Simple drum-boiler models.” In IFAC Int. Symposium on Power Systems, Modeling and Control Applications, Brussels, Belgium, 1988.

[4] Κίνγκ, Ροβέρτος-Ε, *Ευφυής Έλεγχος*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004

[5] Βολογιαννίδης, Σταύρος, *Ευφυής Έλεγχος, Θεωρία και Εφαρμογές*, Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Πληροφορικής και Επικοινωνιών, ΤΕΙ Σερρών, 2006

[6] Fuzzy Logic Toolbox User’s Guide Version 2, The Mathworks, 2005

[1] [www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=8025  
&objectType=file](http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=8025&objectType=file)

[2] OPC Foundation. *OPC specification* [online]. Available on [www  
<http://www.opcfoundation.org>](http://www.opcfoundation.org)

[3] MERZ. *MERZ products and documentations* [online]. Available on [www  
<http://www.kontronczech.com/Merz.html>](http://www.kontronczech.com/Merz.html)

[4] The MathWorks. *MATLAB documentation* [online]. Available on [www  
<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/helpdesk.html>](http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/helpdesk.html)

[5] The MathWorks. *MATLAB HELP* [CD, DVD]