



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

“ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ &
ΕΛΕΓΧΟΥ”

**Σχεδιασμός Ασαφούς Συστήματος Ελέγχου Για Την
Ελαχιστοποίηση Της Επικινδυνότητας Σε Διατάξεις
Πολλαπλών Διεργασιών**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Σ. Κωσταράς

Επιβλέπων: Παναγιώτης Τζιώρας
Καθηγητής ΤΕΙ-Θ.

Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2007



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

“ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ &
ΕΛΕΓΧΟΥ”

Σχεδιασμός Ασαφούς Συστήματος Ελέγχου Για Την Ελαχιστοποίηση Της Επικινδυνότητας Σε Διατάξεις Πολλαπλών Διεργασιών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Σ. Κωσταράς

Επιβλέπων: Παναγιώτης Τζιώρας
Καθηγητής ΤΕΙ-Θ.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή.

.....
Π. Τζιώρας
Καθηγητής ΤΕΙ-Θ.

.....
Ν. Καραμπετάκης
Επ. Καθηγητής Α.Π.Θ.

.....
Α. Βαρδουλάκης
Καθηγητής Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2007

.....
Κωνσταντίνος Σ. Κωσταράς
Διπλωματούχος Χημικός Μηχανικός Α.Π.Θ.

Copyright © Κωνσταντίνος Σ. Κωσταράς, 2007.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια αναβάθμισης στον προσδιορισμό και κατηγοριοποίηση της επικινδυνότητας των διεργασιών της βιομηχανίας. Στόχος της εργασίας είναι, η εκπλήρωση στο βαθμό του δυνατού της εγγενούς ασφάλειας στον εργασιακό χώρο δηλαδή της εξάλειψης των πηγών κινδύνου που μπορούν να προκαλέσουν ατύχημα στην εγκατάσταση. Ιδιαίτερη σημασία έχει ως προς τον έλεγχο των μέτρων πρόληψης και αντιμετώπισης, πιθανού φαινομένου domino, αφού ως γνωστόν τα "πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα" σχετίζονται με γειτονικές μονάδες της εξεταζόμενης.

Ο ελεγκτής που αναπτύχθηκε, στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο "κατάλληλης ανταλλαγής πληροφοριών" για τη συνεκτίμηση από τις γειτονικές μονάδες των κινδύνων μεγάλου ατυχήματος, προσδιορίζοντας τον «Δείκτη Γειτνίασης» για κάθε διεργασία της εγκατάστασης, (Abut Combination Risk Index, ACRIndex), που παίρνει τιμή ανάλογα με τον συνδυασμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (Hazard Index) των γειτονικών διεργασιών.

Για τον προσδιορισμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (Hazard Index) αναπτύχθηκε ένας ασαφής ελεγκτής που συνεκτιμά την αβεβαιότητα που υπάρχει στην διεργασία αλλά και την πιθανότητα να προξενηθεί ατύχημα στην διεργασία και λαμβάνει υπόψη:

- Τα υλικά που συμμετέχουν – επεξεργάζονται από την διεργασία και η επικινδυνότητα που παρουσιάζουν όπως αυτή κατηγοριοποιείται σύμφωνα με την NFPA, (National Fire Protection Association).
- Τους κινδύνους που προέρχονται από την ίδια την διεργασία τόσο από τη λειτουργία της (γενικοί κίνδυνοι), όσο και από τις συνθήκες της λειτουργίας της, (ειδικοί κίνδυνοι).

Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι πολύ ενθαρρυντικά, διότι, αναπτύχθηκε ένας δυναμικός ελεγκτής που προσδιορίζει τον δείκτη επικινδυνότητας της κάθε διεργασίας, (Hazard Index), και ο συνδυασμός αυτών των δεικτών αποδίδει τον Δείκτη Γειτνίασης (ACRIndex), προσφέροντας στον μελετητή πληροφορίες τόσο για την χωροτοποθέτηση των διεργασιών, όσο και για τα ενδεδειγμένα μέτρα ασφάλειας που μπορεί να λάβει για την εξάλειψη των πηγών κινδύνου της εγκατάστασης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ευφυής Έλεγχος, Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών, Δείκτης Επικινδυνότητας Υλικών, Δείκτης Γειτνίασης Διεργασιών.

ABSTRACT

In the present study an effort was made to upgrade the determination and categorization of hazard risk of industrial activities. The object of the work is to investigate the reasons that cause an accident in an industry plant and the possibility of spreading out the accident to the neighboring units, causing domino effects.

The controller that was developed constitutes a precious tool of "suitable exchange of information" on the risk evaluation for the neighboring units. The controller produces the Abut Combination Risk Index, (ACRIndex) that takes values depending on the combination of Hazard Indices for each neighboring plant.

The Hazard Index was determinant with the help of a fuzzy controller that takes into consideration:

- The materials that are handled in the process and are categorized according to the NFPA, (National Fire Protection Association) classification.
- The dangers that emanate from the activity itself come from either the operation (general dangers), or from the operation conditions (special dangers).

The results of the study are very encouraging since a dynamic controller was developed that determines the Hazard Index for each plant, and also produces the Abut Combination Risk Index of these units (ACRIndex), offering to the researcher information for the industrial lay out and also provides safety meters in order to decrease the risk of the overall plant.

KEY WORDS

Fuzzy Control, Process Hazard Index, Goods Risk Factor, Abut Combination Risk Index.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ	11
1.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΝΑΓΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥΣ	11
1.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	13
1.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑ NFPA. [31]	18
1.3.1. Κόκκινη περιοχή: Εύφλεκτα Υλικά – Κίνδυνος Φωτιάς	20
1.3.2. Κίτρινη Περιοχή: Ενεργά Υλικά – Κίνδυνος Έκρηξης	22
1.3.3. Μπλε Περιοχή: Τοξικά Υλικά – Κίνδυνος Επιμόλυνσης	26
1.3.4. Λευκή Περιοχή: Υλικά που εμπεριέχουν ειδικούς κινδύνους	33
1.3.5. Σύνοψη Ταξινόμησης Επικινδυνότητας υλών κατά NFPA	36
2. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	40
2.1. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	43
2.1.1. Εκλύσεις Εύφλεκτων Ουσιών	44
2.2.1.1. Έκλυση Θερμικής Ροής από Φαινόμενο Φωτιάς Λίμνης (Pool Fire)	44
2.2.1.2. Έκλυση Θερμικής Ροής από Φαινόμενο BLEVE	45
(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)	45
2.2.1.3. Έκλυση Θερμικής Ροής από Φαινόμενο Φωτιάς Πυρσού (Jet Fire)	46
2.2.1.4. Έκλυση Θερμικής Ροής από Φαινόμενο Κατάκαυσης Αερίου Νέφους (Flash Fire)	46
2.2.1.5. Έκλυση Θερμικής Ροής από Φαινόμενο Υπερπίεσης και Έκρηξης Αερίου Νέφους (Vapor Cloud Explosion)	47
2.2.1.6. Εκρήξεις Πυκνής Φάσης (Dense Phase Explosion)	48
2.1.2. Εκλύσεις Τοξικών Ουσιών	48
2.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	50
2.2.1. Η μέθοδος HAZOP (Hazard and Operability Study)	51
2.2.2. Μέθοδος Αστοχίας και Συνέπειας (FMEA: Failure Mode and Effects Analysis)	52
2.2.3. Μέθοδος Λογικών Διαγραμμάτων (Master Logic Diagrams)	52
2.2.4. Δέντρα Σφαλμάτων (Fault Trees)	53
2.2.5. Δέντρα Γεγονότων (Event Trees)	55
2.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	56
3. Ο ΕΥΦΥΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	64
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΕΥΦΥΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	64
3.2. ΑΣΑΦΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ – ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	67

3.2.1. Ασαφής Αριθμοί – Ασαφή Σύνολα.....	67
3.2.2. Πράξεις Ασαφών Συνόλων	70
3.2.3. Πράξεις Ασαφών Σχέσεων.....	70
3.2.4. Ασαφής Συνεπαγωγές.....	72
3.2.5. Μετατροπείς – Γλωσσικές Μεταβλητές	75
3.2.6. Μηχανισμοί Ασαφούς Συμπερασμού	77
3.2.6.1. Μηχανισμός Ασαφούς Συμπερασμού Mamdani	78
3.2.6.2. Μηχανισμός Ασαφούς Συμπερασμού Tsukamoto	81
3.2.6.3. Μηχανισμός Ασαφούς Συμπερασμού Larsen.....	84
3.2.6.4. Μηχανισμός Ασαφούς Συμπερασμού Sugeno.....	86
3.2.6.5. Απλοποιημένος Μηχανισμός Ασαφούς Συμπερασμού.....	87
3.2.7. Μηχανισμοί Από-Ασαφοποίησης.....	89
3.3. ΑΣΑΦΗΣ ΕΛΕΓΚΤΕΣ	91
3.3.1. Πληρότητα	92
3.3.2. Συνέπεια	93
3.3.3. Πλεονασμός.....	93
3.3.4. Αλληλεπίδραση.....	94
3.4. ΤΟ FUZZY TOOLBOX ΤΟΥ MATLAB	95
3.4.1. Ο FIS Editor	96
3.4.2. Ο Membership Function Editor.....	98
3.4.2. Ο Rule Editor	100
3.4.2. Ο Rule Viewer και Ο Surface Viewer.....	100

4. ΕΥΦΥΗΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ103

4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ (PROCESS HAZARD INDEX).....	103
4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΣΑΦΟΥΣ ΕΛΕΓΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (GOODS RISK FACTOR).....	112
4.2.1. Ασαφή Σύνολα Εισόδου – Εξόδου.....	114
4.2.2. Επιφάνειες Ελέγχου της Επικινδυνότητας των Υλικών.....	123
4.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΣΑΦΟΥΣ ΕΛΕΓΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΟΙΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΓΕΝΙΚΟΥΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥΣ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ (GENERAL PROCESS HAZARD PENALTIES)	128
4.3.1. Ασαφή Σύνολα Εισόδου – Εξόδου.....	131
4.3.2. Επιφάνειες Ελέγχου των ποινών που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας.....	137
4.4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΣΑΦΟΥΣ ΕΛΕΓΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΟΙΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΕΙΔΙΚΟΥΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥΣ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ (SPECIAL PROCESS HAZARD PENALTIES)	139
4.4.1. Ασαφή Σύνολα Εισόδου – Εξόδου.....	143
4.4.2. Επιφάνειες Ελέγχου των ποινών που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας.....	152
4.5. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ.....	157

4.5.1 Σχολιασμός Διαγραμμάτων Αξιολόγησης Λειτουργίας του Ελεγκτή Προσδιορισμού του Δείκτη
Επικινδυνότητας των Διεργασιών 168

5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΓΕΙΤΝΙΑΣΗΣ ΤΩΝ

ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ.....171

5.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΓΕΙΤΝΙΑΣΗΣ ΔΥΟ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ 171
5.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΓΕΙΤΝΙΑΣΗΣ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ 175
 5.2.1. Εφαρμογή του Δείκτη Γειτνίασης 176

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια αναζήτησης, προσδιορισμού και κατηγοριοποίησης της επικινδυνότητας των διεργασιών της βιομηχανίας. Στόχος της εργασίας είναι, η εκπλήρωση στο βαθμό του δυνατού της εγγενούς ασφάλειας στον εργασιακό χώρο δηλαδή της εξάλειψης των πηγών κινδύνου που μπορούν να προκαλέσουν ατύχημα στην εγκατάσταση.

Βιβλιογραφικά, οι αρχές της εγγενούς ασφάλειας κωδικοποιούνται ως ακολούθως [1, 2, 3, 4]:

- Αρχή της αποφυγής του κινδύνου με την αντικατάσταση ουσιών ή καταστάσεων με ασφαλέστερες.
- Αρχή της κατάτμησης και του περιορισμού του κινδύνου με τη χρήση μικρότερων ποσοτήτων χημικών ουσιών ώστε σε περίπτωση διαρροής ή έκρηξης να περιοριστεί ο κίνδυνος.
- Αρχή της αραιώσης και εξασθένησης του κινδύνου με την αλλαγή των συνθηκών χρήσης ουσιών ή διεργασιών ώστε να τις καθιστούν λιγότερο επικίνδυνες (π.χ. μεταβολή της πίεσης και της θερμοκρασίας, αραιά διαλύματα, συνθήκες που αποκλείουν ανεξέλεγκτα αυξανόμενες ταχύτητες αντιδράσεων κ.λ.π.).

Η αξιοποίηση των Εντύπων Καταγραφής-Εκτίμησης του Επαγγελματικού Κινδύνου καθώς και του Εντύπου Προγράμματος Επέμβασης για την πρόληψη του επαγγελματικού κινδύνου συμβάλλουν στην αναγνώριση και ανάλυση των κινδύνων μεγάλου ατυχήματος. Συγκεκριμένα συμβάλλουν στον προσδιορισμό των πηγών κινδύνου που συνίσταται στην κατανόηση της λειτουργίας εγκατάστασης και τη συλλογή πληροφοριών, στον προσδιορισμό όλων των τμημάτων της εγκατάστασης που αποτελούν κρίσιμες περιοχές από άποψη ασφάλειας (π.χ. ύπαρξη ποσοτήτων επικίνδυνων ουσιών), στον προσδιορισμό φάσεων λειτουργίας που ενδιαφέρουν (π.χ. φόρτωση-εκφόρτωση, αποθήκευση επικίνδυνων ουσιών κ.α.), στον καθορισμό εναρκτήριων γεγονότων (π.χ. αστοχίες εξαρτημάτων, ανθρώπινο σφάλμα κλπ). Επίσης συμβάλλουν στον ολοκληρωμένο προσδιορισμό των μέτρων, λειτουργιών και πρακτικών που αποσκοπούν αφενός στην πρόληψη και αφετέρου στην καταστολή των εναρκτήριων γεγονότων ώστε αυτά να μην οδηγήσουν σε κατάσταση βλάβης που συνεπάγεται έκλυση επικίνδυνης ουσίας. Η Γραπτή Εκτίμηση του Επαγγελματικού Κινδύνου μπορεί να

συμβάλλει και στο τμήμα εκείνο της διαδικασίας ποσοτικής εκτίμησης της επικινδυνότητας που αφορά στον υπολογισμό της συχνότητας καταστάσεων βλάβης (πχ. δίνοντας αναλυτικά στοιχεία για τις συχνότητες αρχικών γεγονότων, τις πιθανότητες μη διαθεσιμότητας διαφόρων εξαρτημάτων κ.α.) Επιπλέον μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά στην εκτίμηση των επιπτώσεων ενδεχόμενου ατυχήματος μεγάλης έκτασης παρέχοντας αναλυτικά στοιχεία για τα δεδομένα εισόδου των διαφόρων μοντέλων εκτίμησης (π.χ. ιδιότητες και ποσότητες χημικών ουσιών), καθώς και στοιχεία για την υπάρχουσα πριν το ατύχημα κατάσταση της υγείας των εργαζομένων και για τις ευαίσθητες ομάδες αυτών, ώστε η εκτίμηση των μέτρων πρόληψης και αντιμετώπισης να είναι πιο αποτελεσματική.

Η ολοκληρωμένη ανάλυση επικινδυνότητας, συμβάλλει στην επιλογή των κατάλληλων μέτρων και μέσω αντιμετώπισης ενδεχόμενου ατυχήματος μεγάλης έκτασης. Συμβάλλει δηλαδή στην κατάρτιση ολοκληρωμένου εσωτερικού σχεδίου έκτακτης ανάγκης, καθώς και σαν συγκεκριμένο μέτρο εφαρμογής της νομοθετικής απαίτησης για *"επαρκή πληροφόρηση των αρμοδίων αρχών ώστε να μπορούν να καταρτίζουν το εξωτερικό σχέδιο έκτακτης ανάγκης"* (άρθρο 11 Seveso II).

Ιδιαίτερη σημασία έχει ως προς τον έλεγχο των μέτρων πρόληψης και αντιμετώπισης, πιθανού φαινομένου **domino**, αφού ως γνωστόν τα *"πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα"* σχετίζονται με γειτονικές μονάδες της εξεταζόμενης. [5]

Ο ελεγκτής που αναπτύχθηκε, στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο *"κατάλληλης ανταλλαγής πληροφοριών"* για τη συνεκτίμηση από τις γειτονικές μονάδες των κινδύνων μεγάλου ατυχήματος, προσδιορίζοντας τον *«Δείκτη Γειννίασης»* για κάθε διεργασία της εγκατάστασης.

Η εφαρμογή ανταποκρίνεται και στον Σχεδιασμό Χρήσεων Γης. Σύμφωνα με το άρθρο 12 της Seveso II [6,7], *"οι στόχοι πρόληψης μεγάλων ατυχημάτων και του περιορισμού των συνεπειών τους πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στις πολιτικές χρήσεων γης"*, όσον αφορά *"την εγκατάσταση νέων μονάδων, τις μετατροπές στις υπάρχουσες μονάδες, τα νέα χωροταξικά έργα γύρω από τις υφιστάμενες μονάδες όπως οδοί επικοινωνίας, χώροι όπου συχνάζει το κοινό και ζώνες κατοικίας, όταν ο τόπος της εγκατάστασης ή τα έργα ενδέχεται να αυξήσουν τον κίνδυνο μεγάλου ατυχήματος ή να επιδεινώσουν τις συνέπειες του"*.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Η θεσμοθέτηση μιας αξιόπιστης μεθοδολογίας εκτίμησης και αντιμετώπισης της επικινδυνότητας, παραμένει σε μεγάλο βαθμό ζητούμενο στην ελληνική πραγματικότητα. Η βασική δυσκολία για μια ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του ζητήματος, που να κινείται στην κατεύθυνση των αρχών της εγγενούς ασφάλειας, εντοπίζεται στην ύπαρξη πολλών μεταβλητών παραμέτρων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Είναι γνωστό ότι η επικινδυνότητα αποτελεί μια σύνθεση των εννοιών: της ανεπιθύμητης συνέπειας και της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει την πραγματοποίηση αυτής. Η ταξινόμηση των μοντέλων προσομοίωσης με βάση τον τρόπο που κάθε μοντέλο διαχειρίζεται τον παράγοντα "αβεβαιότητα" τα χωρίζει σε:

- ντετερμινιστικά (deterministic) και
- πιθανοτικά/στοχαστικά (probabilistic/stochastic).

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτά στα οποία δεν περιλαμβάνονται μεταβλητές που εμφανίζουν τυχαία διακύμανση και δεν εξετάζεται η αλληλεπίδραση των παραμέτρων, ενώ στη δεύτερη αυτά στα οποία η στοχαστικότητα των παραμέτρων λαμβάνεται υπόψη. Η μεθοδολογία προσέγγισης (probabilistic or deterministic) αποτελεί χώρο τριβής, διότι η επιλογή της μιας ή της άλλης μεθόδου γεννά υποψίες για την αξία των αποτελεσμάτων.

Κατά τη διαδικασία εκτίμησης της επικινδυνότητας, αβεβαιότητα μπορεί ενδεικτικά να προκύψει:

- από έλλειψη γνώσης αναφορικά με τις μελλοντικές καταστάσεις του συστήματος (αβεβαιότητα σεναρίου)
- από σπανιότητα δεδομένων, αφού τα φαινόμενα του ατυχήματος είναι αρκετά σπάνια και ο πειραματισμός με το πραγματικό σύστημα απαγορευτικός
- από εσφαλμένη εκτίμηση της πιθανοφάνειας κάθε σεναρίου
- από ατέλειες στην κατασκευή του λογικού και των μαθηματικών μοντέλων περιγραφής των φαινομένων

- από σφάλματα κωδικοποίησης και αριθμητικές προσεγγίσεις
- από χωρική και χρονική διακύμανση των καιρικών συνθηκών
- από αβεβαιότητα στην συμπεριφορά του πληθυσμού (π.χ. διαφορετικά θα συμπεριφερθεί ο πληθυσμός αν ένα ατύχημα συμβεί τη νύχτα)
- από τη στατιστική φύση του μεγέθους των συνεπειών, κ.α.

Η ύπαρξη πολλών πηγών αβεβαιότητας όπως αυτές που ενδεικτικά προαναφέρθηκαν, υπογραμμίζει την ανάγκη ενός ποσοτικού καθορισμού της επικινδυνότητας σαν προϋπόθεση για την ύπαρξη ενός ολοκληρωμένου και αξιόπιστου μοντέλου πρόβλεψης και αντιμετώπισης. Η αναγκαιότητα της επιλογής αυτής της ολοκληρωμένης προσέγγισης προκύπτει συγκριτικά, με βάση τα μειονεκτήματα των κυρίαρχων σήμερα εναλλακτικών λύσεων που περιορίζονται σε μονοδιάστατες ποιοτικές εκτιμήσεις.

Γενικότερα η συνθετότητα του προβλήματος θέτει σε δοκιμασία την αξιοπιστία των περισσότερων σημερινών μοντέλων αντιμετώπισης. Συγκεκριμένα:

- Το μοντέλο του χειρότερου σεναρίου: Σύμφωνα με τη φιλοσοφία αυτή ένα σύστημα πρέπει να είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει το χειρότερο δυνατό συμβάν που είναι πιστευτό ότι μπορεί να συμβεί. Τα γεγονότα όμως κυρίως των τελευταίων δεκαετιών έδειξαν ότι η πρόληψη για το χειρότερο δυνατό σε πολλές περιπτώσεις δεν βοηθάει στην αντιμετώπιση άλλων λιγότερο σοβαρών αλλά περισσότερο συχνών προβλημάτων που οδηγούν σε μικρότερες συνέπειες. Καταρχήν δεν είναι δυνατό πάντοτε να προσδιοριστεί η χειρότερη δυνατή περίπτωση: Που σταματά κανείς στον ορισμό του χειρότερου και με ποια κριτήρια; Στο χειρότερο που μπορεί να συμβεί στην εγκατάσταση; στις γειτονικές εγκαταστάσεις; σε όλη τη βιομηχανική περιοχή; Αναπόφευκτη είναι η άμεση ή έμμεση χρήση της έννοιας της πιθανότητας και της σοβαρότητας. Απ' την άλλη η προστασία για την χειρότερη περίπτωση δεν είναι η βέλτιστη για όλες τις περιπτώσεις: για παράδειγμα στην περίπτωση των προστατευτικών μέτρων έκτακτης ανάγκης, αν για οποιοδήποτε ατύχημα εφαρμόζεται η αρχή της προστασίας από το χειρότερο (π.χ. εκκένωση), τότε στα περισσότερα ατυχήματα η "προστασία" θα είναι άχρηστη για μεγάλο μέρος του πληθυσμού και ανεπαρκής στο μέρος που πραγματικά τη χρειάζεται.

- Ζητήματα επιλογής μοντέλου εκτίμησης επιπτώσεων: Έχει επίσης σημασία να αναφερθούν κάποια ιδιαίτερα προβλήματα που σχετίζονται με τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της έντασης των φυσικών φαινομένων που ακολουθούν μετά την αστοχία σε μια εγκατάσταση (διαρροή, ανάφλεξη, έκρηξη κλπ). Από διάφορους οργανισμούς έχει αναπτυχθεί μια σειρά μοντέλων εκτίμησης (μοντέλα εκροής, μοντέλα εξάτμισης, μοντέλα διασποράς, μοντέλα υπολογισμού θερμικής ροής κλπ) τα οποία απαντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία. Ένα πρόβλημα που έχει να αντιμετωπίσει ο αναλυτής είναι ποιο μοντέλο είναι κατάλληλο για την κάθε περίπτωση. Αλλα προβλήματα μπορεί να σχετίζονται με την έλλειψη πληροφοριακού υλικού για τις εισαγωγικές αρχικές συνθήκες στην είσοδο αυτών των μοντέλων (π.χ. ποσότητα της τοξικής ή εύφλεκτης ουσίας στην περίπτωση στιγμιαίας έκλυσης, ρυθμός έκλυσης στην περίπτωση συνεχούς έκλυσης, διάρκεια εξάτμισης, καιρικές συνθήκες, αέριο ελαφρύτερο ή βαρύτερο του αέρα, θερμοκρασία του τοξικού αερίου και ο χρόνος έκθεσης ενός ατόμου σε αυτό κλπ). Εδώ θα πρέπει να επισημανθούν και οι διαφορές που υπάρχουν συχνά μεταξύ των αποτελεσμάτων των διαφόρων μοντέλων (π.χ. διασποράς), ανάλογα με τις παραδοχές που γίνονται, έστω και αν έχουν χρησιμοποιηθεί οι ίδιες τιμές για τις αρχικές συνθήκες.
- Το πρόβλημα προσδιορισμού των ορίων επικινδυνότητας: Το πρόβλημα της μη θεσμοθέτησης κριτηρίων για την μετάβαση από την ποιοτική στην ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου εντείνεται και από το γεγονός της μη ύπαρξης κοινών αποδεκτών ορίων επικινδυνότητας για πολλές παραμέτρους. Υπενθυμίζεται ότι μόνο για ορισμένους παράγοντες του εργασιακού περιβάλλοντος υπάρχει νομοθετική υποχρέωση ποσοτικού προσδιορισμού (π.χ. θόρυβος, μόλυβδος). Απ' την άλλη ο ποσοτικός έλεγχος τήρησης των ορίων έκθεσης (TLV) παρουσιάζει μια σειρά προβλήματα. Ως γνωστόν τα TLV είναι μέσοι όροι χρονικά σταθμισμένοι για μια μέρα εργασίας 8 ωρών, 40 ωρών εβδομαδιαία για θερμοκρασία 25° C και για μια μέση βαρύτητα εργασίας που συνεπάγεται μια αντίστοιχη συχνότητα αναπνοής; Αφορούν επίσης την έκθεση σε μια μόνο ουσία. Ο καθορισμός τους βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε πειραματικά δεδομένα που μπορεί να μην ισχύουν για ορισμένες κατηγορίες ανθρώπων (π.χ. αλλεργικοί, άτομα που έχουν υποστεί προηγούμενα τραυματική έκθεση, άτομα με γενική ευαισθησία κλπ). Φυσικά υπάρχουν κάποιοι κανόνες για τον υπολογισμό της συνδυασμένης δράσης ορισμένων παραγόντων ή για πιθανή μεταβολή της θερμοκρασίας. Όμως η έκθεση στον βιομηχανικό χώρο μπορεί να περιλαμβάνει μίγματα για τα οποία υπάρχουν λίγες πληροφορίες σε ότι αφορά την τοξικότητα τους.

Αντίστοιχα είναι τα προβλήματα στην περίπτωση που αναφερόμαστε στις κρίσιμες ποσότητες έκθεσης μετά από BAME (έκθεση σε τοξικές ουσίες, θερμική ακτινοβολία, υπερπίεση). Έχουν θεσπιστεί από διεθνείς οργανισμούς διάφορα όρια έκθεσης (π.χ. τα όρια IDLH, ERPG για τοξικές ουσίες, οριακές τιμές έκθεσης έντασης θερμικής ακτινοβολίας κλπ). Ο προαναφερόμενος γενικός τρόπος αντιμετώπισης ελέγχεται ως προς την αποτελεσματικότητα του σχετικά με την προστασία ειδικών κατηγοριών του πληθυσμού, για παράδειγμα διαφορετική θα είναι η αντίδραση του οργανισμού ενός ευαίσθητου ατόμου, ενός ατόμου που έχει υποστεί προηγούμενη έκθεση σε τοξική ουσία, άλλων ευαίσθητων κατηγοριών (π.χ. ηλικιωμένοι, εγκυμονούσες, άτομα που πάσχουν από ασθένειες κλπ). Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι άλλοι αναλυτές προτείνουν ότι η ένταση του φυσικού φαινομένου (συγκέντρωση τοξικής ουσίας, ένταση θερμικής ακτινοβολίας, υπερπίεση) δεν είναι ικανό μέτρο για τον χαρακτηρισμό της επίπτωσης ενός ατυχήματος στην υγεία και πρέπει να υπολογιστεί η σχέση δόσης-απόκρισης (μέσω της συνάρτησης καταπόνησης-probit). Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η επίδραση στην υγεία είναι συνάρτηση της δόσης (π.χ. ποσότητα τοξικής ουσίας), δηλαδή είναι συνάρτηση της έκθεσης και του χρόνου έκθεσης στην επικίνδυνη ουσία. Η σχέση δόσης-απόκρισης ανάγει μια συγκεκριμένη δόση σε πιθανότητα συγκεκριμένης βλάβης στην υγεία, όπως η ατομική διακινδύνευση θανάτου. Το μέτρο αυτό επιτρέπει στην σύγκριση της επικινδυνότητας ατυχημάτων διαφορετικής φύσης και διαφορετικών εντάσεων. Στη συνέχεια το μέτρο της συλλογικής διακινδύνευσης επιτρέπει τη σύγκριση ατυχημάτων που συνεπάγονται διαφορετικές ατομικές διακινδυνεύσεις αλλά σε περιοχή με διαφορετική πληθυσμιακή πυκνότητα και κατανομή.

Ένα γενικότερο πρόβλημα αφορά στην αποδοχή προσδιορισμού ανεκτού επιπέδου κινδύνου. Οι υποστηρικτές αυτής της θέσης θεωρούν θεμιτό τον προσδιορισμό ενός επιπέδου που η μείωση του κινδύνου είναι εύλογα ανέφικτη, δηλαδή "το κόστος για τη μείωση είναι δυσανάλογο των βελτιώσεων και του οφέλους που θα προκύψει". Όμως προκύπτει το προφανές ερώτημα της δυνατότητας αντικειμενικού προσδιορισμού του "οφέλους" και του "κόστους" τα οποία διαφοροποιούνται αντικειμενικά για τον εργοδότη και για τον εργαζόμενο και το κοινό. Αναδεικνύεται το ζήτημα των όρων εφαρμογής της, Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους (Cost-Benefit Analysis) σε σχέση με τον προσδιορισμό ενός αποδεκτού επιπέδου κινδύνου. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί η διαφοροποίηση του κόστους του εργατικού ατυχήματος και της επαγγελματικής ασθένειας για το θύμα και την οικογένειά του, τον εργοδότη και το κράτος. Η διαφοροποίηση οδηγεί σε διαφορετικά βέλτιστα για την κάθε πλευρά και το κύριο πρόβλημα είναι η μονοδιάστατη εφαρμογή της μεθόδου με κριτήριο το "βέλτιστο για την επιχείρηση" και όχι για τον εργαζόμενο και το κοινωνικό σύνολο. Η εφαρμογή της μεθόδου της ανάλυσης κόστους-οφέλους σε έναν χωρίς περιορισμούς προϋπολογισμό οδηγεί στην χρησιμοποίηση του

ελάχιστου δυνατού των χρηματικών αποθεμάτων για την υγεία και την ασφάλεια και δεν συμβάλλει στην αναβάθμιση των τεχνικών πρόληψης.

Στην ίδια λογική κινούνται γενικά και οι διαδικασίες εισαγωγής στις επιχειρήσεις Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (π.χ. EMAS, ISO 14000) και Συστημάτων Διαχείρισης της Υγιεινής & Ασφάλειας (π.χ. BS 8800) τα τελευταία χρόνια. Η αξιολόγηση για την εισαγωγή τέτοιων συστημάτων γίνεται κυρίως με βάση το οικονομικό όφελος που θα έχει η επιχείρηση (πχ. αξιοποίηση αποβλήτων, αναβάθμιση του προφίλ της επιχείρησης μετά την πιστοποίηση της για το συγκεκριμένο σύστημα κλπ).

Συμπερασματικά η προσπάθεια ριζικής αναβάθμισης της ασφάλειας των εγκαταστάσεων που περικλείουν κινδύνους BAME, στοχεύει στην εφαρμογή των αρχών της εγγενούς ασφάλειας μέσα από τη συνδυασμένη εφαρμογή των απαιτήσεων του συνόλου του νομοθετικού πλαισίου καθώς και του εμπλουτισμού του. Κριτήριο ορθότητας κάθε τεχνικής και οργανωτικής αλλαγής στην παραγωγική διαδικασία, θα πρέπει να αποτελεί η προσέγγιση σε μεγαλύτερο βαθμό του στόχου της εγγενούς ασφάλειας. Η προσπάθεια αυτή είναι αντικειμενικά ένα δύσκολο εγχείρημα και για την επιτυχία του απαιτείται η συντονισμένη και εντατική ενασχόληση των φορέων που το τοποθετούν στην πράξη σαν μια από τις βασικές τους προτεραιότητες.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια προσδιορισμού του δείκτη επικινδυνότητας (Hazard Index) για κάθε διεργασία λαμβάνοντας υπόψη:

- Τα υλικά που συμμετέχουν – επεξεργάζονται από την διεργασία και η επικινδυνότητα που παρουσιάζουν κατά NFPA.
- Οι κίνδυνοι που προέρχονται από την ίδια την διεργασία τόσο από τη λειτουργία της (γενικοί κίνδυνοι), όσο και από τις συνθήκες λειτουργίας της.

Για τον προσδιορισμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (Hazard Index) αναπτύχθηκε ένας ασαφής ελεγκτής που λαμβάνει υπόψη την αβεβαιότητα που υπάρχει στην διεργασία αλλά και την πιθανότητα να προξενηθεί ατύχημα στην διεργασία.

1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

1.1. Ταξινόμηση Επικίνδυνων Ουσιών Με Βάση Την Ανάγκη Μεταφοράς Τους

Οι ουσίες (συμπεριλαμβανομένων των μιγμάτων και των διαλυμάτων) είναι καταταγμένες σε μια από τις εννέα κύριες κατηγορίες σύμφωνα με τον κίνδυνο ή την πιο κυρίαρχη επικινδυνότητα που παρουσιάζουν. Μερικές από αυτές τις κατηγορίες υποδιαιρούνται στα τμήματα. Συνοπτικά, οι κατηγορίες και τα τμήματα είναι [8, 9, 10]:

Κατηγορία 1: Εκρηκτικές ύλες

- ❑ Τμήμα 1.1: Ουσίες και παρασκευάσματα που έχουν κίνδυνο μαζικής έκρηξης.
- ❑ Τμήμα 1.2: Ουσίες και παρασκευάσματα που έχουν κίνδυνο έκρηξης αλλά όχι μαζικής.
- ❑ Τμήμα 1.3: Ουσίες και παρασκευάσματα που έχουν κίνδυνο πυρκαγιάς, που είτε μπορούν να δημιουργήσουν έκρηξη, είτε δημιουργώντας εκρηκτικά νέφη στη συνέχεια εκρήγνυνται, αλλά όχι μαζικά.
- ❑ Τμήμα 1.4: Ουσίες και παρασκευάσματα που δεν παρουσιάζουν κανέναν σημαντικό κίνδυνο.
- ❑ Τμήμα 1.5: Πολύ αναίσθητες ουσίες που έχουν κίνδυνο μαζικής έκρηξης.
- ❑ Τμήμα 1.6: Εξαιρετικά αναίσθητες ουσίες που δεν έχουν κίνδυνο μαζικής έκρηξης.

Κατηγορία 2: Αέρια: συμπιεσμένα, υγροποιημένα, διαλυτοποιημένα σε πίεση ή σε ψύξη

- ❑ Τμήμα 2.1: Εύφλεκτα αέρια
- ❑ Τμήμα 2.2: Άφλεκτα, μη τοξικά αέρια
- ❑ Τμήμα 2.3: Τοξικά αέρια

Κατηγορία 3: Εύφλεκτα υγρά, και απευαισθητοποιημένα εκρηκτικά υγρά

Κατηγορία 4: Εύφλεκτα στερεά, ουσίες που αυταναφλέγονται, ουσίες που σε επαφή με το νερό εκπέμπουν εύφλεκτα αέρια

- ❑ Τμήμα 4.1: Εύφλεκτα στερεά, ουσίες που αυτοαντιδρούν και αναφλέγονται, στερεές απευαισθητοποιημένες εκρηκτικές ύλες

- Τμήμα 4.2: Ουσίες ευαίσθητες στην αυθόρμητη καύση
- Τμήμα 4.3: Ουσίες που σε επαφή με το νερό εκπέμπουν εύφλεκτα αέρια

Κατηγορία 5: Οξειδωτικές ουσίες και οργανικά υπεροξειδία

- Τμήμα 5.1: Οξειδωτικές ουσίες
- Τμήμα 5.2: Οργανικά υπεροξειδία

Κατηγορία 6: Τοξικές και μολυσματικές ουσίες

- Τμήμα 6.1: Τοξικές ουσίες
- Τμήμα 6.2: Μολυσματικές ουσίες

Κατηγορία 7: Ραδιενεργά υλικά

Κατηγορία 8: Τοξικές ουσίες

Κατηγορία 9: Όλες οι υπόλοιπες ουσίες που δεν κατατάσσονται στις παραπάνω κατηγορίες. (Miscellaneous dangerous substances and articles)

Ο παραπάνω διαχωρισμός των επικίνδυνων ουσιών έχει αναπτυχθεί ως οδηγία από τα Ηνωμένα Έθνη και χρησιμοποιείται κυρίως για τις ανάγκες μεταφορά τους. Με βάση την παραπάνω κατηγοριοποίηση οι ουσίες προς μεταφορά κατατάσσονται σε μία ή και παραπάνω κατηγορίες, ώστε η μεταφορά τους να γίνει κάτω από συγκεκριμένους κανόνες και να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας.

1.2. Ταξινόμηση Επικίνδυνων Ουσιών Για Την Εκτίμηση Επαγγελματικού Κινδύνου Στους Χώρους Εργασίας

Παρόμοιος διαχωρισμός των επικίνδυνων ουσιών γίνεται και για την εκτίμηση του επαγγελματικού κινδύνου στους χώρους εργασίας, για την αποφυγή Βιομηχανικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης (BAME).

Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται στο άρθρο 5 της οδηγίας Seveso II και το άρθρο 3 της ΚΥΑ 5697/590/00 [6, 7, 8] με την οποία γίνεται εναρμόνιση του εθνικού δικαίου, *«μεγάλο ατύχημα είναι ένα συμβάν, όπως μεγάλη διαρροή, πυρκαγιά ή έκρηξη που προκύπτει από ανεξέλεγκτες εξελίξεις κατά τη λειτουργία οιασδήποτε μονάδας καλυπτόμενης από την παρούσα οδηγία, το οποίο προκαλεί μεγάλους κινδύνους, άμεσους ή απότερους, για την ανθρώπινη υγεία, εντός ή εκτός της μονάδας, η/και για το περιβάλλον, και σχετίζεται με μία ή περισσότερες επικίνδυνες ουσίες».*

Στα ίδια άρθρα ορίζονται ως *«Επικίνδυνες ουσίες, οι ουσίες μείγματα ή παρασκευάσματα του Παραρτήματος I Μέρος 1, ή τα οποία πληρούν τα καθορισμένα στο Παράρτημα I Μέρος 2 κριτήρια, υπό μορφή πρώτης ύλης, προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που ευλόγως αναμένεται να προκύψουν σε περίπτωση ατυχήματος»*

Στο Παράρτημα I της οδηγίας και της ΚΥΑ 5697/590/00 [7] αναφέρεται στο Μέρος 1 συγκεκριμένες ουσίες (κατονομαζόμενες ουσίες) με τις αντίστοιχες οριακές ποσότητες, οι οποίες αποτελούν βασικές πρώτες ύλες της χημικής βιομηχανίας γενικά. Το φάσμα των εφαρμογών τους είναι ευρύτατο ξεκινώντας από τη μεταλλουργία και τη παραγωγή ανόργανων οξέων και καταλήγοντας στους διάφορους κλάδους της οργανικής χημείας. Ενώ στο Μέρος 2 αναφέρονται κατηγορίες ουσιών και παρασκευασμάτων που δεν κατονομάζονται συγκεκριμένα στο Μέρος 1. Όταν μια ουσία ή ομάδα ουσιών που αναγράφεται στο Μέρος 1 εμπίπτει επίσης σε κατηγορία του Μέρους 2, οφείλουν να λαμβάνονται υπόψη οι οριακές ποσότητες του Μέρους 1.

Τα μείγματα και τα παρασκευάσματα αντιμετωπίζονται όπως οι καθαρές ουσίες, υπό τον όρο ότι παραμένουν μέσα στα όρια συγκέντρωσης τα οποία καθορίζονται, ανάλογα με τις ιδιότητες τους, στις οικείες διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας για την ταξινόμηση, συσκευασία και επισήμανση των επικίνδυνων ουσιών ή παρασκευασμάτων.

Οι οριακές ποσότητες που ορίζονται, αναφέρονται σε κάθε μία μονάδα. Οι ποσότητες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την εφαρμογή των σχετικών άρθρων είναι οι μέγιστες ποσότητες οι οποίες βρίσκονται ή μπορεί να βρεθούν σ' ένα τόπο οποιαδήποτε στιγμή. Οι επικίνδυνες ουσίες που υπάρχουν σε μία μονάδα μόνο σε ποσότητες το πολύ ίσες προς το 2% της σχετικής οριακής ποσότητας δεν λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό της συνολικής υπάρχουσας ποσότητας εφόσον βρίσκονται σε τέτοιο σημείο της μονάδας ώστε να μην μπορούν να αποτελέσουν το έναυσμα μεγάλου ατυχήματος.

Στη συνέχεια αναφέρονται οι κατηγορίες ουσιών και παρασκευασμάτων που ταξινομούνται σύμφωνα με την οδηγία Seveso II [6]. Για την κάθε κατηγορία αναφέρεται και οι οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7, που αναφέρονται στην «Κοινοποίηση» και την «Πολιτική Πρόληψης Μεγάλων Ατυχημάτων».

Κατηγορία 1: Πολύ Τοξικές

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	5
--	---

Κατηγορία 2: Τοξικές

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	50
--	----

Κατηγορία 3: Οξειδωτικές

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	50
--	----

Κατηγορία 4: Εκρηκτικές

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	50
--	----

Ως εκρηκτικά νοούνται:

Τμήμα 4.1. Οι ουσίες ή τα παρασκευάσματα που δημιουργούν κίνδυνο έκρηξης με την κρούση, τη τριβή, τη φωτιά ή άλλες πηγές ανάφλεξης (φράση κινδύνου R2).

Τμήμα 4.2. Πυροτεχνικές ουσίες είναι οι ουσίες (ή μείγματα ουσιών) που προορίζονται να παράγουν θερμικό φωτεινό, ηχητικό, αεριώδες ή καπνογόνο αποτέλεσμα ή συνδυασμό τέτοιων αποτελεσμάτων, μέσω μη εκρηκτικών, αυτοσυντηρούμενων και εξώθερμων χημικών αντιδράσεων.

Τμήμα 4.3. Οι εκρήξεις ή οι πυροτεχνικές ουσίες ή παρασκευάσματα που περιέχονται σε αντικείμενα.

Κατηγορία 5: Εκρηκτικές

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	10
--	----

Ως εκρηκτικά νοούνται:

Τμήμα 5.1. Οι ουσίες ή τα παρασκευάσματα που δημιουργούν μεγάλους κινδύνους έκρηξης με την κρούση, την τριβή, τη φωτιά ή άλλες πηγές ανάφλεξης (φράση κινδύνου R3).

Κατηγορία 6: Εύφλεκτες

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	5000
--	------

Ως εύφλεκτα υγρά νοούνται:

Τμήμα 6.1. Οι ουσίες ή τα παρασκευάσματα που έχουν σημείο ανάφλεξης ίσο μεγαλύτερο από 21 °C και μικρότερο ή ίσο προς 55 °C και συντηρούν την καύση (φράση κινδύνου R10).

Κατηγορία 7.1: Πολύ Εύφλεκτες

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	50
--	----

Ως πολύ εύφλεκτα υγρά νοούνται:

Τμήμα 7.1.1. Οι ουσίες ή τα παρασκευάσματα που μπορεί να θερμανθούν και τελικά να αναφλεγούν σε επαφή με τον αέρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος χωρίς παροχή ενέργειας (φράση κινδύνου R17).

Κατηγορία 7.2: Πολύ Εύφλεκτα Υγρά

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	5000
--	------

Ως πολύ εύφλεκτα υγρά νοούνται:

Τμήμα 7.2.1. Οι ουσίες ή τα παρασκευάσματα που έχουν σημείο ανάφλεξης κατώτερο από 55 °C και που παραμένουν σε υγρή κατάσταση υπό πίεση, στις περιπτώσεις όπου ιδιαίτερες συνθήκες επεξεργασίας, όπως υψηλή πίεση και υψηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσουν κινδύνους μεγάλου ατυχήματος.

Τμήμα 7.2.2. Ουσίες και παρασκευάσματα με σημείο ανάφλεξης κατώτερο από 21 °C και που δεν είναι εξαιρετικά εύφλεκτες (φράση κινδύνου R11 δεύτερη περίπτωση).

Κατηγορία 8: Εξαιρετικά Εύφλεκτες

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	10
--	----

Ως εξαιρετικά εύφλεκτα υγρά και αέρια νοούνται:

Τμήμα 8.1. Υγρές ουσίες ή τα παρασκευάσματα που έχουν σημείο ανάφλεξης από 0 °C και των οποίων το σημείο βρασμού (ή στην περίπτωση κλίμακας θερμοκρασιών βρασμού, το αρχικό σημείο βρασμού) είναι, υπό κανονική πίεση, μικρότερο ή ίσο προς 35 °C, (φράση κινδύνου R12 πρώτη περίπτωση).

Τμήμα 8.2. Αέριες ουσίες και παρασκευάσματα που είναι εύφλεκτα σε επαφή σε επαφή με τον αέρα σε θερμοκρασία και πίεση περιβάλλοντος (φράση κινδύνου δεύτερη περίπτωση), είτε διατηρούνται σε αέρια ή υγρά κατάσταση υπό πίεση, είτε όχι, εξαιρουμένων των εξαιρετικά εύφλεκτων υγροποιημένων αερίων (συμπεριλαμβανομένου του υγραερίου και του φυσικού αερίου)

Τμήμα 8.3. Ουσίες και παρασκευάσματα που διατηρούνται σε θερμοκρασία υψηλότερη του σημείου βρασμού τους.

Κατηγορία 9: Επικίνδυνες για το Περιβάλλον

Σε συνδυασμό με τις ακόλουθες φράσεις κινδύνου:

R50: «Πολύ τοξική για υδρόβιους οργανισμούς»

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	200
--	-----

R51: «Τοξική για υδρόβιους οργανισμούς»

R53: «Μπορεί να προκαλέσει μακροπρόθεσμα ανεπιθύμητες επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον»

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	500
--	-----

Κατηγορία 10: Κάθε ταξινόμηση που δεν καλύπτεται από τις ανωτέρω

Σε συνδυασμό με τις ακόλουθες φράσεις κινδύνου:

R14: «Αντιδρά βίαια με το νερό» (συμπεριλαμβάνονται R14/15)

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	100
--	-----

R29: «Η επαφή με το νερό απελευθερώνει τοξικά αέρια»

Οριακές ποσότητες (σε τόνους) της επικίνδυνης ουσίας για την εφαρμογή των άρθρων 6 και 7	50
--	----

Το άθροισμα των επικίνδυνων ουσιών, για να προσδιορισθεί η ποσότητα που υπάρχει σε μία μονάδα, υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω κανόνα

$$\frac{q_1}{Q} + \frac{q_2}{Q} + \frac{q_3}{Q} + \dots > 1 \quad (\text{Εξίσωση. 1.1})$$

Όπου:

q_x = η υπάρχουσα ποσότητα της επικίνδυνης ουσίας x (ή κατηγορίας ουσιών)

Q = η σχετική οριακή ποσότητα.

Ο κανόνας αυτός εφαρμόζεται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- ❖ Για τις ουσίες και τα παρασκευάσματα που περιλαμβάνονται στο Μέρος 1 της ΚΥΑ 5697/590/00, σε ποσότητες μικρότερες από τις προβλεπόμενες για την κάθε μια οριακές ποσότητες, μαζί με ουσίες του Μέρους 2, που υπάγονται στην ίδια κατηγορία, καθώς και για την πρόσθεση ουσιών και παρασκευασμάτων του Μέρους 2 που υπάγονται στην ίδια κατηγορία.
- ❖ Για την πρόσθεση των κατηγοριών 1,2 και 9 που συνυπάρχουν στην ίδια ομάδα.
- ❖ Για την πρόσθεση των κατηγοριών 3, 4, 5, 6, 7.1, 7.2 και 8 που συνυπάρχουν στην ίδια μονάδα.

Στην περίπτωση ουσιών και παρασκευασμάτων που δεν έχουν ταξινομηθεί ως επικίνδυνα με βάση τις αποφάσεις του Ανώτατου Χημικού Συμβουλίου, αλλά που εντούτοις υπάρχουν ή ενδέχεται να υπάρχουν σε μια μονάδα και που εμφανίζουν, ή ενδέχεται να εμφανίσουν, υπό τις συνθήκες που επικρατούν στη μονάδα, ισοδύναμες ιδιότητες όσον αφορά τη δυνατότητα πρόκλησης μεγάλων ατυχημάτων, τηρούνται οι διαδικασίες για προσωρινή ταξινόμηση σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις των αποφάσεων αυτών. Στην περίπτωση ουσιών και παρασκευασμάτων με ιδιότητες που επιτρέπουν ταξινόμηση σε περισσότερες της μιας κατηγορίας για τους σκοπούς της οδηγίας Seveso II και της ΚΥΑ 5697/590/00, ισχύουν τα χαμηλότερα όρια.

1.3. Κατηγοριοποίηση Υλικών κατά NFPA. [11]

Η εθνική ένωση πυροπροστασίας (NFPA), έχει ανοίξει το δρόμο στην πυρασφάλεια από 1896. Η αποστολή του διεθνούς μη κερδοσκοπικού οργανισμού είναι να προσδιορίσει τους κινδύνους εκδήλωσης φωτιάς και να μειώσει τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς στην ποιότητα ζωής των παθόντων. Έτσι, έχει αναπτύξει κώδικες βασισμένους σε επιστημονικά πρότυπα και σε αποτελέσματα έρευνας, για την εκπαίδευση σε ζητήματα ασφάλειας.

Η ένωση δημοσιεύει τους εθνικούς κώδικες πυρασφάλειας (National Fire Codes) και προγράμματα σπουδών που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση στο αντικείμενο της πυρασφάλειας και πυροπροστασίας σε όλο τον κόσμο. Συνολικά 275 κώδικες και πρότυπα έχουν αναπτυχθεί, που καλύπτουν όλους τους τομείς της πυρασφάλειας και χρησιμοποιούνται σχεδόν σε κάθε χώρα στον κόσμο

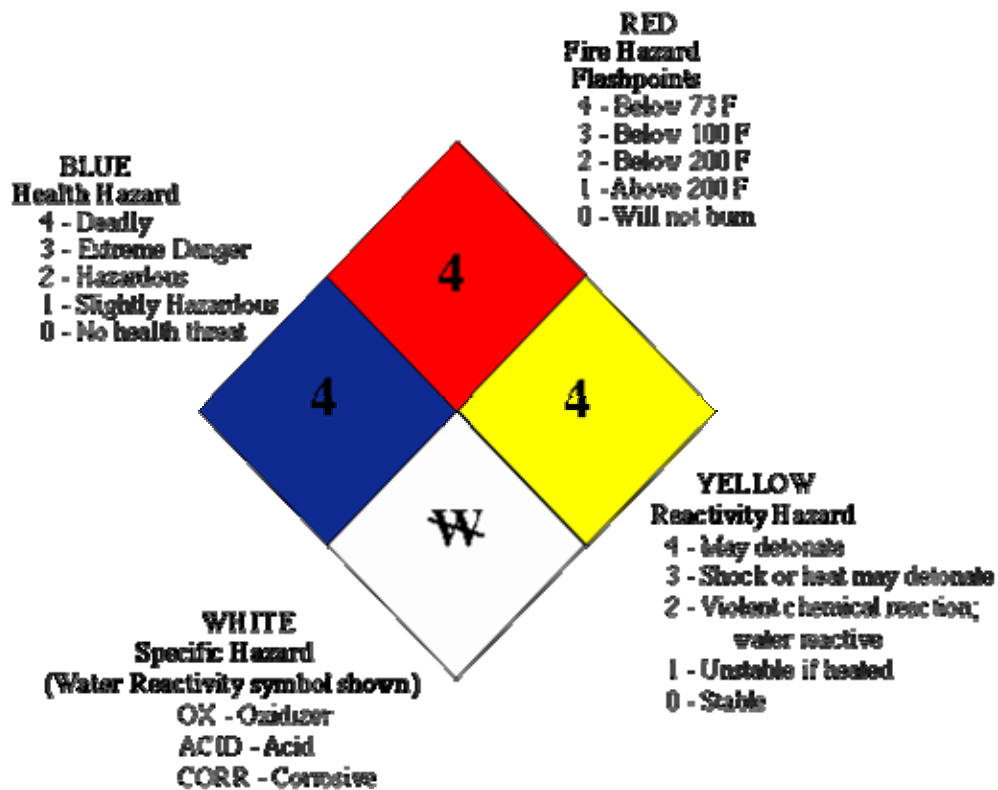
Δύο από τους πολλούς κώδικες της NFPA που έχουν επιτύχει την παγκόσμια αναγνώριση, υιοθέτηση, και επιβολή είναι:

- *The Life Safety Code: NFPA 101*, στον οποίο περιγράφονται οι απαιτήσεις για τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία, και τη συντήρηση κτιρίων, ώστε να παρέχουν προστασία από την πυρκαγιά, τον καπνό ή παρόμοιες έκτακτες ανάγκες.
- *The National Electrical Code: NFPA 70*, στο οποίο περιγράφονται τα κατάλληλα ηλεκτρικά συστήματα και ο τρόπος εγκατάστασης του εξοπλισμού, για να προστατεύσει τους ανθρώπους και την ιδιοκτησία τους από τους κινδύνους που προκύπτουν από τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια.

Ένα από τα ευρέως χρησιμοποιημένο χημικό σύστημα προσδιορισμού της επικινδυνότητας των υλικών έχει αναπτυχθεί από την NFPA. Το σύστημα προορίστηκε αρχικά, να παρέχει τις βασικές πληροφορίες των υλικών ως προς την αναφλεξιμότητα τους και τους παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την εφαρμογή σχεδίων εκτάκτου ανάγκης.

Εκτός από αυτούς τους αρχικούς στόχους, η ταξινόμηση των υλικών με το σύστημα της NFPA, παρέχει πληροφορίες στο προσωπικό που τα χειρίζεται, ώστε να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα ατομικής προστασίας, αλλά και η σωστή μεθοδολογία μεταφοράς και αποθήκευσης τους.

Το σύστημα είναι βασισμένο σε ένα διαμάντι που διαιρείται σε 4 περιοχές, κάθε μία περιοχή ορίζεται από συγκεκριμένο χρώμα, ανάλογα με την επικινδυνότητα που αντιπροσωπεύει, και μια αριθμητική εκτίμηση της επικινδυνότητας. Στο παρακάτω σχήμα 1 φαίνεται το διαμάντι της NFPA με τα χρώματα που το αποτελούν και το συνολικό πλήθος των υποκατηγοριών σε κάθε κατηγορία.



Σχήμα 1.1: Το διαμάντι της NFPA με τα χρώματα που το αποτελούν και το συνολικό πλήθος των υποκατηγοριών σε κάθε κατηγορία

1.3.1. Κόκκινη περιοχή: Εύφλεκτα Υλικά – Κίνδυνος Φωτιάς

Στην περιοχή αυτή ταξινομούνται τα υλικά ανάλογα με την ευφλεκτικότητά τους και υποδιαιρείται σε τέσσερις κατηγορίες. Η εκτίμηση της ευφλεκτικότητας εξαρτάται από την ευκολία της ανάφλεξης ενός υλικού και τη δημιουργία φωτιάς. Όλα τα υλικά, ανεξάρτητα από τη φύση τους (αέρια, υγρά, στερεά), για να καούν πρέπει να βρεθούν στις κατάλληλες συνθήκες (συγκέντρωσης, θερμοκρασίας περιβάλλοντος χώρου, πίεσης περιβάλλοντος χώρου, ανάμειξης με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας), η ελάχιστη θερμοκρασία πέραν της οποίας αναφλέγονται ονομάζεται σημείο ανάφλεξης του υλικού (flash point).

Το σημείο ανάφλεξης του υλικού (flash point) δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την επικινδυνότητα των υλικών. Ένα μη αναφλέξιμο υλικό δεν έχει σημείο ανάφλεξης (flash point), όσο ποιά υψηλή είναι η θερμοκρασία ανάφλεξης ενός υλικού τότε αυτό κατατάσσεται και σε χαμηλότερη κατηγορία ευφλεξιμότητας. Οι κατηγορίες που διακρίνονται σε αυτή την περιοχή φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 1.1, και τα υλικά βαθμολογούνται με την υψηλότερη τιμή όσο η θερμοκρασία ανάφλεξης μικραίνει.

Πίνακας 1.1: Κατηγοριοποίηση των εύφλεκτων υλικών κατά NFPA

Κατηγορία Ευφλεκτικότητας	Περιοχή θερμοκρασίας ανάφλεξης (°C)	Επικινδυνότητα υλικών
0	Δεν αναφλέγονται	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής δεν αναφλέγονται κάτω από οποιαδήποτε συνθήκη
1	> 93	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής πρέπει να προθερμανθούν και στην συνέχεια να αναφλεχθούν
2	< 93	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής μπορούν και αναφλέγονται κάτω από ήπια θέρμανση ή κάτω από υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος
3	< 38	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής είναι κυρίως υγρά και στερεά που αναφλέγονται σε επαφή με την ατμόσφαιρα κάτω από οποιεσδήποτε περιβαλλοντικές συνθήκες
4	< 23	Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υλικά που εξατμίζονται πολύ γρήγορα κάτω από κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες, δημιουργούν εκρηκτικά νέφη και εκρήγνυνται

1.3.2. Κίτρινη Περιοχή: Ενεργά Υλικά – Κίνδυνος Έκρηξης

Η ενεργότητα των υλικών ορίζεται από την ικανότητα που έχουν να αντιδρούν είτε με το εαυτό τους, είτε με άλλα υλικά, κάτω από κατάλληλες συνθήκες και να δίνουν αντιδράσεις πολυμερισμού ή να παράγουν νέα υλικά, προσλαμβάνοντας θερμότητα (ενδόθερμες αντιδράσεις), ή εκλύοντας θερμότητα (εξώθερμες αντιδράσεις).

Η βιαιότητα της αντίδρασης που λαμβάνει χώρα ορίζει και το βαθμό ενεργότητας του υλικού. Έτσι, με τον μεγαλύτερο βαθμό, το τέσσερα (4), βαθμολογούνται τα υλικά που κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες αντιδρούν βίαια παράγοντας εκρήξεις και με τον μικρότερα βαθμό, το μηδέν (0), βαθμολογούνται τα υλικά που δεν παρουσιάζουν καμία τάση αντίδρασης (αδρανή υλικά).

Αν και δεν είναι δυνατόν να παρατεθεί ένας ακριβής κατάλογος χημικών ενώσεων που παράγουν εκρηκτικές αντιδράσεις, είναι δυνατό να διευκρινιστούν μερικά γενικά δομικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που συνδέονται με υψηλή επικινδυνότητα αντιδράσεως ή αστάθειας του υλικού.

Έτσι, έντονη δραστικότητα, παράγοντας εκρηκτικές αντιδράσεις, παρουσιάζουν οι ενώσεις που περιέχουν:

- Στο μόριο τους άνθρακα ενωμένο με πολλαπλούς δεσμούς π.χ. Αλκένια ($C=C=C$, $C=C-C=C$), Αλκίνια κ.τ.λ.
- Ενώσεις του άνθρακα και του αζώτου π.χ. αζωτούχες ενώσεις ($C-N=N-C$), τριαζόλες νιτρίλια, διαζω- ενώσεις (CN_2), τριαζίνες ($C-N=N-N$) κ.τ.λ.
- Ενώσεις του άνθρακα με δακτυλίους οξυγόνου. Τέτοιες ενώσεις είναι τα οξέα ($-COOH$), τα περοξίδια ($-COOC-$) κ.τ.λ.
- Άνθρακα, άζωτο και οξυγόνο π.χ. νιτροζω-ενώσεις ($-C-N=O$), νιτρο-ενώσεις ($C-NO_2$), αλκιλικά και αρυλικά αζίδια ($C-O-NO_2$) κ.τ.λ.
- Άζωτο και οξυγόνο π.χ. οξειδίο του αζώτου (NO), διοξειδίο του αζώτου (NO_2), υδροξилаμίνες και άλατα (H_2NOH), δίνιτρο οξείδια (N_2O), δίνιτρο πεντοξείδια (N_2O_5) κ.τ.λ.
- Άζωτο και άλλα στοιχεία όπως αλογόνα, βαρέα μέταλλα, θείο.

Γενικά, τα δραστικά υλικά μπορεί να είναι σε οποιαδήποτε φυσική κατάσταση (στερεά, υγρά, αέρια) και συνήθως παρουσιάζουν τις παρακάτω ιδιότητες:

- Πολυμερίζονται σε κανονικές συνθήκες
- Αντιδρούν βίαια με το νερό
- Αυτοαναφλέγονται σε κανονικές συνθήκες παρουσία αέρα

Το κριτήριο για την κατάταξη ενός υλικού σε μία από τις κατηγορίες κατά NFPA είναι η θερμοκρασία διάσπασης του στις ενώσεις και στα στοιχεία που το αποτελούν. Έτσι, δημιουργούνται οι παρακάτω κατηγορίες:

Πίνακας 1.2: Κατηγοριοποίηση των Ενεργών υλικών κατά NFPA

Κατηγορία Ενεργότητας- Δραστηκότητας	Περιοχή θερμοκρασίας Διάσπασης (°C)	Επικινδυνότητα υλικών
0	< 557	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται ως κανονικά σταθερά υλικά ακόμα και κάτω από συνθήκες πυρκαγιάς, επίσης, τα υλικά αυτά δεν παρουσιάζουν καμία δραστηκότητα με το νερό.
1	557 - 662	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται ως σταθερά υλικά σε περιβαλλοντικές συνθήκες, όταν όμως, θερμανθούν ή έρθουν σε επαφή με φωτιά γίνονται ασταθή. Σε επαφή τους με το νερό αντιδρούν αλλά όχι βίαια.

Πίνακας 1.2 (Συνέχεια): Κατηγοριοποίηση των Ενεργών υλικών κατά NFPA

Κατηγορία Ενεργότητας-Δραστηκότητας	Περιοχή θερμοκρασίας Διάσπασης (°C)	Επικινδυνότητα υλικών
2	662 - 737	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται ως ασταθή υλικά στις κανονικές συνθήκες που αντιδρούν κάτω από χημικές εναλλαγές, η οποία αντίδραση γίνεται βίαια όταν συνδέεται με υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Σε επαφή με το νερό αντιδρούν βίαια.
3	737 - 807	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής είναι ασταθή και εκρήγνυνται όταν θερμανθούν ή βρεθούν σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Σε επαφή με το νερό δημιουργούν εκρηκτικές αντιδράσεις σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος.
4	> 807	Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υλικά που είναι εξαιρετικά ασταθή και αυτοεκρήγνυνται κάτω από κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Επίσης στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται και τα υλικά που είναι ευαίσθητα σε κάθε μηχανική θερμική αλλαγή.

1.3.3. Μπλε Περιοχή: Τοξικά Υλικά – Κίνδυνος Επιμόλυνσης

Η τοξικότητα ενός υλικού αναφέρεται στην ικανότητά του να διακόπτει ή και να καταστρέφει (δηλητηριάζει) την λειτουργία ενός οργανισμού προσβάλλοντας ζωτικά του όργανα.

«Τι δεν είναι δηλητήριο; Όλα τα πράγματα είναι δηλητηριώδη και τίποτα δεν είναι χωρίς δηλητήριο. Είναι η δόση που κάνει κάτι μη δηλητηριώδη.»

Παράκελσος (1493 – 1541)

Με βάση το παραπάνω γνωμικό γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι η τοξική δράση ενός υλικού εξαρτάται από την ποσότητα που προσλαμβάνεται από τον οργανισμό. Έτσι, οι οριακές τιμές έκθεσης αναφέρονται σε συγκεντρώσεις ουσιών στον ατμοσφαιρικό αέρα του εργασιακού χώρου, στις οποίες πιστεύεται ότι μπορούν καθημερινά να εκτίθενται οι εργαζόμενοι, δίχως να υποστούν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία τους. Οι οριακές τιμές έκθεσης αναφέρονται σε οκτάωρη πενθήμερη εργασία. Για ασυνήθη ωράρια εργασίας (μεγαλύτερα των 8 ωρών ημερησίως και των 5 εργάσιμων ημερών εβδομαδιαίως) έχουν προταθεί μοντέλα εφαρμογής οριακών τιμών με χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τις συμβατικές οριακές τιμές που αναφέρονται σε οκτάωρη πενθήμερη εργασία.

Το θέμα των οριακών τιμών έκθεσης είναι σύνθετο και με ισχυρή φιλοσοφική διάσταση, επειδή συνδέεται με την υγεία, η οποία, σύμφωνα με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (ΠΟΥ), ορίζεται πλέον πολυδιάστατα: «Υγεία είναι μια κατάσταση πλήρους φυσικής, ψυχικής και κοινωνικής ευεξίας και όχι απλά η απουσία νόσου ή αναπηρίας».

Στο σημείο αυτό, θα ήταν χρήσιμο να αναφερθούν δύο βασικές έννοιες της φαρμακολογίας, οι έννοιες της φαρμακοκινητικής και της φαρμακοδυναμικής.

Ο όρος *φαρμακοκινητική* περιγράφει τις μεταβολές που υφίσταται το φάρμακο στο πλαίσιο του ανθρώπινου οργανισμού (π.χ. κατανομή, απέκκριση, μεταβολισμός).

Ο όρος *φαρμακοδυναμική* αναφέρεται στις μεταβολές που προκαλεί το φάρμακο στον οργανισμό (π.χ. κλινικές εκδηλώσεις), καθώς και στο μηχανισμό δράσης του φαρμάκου.

Προβάλλοντας τις δύο παραπάνω έννοιες της φαρμακολογίας στην τοξικολογία, προκύπτουν οι έννοιες της τοξικοκινητικής (τι μεταβολές υφίσταται μια τοξική ουσία στο πλαίσιο του ανθρώπινου οργανισμού) και της τοξικοδυναμικής (τι μεταβολές προκαλεί στον ανθρώπινο οργανισμό η τοξική ουσία).

Άρρηκτα συνδεδεμένες με την έννοια των οριακών τιμών είναι οι έννοιες της έκθεσης (exposure), της δόσης (dose), της ανταπόκρισης (response) και του αποτελέσματος (effect).

Η έκθεση είναι ποιοτικός όρος και αναφέρεται στις συνθήκες που χαρακτηρίζουν την επαφή βλαπτικών παραγόντων (φυσικών, χημικών, βιολογικών) με τον ανθρώπινο οργανισμό και εισέρχονται σε αυτόν. Η έκθεση χαρακτηρίζεται από τη συγκέντρωση των βλαπτικών ουσιών (π.χ. στον εργασιακό χώρο), τη συχνότητα της έκθεσης (frequency), τη διάρκεια της (duration) και την οδό έκθεσης (route of exposure).

Ως δόση (dose) μιας τοξικής ουσίας ορίζεται το συνολικό ποσό της ουσίας που έχει εισέλθει στον οργανισμό. Οποσδήποτε, η έννοια της δόσης δεν είναι εύκολο να οριστεί κατηγορηματικά. Η φαρμακολογική διάσταση της δόσης, για παράδειγμα, αναφέρεται στο ποσό της ουσίας που εισήλθε στον οργανισμό, διά της αναπνοής, της κατάποσης, του δέρματος ή ενδοφλέβια (pharmacological dose). Η διάσταση της δόσης που σχετίζεται με την παρουσία της τοξικής ουσίας σε κάποιο στόχο σε κυτταρικό επίπεδο για μια ικανή χρονική περίοδο αναφέρεται ως «δόση στόχου» (target dose), ενώ η ποσότητα ή η συγκέντρωση της ουσίας σε διάφορα όργανα και ιστούς αναφέρεται ως ιστική δόση (tissue dose). Ως δόση έκθεσης (exposure dose) μιας τοξικής ουσίας ορίζεται η συγκέντρωση της στο εργασιακό περιβάλλον, η οποία δεν ταυτίζεται αναγκαστικά με το ποσό της ουσίας που εισήλθε στον οργανισμό.

Στην τοξικολογία, είναι θεμελιώδης η σημασία της σχέσης ανάμεσα στη δόση της τοξικής ουσίας (στο μέγεθος, δηλαδή, της έκθεσης σε αυτή) και στην ανταπόκριση (response), δηλαδή στο μέγεθος του επαγόμενου (induced) από την ουσία βιολογικού αποτελέσματος (effect).

Οι έννοιες των σχέσεων δόσης-αποτελέσματος (dose-effect) και δόσης-ανταπόκρισης (dose-response) διαφοροποιούνται μεταξύ τους.

Η σχέση δόση-αποτέλεσμα εκφράζει την έκταση της ανταπόκρισης, σε ατομικό όμως επίπεδο. Για παράδειγμα, έκθεση σε συγκεκριμένη ποσότητα μιας τοξικής ουσίας προκαλεί μείωση της νεφρικής λειτουργίας κατά 20%.

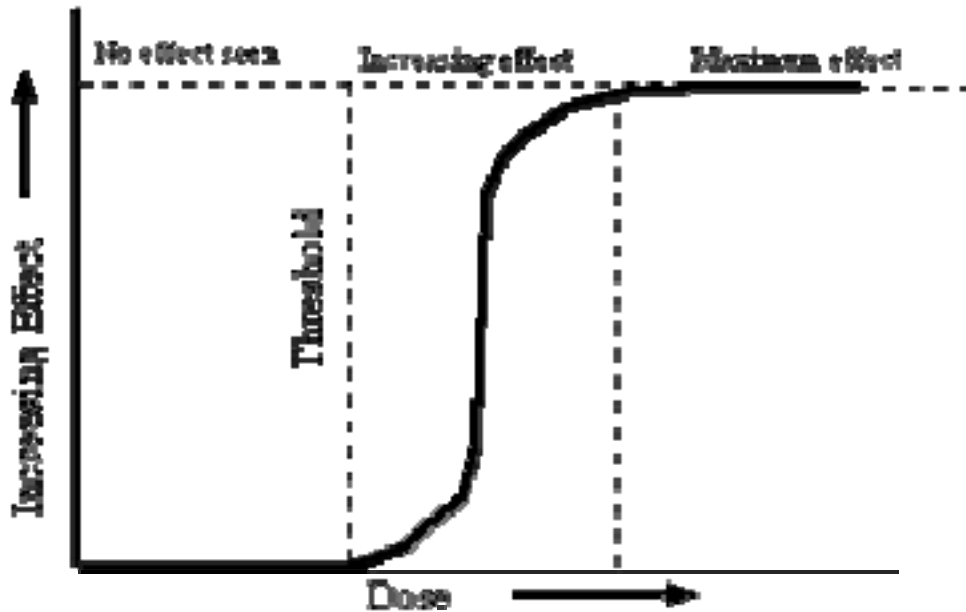
Αντίθετα, η σχέση δόση-ανταπόκριση δεν αναφέρεται στην έκταση της ανταπόκρισης σε ατομικό (individual level) επίπεδο, αλλά σε επίπεδο πληθυσμού (population level). Για παράδειγμα, ένας πληθυσμός 100 πειραματόζωων εκτίθεται στην ίδια ποσότητα της προαναφερόμενης ουσίας και το 25% των πειραματόζωων παρουσίασαν διαταραχή της νεφρικής λειτουργίας. Η αξιολόγηση της σχέσης δόσης-ανταπόκρισης σε πληθυσμιακή βάση αποτελεί το θεμέλιο λίθο για την οικοδόμηση του συστήματος των οριακών τιμών, επειδή από

τη σχέση δόσης-ανταπόκρισης καθορίζεται αν υπάρχει ή όχι οδός (κατώφλι) για την πρόκληση από μια χημική ουσία επιβλαβών αποτελεσμάτων.

Η δόση εκείνη της χορηγούμενης ουσίας κάτω από την οποία δεν παρατηρείται κάποια ανεπιθύμητη ενέργεια (no observed effect level, NOEL) είναι καθοριστική για τη συγκρότηση του συστήματος των οριακών τιμών. Για να καθοριστεί μια οριακή τιμή έκθεσης σε μια ουσία, θα πρέπει προηγουμένως να διαπιστωθεί ότι υφίσταται ένα όριο έκθεσης, στην ουσία αυτή, κάτω από το οποίο δεν παρατηρείται κάποια ανεπιθύμητη ενέργεια. Αξίζει να επισημανθεί ότι η δόση αυτή δεν έχει απόλυτο χαρακτήρα και εξαρτάται από παραμέτρους όπως ο αριθμός των πειραματόζωων (οι περισσότερες μελέτες τοξικότητας γίνονται σε πειραματόζωα), η μεθοδολογία καταγραφής των ανταποκρίσεων, ο αριθμός των πειραματόζωων που επιβίωσαν, καθώς και ο αριθμός των πειραματόζωων ή των οργάνων που είναι υποκείμενα σε ιστοπαθολογικές εξετάσεις. Στη εξέταση των παραπάνω πιστεύεται ότι, ιδιαίτερα για ορισμένου τύπου Βιολογικά αποτελέσματα, όπως η καρκινογένεση, δεν μπορεί να αποκλειστεί η απουσία οδού (κατωφλίου), δηλαδή ακόμη και η ελάχιστη δόση θα μπορούσε θεωρητικά να προκαλέσει το ειδικό Βιολογικό αποτέλεσμα της καρκινογένεσης. Άλλωστε, οι οριακές τιμές έκθεσης δεν διαχωρίζουν, με απόλυτο τρόπο, ασφαλείς από επικίνδυνες συγκεντρώσεις έκθεσης. Γι' αυτόν το λόγο, οι συγκεντρώσεις των χημικών παραγόντων στις οποίες εκτίθενται οι εργαζόμενοι πρέπει να είναι οι χαμηλότερες δυνατές.

Η σχέση μεταξύ της δόσης έκθεσης και της ανταπόκρισης μπορεί να παρασταθεί γραφικά, διάγραμμα 1.1.

Όπως φαίνεται στο γράφημα, στην αρχή της έκθεσης στην τοξική ουσία καμία βλαπτική επίπτωση δεν εμφανίζεται στον οργανισμό. Καθώς όμως, η δόση ή ο χρόνος έκθεσης αυξάνει παρατηρείται και απότομη αύξηση των βλαπτικών συνεπειών, που φθάνει σε ένα μέγιστο ανταπόκρισης πέραν του οποίου δεν παρατηρούνται άλλες βλάβες.



Διάγραμμα 1.1: Η σχέση μεταξύ της δόσης έκθεσης και της ανταπόκρισης μιας τοξικής ουσίας.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, στο MSDS (Material Safety Data Sheet) συνοδευτικό έγγραφο ανάλυσης κινδύνων και ασφαλούς χειρισμού των υλικών, πρέπει να αναφέρονται εκτός των άλλων και ορισμένες εργαστηριακές οριακές τιμές έκθεσης στη τοξική ουσία, αυτές είναι:

1. LC₅₀: (Lethal Concentration 50)

Αναφέρεται στο όριο συγκέντρωσης όπου το 50% των εκτιθέμενων πειραματόζωων πεθαίνει αν εκτεθεί για 10 έως 30 min

2. LC_{LO}: (Lethal Concentration Low)

Αναφέρεται στο χαμηλότερο όριο συγκέντρωσης της τοξικής ουσίας, όπου το εκτιθέμενα πειραματόζωα πεθαίνουν αν εκτεθούν για 24 hours.

3. LD₅₀: (Lethal Dose 50)

Αναφέρεται στο όριο δόσης της τοξικής ουσίας όπου, το 50% των εκτιθέμενων πειραματόζωων πεθαίνει ανεξάρτητα από τον χρόνο έκθεσης.

4. LD_{LO}: (Lethal Dose Low)

Αναφέρεται στο χαμηλότερο όριο δόσης της τοξικής ουσίας όπου, τα εκτιθέμενα πειραματόζωα πεθαίνουν ανεξάρτητα από τον χρόνο έκθεσης.

5. TC_{LO}: (Toxic Concentration Low)

Αναφέρεται στη χαμηλότερη συγκέντρωση της τοξικής ουσίας όπου, στα εκτιθέμενα πειραματόζωα παρατηρούνται βλαπτικές συνέπειες στον οργανισμό τους με καρκινογενέσεις ή τερατογενέσεις κατά την αναπαραγωγή τους, ανεξάρτητα από τον χρόνο έκθεσης.

6. **TD_{LO}: (Toxic Dose Low)**

Αναφέρεται στη χαμηλότερη δόση της τοξικής ουσίας όπου, στα εκτιθέμενα πειραματόζωα παρατηρούνται βλαπτικές συνέπειες στον οργανισμό τους με καρκινογενέσεις ή τερατογενέσεις κατά την αναπαραγωγή τους, ανεξάρτητα από τον χρόνο έκθεσης.

Η ταξινόμηση των υλικών με βάση την τοξικότητά τους κατά NFPA, γίνεται ανάλογα με την τιμή του **LD₅₀ (Lethal Dose 50)** εκφρασμένο σε mg/Kg ή την τιμή του **LC₅₀ (Lethal Concentration 50)** εκφρασμένου σε ppm. Οι κατηγορίες που δημιουργούνται σύμφωνα με την παραπάνω κατάταξη περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα 1.3.

Πίνακας 1.3: Κατηγοριοποίηση των Τοξικών υλικών κατά NFPA

Κατηγορία Τοξικότητας	LD₅₀ (Lethal Dose 50) σε mg/Kg	LC₅₀ (Lethal Concentration 50) σε ppm	Επικινδυνότητα υλικών
0	> 2000	> 10000	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής προξενούν τοξική βλάβη όταν προσλαμβάνονται από ένα οργανισμό σε πολύ μεγάλη δόση, συνήθως τα υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται ως μη τοξικά.
1	2000	10000	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται ως ελαφρός επιβλαβή τοξικά, όταν, ο οργανισμός που θα προσβληθεί από αυτά απαιτεί ελάχιστη ιατρική περίθαλψη.
2	500	5000	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής μπορούν να προξενήσουν στον οργανισμό προσωρινή ανικανότητα και σε σπάνιες περιπτώσεις, μόνιμη βλάβη, όταν ο οργανισμός εκτίθεται για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα σταθερά ή περιοδικά αλλά όχι χρόνια.

Πίνακας 1.3 (Συνέχεια): Κατηγοριοποίηση των Τοξικών υλικών κατά NFPA

Κατηγορία Τοξικότητας	LD ₅₀ (Lethal Dose 50) σε mg/Kg	LC ₅₀ (Lethal Concentration 50) σε ppm	Επικινδυνότητα υλικών
3	50	3000	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής μπορούν να προκαλέσουν στον οργανισμό προσωρινή ή και μόνιμη ανικανότητα, όταν προσλαμβάνονται σε πολύ μικρές δόσεις.
4	5	1000	Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υλικά που προξενούν μόνιμη ανικανότητα ή και θάνατο στον οργανισμό που προσβάλουν.

1.3.4. Λευκή Περιοχή: Υλικά που εμπεριέχουν ειδικούς κινδύνους

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται υλικά που παρουσιάζουν ειδικούς κινδύνους πέραν των προαναφερθέντων, τέτοιοι κίνδυνοι είναι η διαβρωτικότητα των υλικών, δηλαδή η ικανότητά τους να οξειδώνουν τα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή. Άλλοι κίνδυνοι είναι η ραδιενεργή δράση των υλικών, η ηλεκτροστατική δράση και η ευαισθησία που παρουσιάζουν όταν έρθουν σε επαφή με το νερό.

Τα οξειδωτικά υλικά έχουν στο μόριό του περισσευούμενο οξυγόνο και παρουσιάζουν αστάθεια. Έτσι, εύκολα αποδεσμεύουν άτομα οξυγόνου και οξειδώνουν άλλα υλικά, το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα οξείδωσης ενός υλικού από τον ατμοσφαιρικό αέρα είναι η διάβρωση των μετάλλων με την εμφάνιση της σκουριάς. Στον παρακάτω πίνακα 1.4 φαίνονται χημικές ουσίες που στο μόριό τους περιέχουν ομάδες έντονα οξειδωτικές.

Πίνακας 1.4: Οξειδωτικές ομάδες

Χημική Ομάδα	Χημικός Τύπος
Υπεροξείδιο	O_2^{-2}
Νιτρικό Άλας	NO_3^-
Νιτρώδες Άλας	NO_2^-
Υπέρ Χλωρικό Άλας	ClO_4^-
Χλωρικό Άλας	ClO_3^-
Χλωριώδες	ClO_2^-
Υπό Χλωριώδες Άλας	ClO^-

Πίνακας 1.4 (Συνέχεια): Οξειδωτικές ομάδες

Χημική Ομάδα	Χημικός Τύπος
Διχρωμικό Άλας	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$
Υπέρ Μαγγανικό Άλας	MnO_4^-
Υπέρ Θειικό Άλας	$\text{S}_2\text{O}_8^{-2}$

Για να χαρακτηριστεί ένα υλικό ως οξειδωτικό, δεν απαιτείται η ύπαρξη οξυγόνου στο μόριό του, αλλά αυτό που χρειάζεται είναι το υλικό να θέλει να προσλάβει ηλεκτρόνια.

Σύμφωνα με την NFPA τα υλικά μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις υποκατηγορίες οξειδωτικών υλικών αυτές αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα 5, στις κατηγορίες αυτές δεν περιλαμβάνονται τα υλικά που δεν παρουσιάζουν καμία οξειδωτική δράση.

Με βάση την παραπάνω κατηγοριοποίηση των οξειδωτικών υλικών, γίνεται φανερό ότι αυτά τα υλικά ανήκουν και σε κάποια υποκατηγορία των Εύφλεκτων υλικών (κόκκινη ταξινόμηση κατά NFPA), ή/και σε κάποια υποκατηγορία των Ενεργών υλικών (κίτρινη ταξινόμηση κατά NFPA). Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα μελέτη δεν αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστή κατηγορία επικινδυνότητας των υλικών για τον προσδιορισμό του συντελεστή επικινδυνότητας των υλικών.

Πίνακας 1.5: Κατηγοριοποίηση Οξειδωτικών Υλικών κατά NFPA

Κατηγορία Οξειδωτικής Κλάσης	Επικινδυνότητα υλικών
0	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής δεν παρουσιάζουν καμία οξειδωτική δράση.
1	Τα οξειδωτικά υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους, όταν έρχονται σε επαφή με άλλα υλικά, να μπορούν να αυξήσουν την ευφλεκτικότητα τους ή τον ρυθμό καύσης τους.
2	Τα οξειδωτικά υλικά της κατηγορίας αυτής μπορούν να προξενήσουν απότομη ανάφλεξη του υλικού με το οποίο έρχονται σε επαφή ή να αυξήσουν σημαντικά τον ρυθμό καύσης τους.
3	Τα οξειδωτικά υλικά της κατηγορίας αυτής έχουν την ικανότητα να προκαλούν απότομη ανάφλεξη του υλικού με το οποίο έρχονται σε επαφή και να αποσυντίθεται όταν θερμαίνονται ή καταλύονται.
4	Τα οξειδωτικά υλικά της κατηγορίας αυτής εκρήγνυνται όταν θερμανθούν, τριφτούν ή καταλυθούν

1.3.5. Σύνοψη Ταξινόμησης Επικινδυνότητας υλών κατά NFPA

Η ταξινόμηση της επικινδυνότητας των υλικών κατά την NFPA έχει γίνει αποδεκτή από το σύνολο των χημικών βιομηχανιών και τα επικίνδυνα υλικά φέρουν πλέον στην συσκευασία τους την ανάλογη κωδικοποίηση, ώστε να αναγνωρίζονται άμεσα οι κίνδυνοι που περιέχονται και να τυγχάνουν ανάλογο χειρισμό αποθήκευσης και μεταφοράς.

Συνομίζοντας την επικινδυνότητα κατά NFPA των υλικών ξεχωρίζουμε αρχικά μια χρωματική ταξινόμηση στο διαμάντι (Σχήμα 1.1), έτσι:

- Ο μπλέ φόντος αναφέρεται στην επικινδυνότητα που παρουσιάζουν τα υλικά για την υγεία (Health Hazard), τόσο των ανθρώπων όσο και του περιβάλλοντος.
- Ο κόκκινος φόντος αναφέρεται στον κίνδυνο που παρουσιάζουν τα υλικά ως καύσιμη ύλη (Fire Hazard) και τη δημιουργία φωτιάς στην εγκατάσταση.
- Ο κίτρινος φόντος αναφέρεται στη δραστικότητα και ικανότητα των υλικών να παράγουν αντιδράσεις (Reactive Hazard), είτε με τον εαυτό τους είτε με άλλα υλικά που έρχονται σε επαφή, δημιουργώντας εκρήξεις και φωτιά στην εγκατάσταση.
- Ο άσπρος φόντος αναφέρεται σε ειδικούς κινδύνους (Other Hazard Information, δραστικότητα με το νερό, οξειδωτικά υλικά, διαβρωτικά υλικά, ραδιενεργά υλικά), που περιέχουν τα υλικά και απαιτούν ιδιαίτερο χειρισμό ως προς τη μεταφορά και την αποθήκευσή τους.

Η κάθε χρωματισμένη περιοχή, κατηγοριοποιεί τον κίνδυνο που περιγράφει σε πέντε επιμέρους υποκατηγορίες (κλάσεις) επικινδυνότητας, χρησιμοποιώντας αριθμητική ταξινόμηση, έτσι με:

- 0 : Βαθμολογείται η ελάχιστη ή και η μηδενική επικινδυνότητα.
- 1 : Βαθμολογείται η ελάχιστη επικινδυνότητα που πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη.
- 2 : Βαθμολογείται η μέτρια επικινδυνότητα που περιέχεται για την συγκεκριμένη κατηγορία, έχοντας εμφανείς επιπτώσεις στην εγκατάσταση και στο περιβάλλον.
- 3 : Βαθμολογείται η επικινδυνότητα που έχει σοβαρές επιπτώσεις στην εγκατάσταση και στο περιβάλλον.
- 4 : Βαθμολογείται η επικινδυνότητα που μπορεί να επιφέρει ολοκληρωτική καταστροφή της εγκατάστασης ή και του περιβάλλοντος σε μεγάλη ακτίνα γύρο από αυτή.

Στον παρακάτω πίνακα 1.6 φαίνεται συνολικά η ταξινόμηση της επικινδυνότητας των υλικών κατά NFPA, ενσωματώνοντας τους ειδικούς κινδύνους του υλικού (Άσπρη Περιοχή) στις υπόλοιπες κατηγορίες.

Πίνακας 1. 6: Ταξινόμηση Επικινδυνότητας των υλικών κατά NFPA.

	Ευφλεκτικότητα Υλικών	Ενεργότητα Υλικών	Τοξικότητα Υλικών
0	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής δεν αναφλέγονται κάτω από οποιαδήποτε συνθήκη	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται ως κανονικά σταθερά υλικά ακόμα και κάτω από συνθήκες πυρκαγιάς, επίσης, τα υλικά αυτά δεν παρουσιάζουν καμία δραστηριότητα με το νερό. Θερμοκρασία Διάσπασης (< 557 °C)	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής προξενούν τοξική βλάβη όταν προσλαμβάνονται από ένα οργανισμό σε πολύ μεγάλη δόση, συνήθως τα υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται ως μη τοξικά. LD₅₀ > 2000 mg/Kg LC₅₀ > 10000 ppm
1	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής πρέπει να προθερμανθούν και στην συνέχεια να αναφλεχθούν Σημείο Ανάφλεξης (> 93 °C)	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται ως σταθερά υλικά σε περιβαλλοντικές συνθήκες, όταν όμως, θερμανθούν ή έρθουν σε επαφή με φωτιά γίνονται ασταθή. Σε επαφή τους με το νερό αντιδρούν αλλά όχι βίαια. Θερμοκρασία Διάσπασης [557 °C, 662 °C)	Τα υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται ως ελαφρός επιβλαβή τοξικά, όταν, ο οργανισμός που θα προσβληθεί από αυτά απαιτεί ελάχιστη ιατρική περίθαλψη. 500 mg/Kg < LD₅₀ < 2000 mg/Kg 5000 ppm < LC₅₀ < 10000 ppm

Πίνακας 1. 6: (Συνέχεια).

	Ευφλεκτικότητα Υλικών	Ενεργότητα Υλικών	Τοξικότητα Υλικών
2	<p>Τα υλικά της κατηγορίας αυτής μπορούν και αναφλέγονται κάτω από ήπια θέρμανση ή κάτω από υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος</p> <p>Σημείο Ανάφλεξης [38 °C, 93 °C]</p>	<p>Τα υλικά της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται ως ασταθή υλικά στις κανονικές συνθήκες που αντιδρούν κάτω από χημικές εναλλαγές, η οποία αντίδραση γίνεται βίαια όταν συνδέεται με υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Σε επαφή με το νερό αντιδρούν βίαια.</p> <p>Θερμοκρασία Διάσπασης [662 °C, 737°C)</p>	<p>Τα υλικά της κατηγορίας αυτής μπορούν να προξενήσουν στον οργανισμό προσωρινή ανικανότητα και σε σπάνιες περιπτώσεις, μόνιμη βλάβη, όταν ο οργανισμός εκτίθεται για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα σταθερά ή περιοδικά αλλά όχι χρόνια.</p> <p>50 mg/Kg < LD₅₀ < 500 mg/Kg</p> <p>3000 ppm < LC₅₀ < 5000 ppm</p>
3	<p>Τα υλικά της κατηγορίας αυτής είναι κυρίως υγρά και στερεά που αναφλέγονται σε επαφή με την ατμόσφαιρα κάτω από οποιεσδήποτε περιβαλλοντικές συνθήκες</p> <p>Σημείο Ανάφλεξης [23 °C, 38 °C)</p>	<p>Τα υλικά της κατηγορίας αυτής είναι ασταθή και εκρήγνυνται όταν θερμανθούν ή βρεθούν σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Σε επαφή με το νερό δημιουργούν εκρηκτικές αντιδράσεις σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος.</p> <p>Θερμοκρασία Διάσπασης [737 °C, 807°C)</p>	<p>Τα υλικά της κατηγορίας αυτής μπορούν να προκαλέσουν στον οργανισμό προσωρινή ή και μόνιμη ανικανότητα, όταν προσλαμβάνονται σε πολύ μικρές δόσεις.</p> <p>5 mg/Kg < LD₅₀ < 50 mg/Kg</p> <p>1000 ppm < LC₅₀ < 3000 ppm</p>

Πίνακας 1. 6: (Συνέχεια).

	Ευφλεκτικότητα Υλικών	Ενεργότητα Υλικών	Τοξικότητα Υλικών
4	<p>Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υλικά που εξατμίζονται πολύ γρήγορα κάτω από κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες, δημιουργούν εκρηκτικά νέφη και εκρήγνυνται</p> <p>Σημείο Ανάφλεξης (< 23 °C)</p>	<p>Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υλικά που είναι εξαιρετικά ασταθή και αυτό-εκρήγνυνται κάτω από κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.</p> <p>Επίσης στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται και τα υλικά που είναι ευαίσθητα σε κάθε μηχανική θερμική αλλαγή.</p> <p>Θερμοκρασία Διάσπασης (< 807°C)</p>	<p>Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υλικά που προξενούν μόνιμη ανικανότητα ή και θάνατο στον οργανισμό που προσβάλουν.</p> <p>LD₅₀ < 5 mg/Kg</p> <p>LC₅₀ < 1000 ppm</p>

2. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Η έννοια της επικινδυνότητας αποτελεί μια σύνθεση των εννοιών: της ανεπιθύμητης συνέπειας και της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει την πραγματοποίηση αυτής της ανεπιθύμητης συνέπειας. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι όροι κίνδυνος (hazard) και επικινδυνότητα (risk) έχουν διαφορές τόσο λεπτές ώστε πολλές φορές χρησιμοποιούνται σαν συνώνυμοι. Σε νομοθετικό επίπεδο στο αρθ.3 της οδηγίας Seveso II καθώς και στο αρθ.3 της ΚΥΑ 5697/590/00 ορίζονται ως, [1], [3, 4, 5], [12, 13, 14]:

- **"κίνδυνος (hazard)":** η εγγενής ιδιότητα μιας επικίνδυνης ουσίας ή φυσικής κατάστασης που ενδέχεται να βλάψει την ανθρώπινη υγεία η/και το περιβάλλον.
- **"επικινδυνότητα (risk)":** η πιθανότητα μιας συγκεκριμένης επίπτωσης εντός δεδομένης χρονικής περιόδου ή υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Τα μεγάλα ατυχήματα των τελευταίων ετών σε χημικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις, σε πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής αλλά και σε διαστημικά προγράμματα έδειξαν ότι υπάρχει ανάγκη για ένα συστηματικό καθορισμό και στάθμιση των κινδύνων που συνεπάγεται η υιοθέτηση πολύπλοκων τεχνολογικών συστημάτων γενικότερα και η εγκατάσταση και λειτουργία βιομηχανικών εγκαταστάσεων ειδικότερα. Αποτέλεσμα της ανάγκης αυτής ήταν η ανάπτυξη μιας πληθώρας μεθοδολογιών που στοχεύουν στον προσδιορισμό των κύριων συνιστωσών του κινδύνου αυτού, στην ανάπτυξη δεικτών για την άμεση ή έμμεση μέτρηση και στη δημιουργία ενός πλαισίου για τη στήριξη αποφάσεων που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων αυτών.

Η ανάλυση - εκτίμηση της επικινδυνότητας πρέπει γενικά να περιλαμβάνει:

1. Την αναγνώριση των πηγών κινδύνου (hazard identification). Υπάρχουν αρκετές τεχνικές όπως η Ανάλυση Κινδύνου & Λειτουργικότητας (HAZOP), η Μέθοδος Αστοχίας & Συνέπειας (FMEA), οι Λίστες Ελέγχου (Check -lists), οι δείκτες κινδύνου (risk indices) όπως οι δείκτες Dow and Mond, η τεχνική DYLAM (Dynamic Logical Analytical Methodology), κ.α. Σε αυτή τη φάση της ανάλυσης, είναι χρήσιμη η μελέτη ατυχημάτων που έχουν συμβεί στο παρελθόν σε συναφείς εγκαταστάσεις, από Βάσεις δεδομένων και Βιβλιογραφικές πηγές.
2. Την ανάπτυξη πιθανών σεναρίων ατυχημάτων (ακολουθίες ατυχημάτων) που μπορεί να βασίζεται σε ιστορικά ατυχημάτων (π.χ. accident databases) η/και σε συστηματική

ανάλυση που στοχεύει στο να παρουσιάσει την εξάρτηση ενός ανεπιθύμητου γεγονότος από μικρότερα, πιο βασικά γεγονότα. Οι πιο γνωστές τεχνικές είναι: τα Δένδρα Σφαλμάτων (Fault Tree analysis), τα Δένδρα Γεγονότων (Event Tree analysis), η μέθοδος των Λογικών Διαγραμμάτων (Master logic diagrams), η μέθοδος ανάλυσης ανθρώπινου σφάλματος (Human error analysis), κ.α. Δύο βασικές έννοιες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία αυτή είναι: (α) η αξιοπιστία (reliability) δηλαδή, η πιθανότητα ένα σύστημα να εκτελεί μια επιθυμητή λειτουργία, κάτω από ορισμένες συνθήκες και για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, και (β) η διαθεσιμότητα (availability) δηλ. η πιθανότητα ένα σύστημα να βρίσκεται σε κατάσταση ώστε να εκτελεί μια ορισμένη λειτουργία κάτω από ορισμένες συνθήκες σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

3. Την εκτίμηση των επιπτώσεων στον άνθρωπο και το περιβάλλον, καθώς και τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις από ένα ατύχημα μεγάλης έκτασης. Για το σκοπό αυτό μοντελοποιούνται τα φυσικά φαινόμενα που ακολουθούν την έκλυση μιας επικίνδυνης ουσίας (εκροή, εξάτμιση, διασπορά, φωτιά, έκρηξη, επιπτώσεις στην υγεία από έκθεση σε τοξικές ουσίες, από θερμική ακτινοβολία και ωστικό κύμα). Παρόλο που στη Βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος μοντέλων, οι αβεβαιότητες και οι δυσκολίες που σχετίζονται με την εκτίμηση επιπτώσεων είναι αρκετές και οφείλονται από τη μια στο ότι γίνονται πολλές παραδοχές καθώς δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν πλήρως τα φαινόμενα (π.χ. καιρικές συνθήκες) και από την άλλη στην έλλειψη πληροφορίας για κάθε Βήμα της ανάλυσης.
4. Τον ποσοτικό καθορισμό της επίπτωσης ενός ατυχήματος στην υγεία. Οι πιο γνωστοί ποσοτικοί δείκτες κινδύνου που χρησιμοποιούνται είναι η ατομική και συλλογική διακινδύνευση. Μια βασική δυσκολία που αντιμετωπίζει ο αναλυτής είναι η ύπαρξη μιας ποικιλίας προσεγγίσεων και μεθοδολογιών όσον αφορά την εκτίμηση της επικινδυνότητας (ποιοτική ή ποσοτική προσέγγιση, μεγάλος αριθμός μοντέλων εκτίμησης επιπτώσεων, ύπαρξη πολλών πηγών αβεβαιότητας κ.α.). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η διαφοροποίηση ως προς τη μεθοδολογία εκτίμησης στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η πιο ολοκληρωμένη και αξιόπιστη μεθοδολογία εκτίμησης της επικινδυνότητας, είναι αυτή που στοχεύει στην ποσοτικοποίηση του επιπέδου κινδύνου που χαρακτηρίζει μια εγκατάσταση και ονομάζεται "Ποσοτικός Καθορισμός Επικινδυνότητας" ή "Πιθανοτική Ανάλυση Ασφάλειας". Γενικά ο οποιοσδήποτε προσδιορισμός του κινδύνου πρέπει να προσδιορίζει τις δύο κύριες

συνιστώσες του δηλαδή τη συνέπεια (σοβαρότητα) και την αβεβαιότητα (πιθανότητα). Μια ποσοτική εκτίμηση επικινδυνότητας περιλαμβάνει τον καθορισμό:

- I. Των διαφόρων σεναρίων ατυχημάτων που δύναται να προκαλέσουν την έκλυση της επικίνδυνης ουσίας στο περιβάλλον
- II. Της συχνότητας με την οποία αναμένονται να συμβούν τα ατυχήματα αυτά
- III. Της έκτασης των δυνατών συνεπειών τους, καθώς και
- IV. Της σχετικής πιθανότητας των συνεπειών αυτών

Η μεθοδολογία του Ποσοτικού Καθορισμού Επικινδυνότητας (ΠΚΕ) αποτελεί μια συμπαγή και σαφώς καθορισμένη τεχνική για ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου, σε αντίθεση με εναλλακτικές μεθόδους (π.χ. FMEA), που περιορίζονται στην ποιοτική εκτίμηση κινδύνου. Πιο αναλυτικά :

- Αναλύει πλήρως το εξεταζόμενο σύστημα.
- Χρησιμοποιεί επαγωγικές διαδικασίες για καθορισμό των πιθανών πηγών κινδύνου και την εξέλιξη του ατυχήματος (εξασφαλίζεται έτσι η πληρότητα στον καθορισμό των αφορμών ατυχήματος).
- Είναι ολοκληρωμένη τεχνική με την έννοια ότι δεν περιορίζεται σε κάποιες υποπεριπτώσεις ή στην εκτίμηση κάποιων μόνο συνεπειών, αλλά ξεκινά από τον καθορισμό των αφορμών ατυχήματος και καταλήγει στον τελικό προσδιορισμό του κινδύνου.
- Λαμβάνει υπόψη της τη στοχαστική φύση του κινδύνου.
- Παρέχει τη δυνατότητα εύκολης και γρήγορης ποσοτικοποίησης των αβεβαιοτήτων.
- Παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης των πηγών κινδύνου με ποσοτικά κριτήρια.

Εξαιτίας όλων των παραπάνω, ο ΠΚΕ αποτελεί το κατάλληλο εργαλείο για:

- Εντοπισμό τυχόν σχεδιαστικών και λειτουργικών αδυναμιών.
- Αξιολόγηση σημαντικών συμβάντων.
- Παροχή πληροφοριών σχετικών με την ασφάλεια, χρήσιμων στους τομείς του τεχνικού σχεδιασμού και της ποιοτικής πιστοποίησης.

- ❑ Ορισμό προτεραιοτήτων και κατευθύνσεων της έρευνας σε θέματα ασφάλειας.
- ❑ Εκπαίδευση των χειριστών.

2.1. Τύποι και Συνέπειες Βιομηχανικής Επικινδυνότητας

Οι κίνδυνοι που εμφανίζονται στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι κυρίως, αυτοί που μπορεί να προξενήσουν έκρηξη στην εγκατάσταση, φωτιά ή διαρροή τοξικών αερίων. Οι ουσίες που εμπλέκονται στην επικίνδυνη κατάσταση προέρχονται κυρίως από τα στάδια της διεργασίας, δηλαδή είναι τα αρχικά, ενδιάμεσα, τελικά προϊόντα της διεργασίας και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν:

1. Ως προς την φυσική τους κατάσταση σε:
 - ❑ Υγρά
 - ❑ Στερεά
 - ❑ Αέρια

2. Ως προς τον τρόπο συσκευασίας και χειρισμού τους σε:
 - ❑ Χύδην (υγρά, στερεά)
 - ❑ Συσκευασμένα (σε κιβώτια, φιάλες, βαρέλια)
 - ❑ Μοναδοποιημένα σε containers

3. Ως προς την χημική τους συμπεριφορά σε:
 - ❑ Εκρηκτικά
 - ❑ Πεπιεσμένα αέρια υγροποιημένα ή διαλυμένα υπό πίεση
 - ❑ Εύφλεκτα υγρά
 - ❑ Στερεά εύφλεκτα ή αυταναφλέξιμα ή στερεά που εκλύουν εύφλεκτα αέρια όταν έρθουν σε επαφή με το νερό
 - ❑ Οξειδωτικά υλικά, υπεροξειδία
 - ❑ Τοξικά και μολυσματικά υλικά
 - ❑ Ραδιενεργά υλικά
 - ❑ Διαβρωτικά υλικά

Τα ατυχήματα που εμπλέκουν τους κύριους κινδύνους της εγκατάστασης μπορούν να εμπεριέχουν:

- Διαρροή των εκρηκτικών ουσιών, ανάμιξη τους με τον αέρα δημιουργώντας εκρηκτικά νέφη που στην συνέχεια αναφλέγονται δημιουργώντας φωτιά στην εγκατάσταση, ή μολύνουν τον περιβάλλοντα χώρο και εκρήγνυνται.
- Διαρροή των τοξικών ουσιών, δημιουργώντας τοξικά νέφη που μολύνουν το περιβάλλον.

2.1.1. Εκλύσεις Εύφλεκτων Ουσιών

Εάν η αστοχία σε κάποιο σημείο της εγκατάστασης σχετίζεται με έκλυση εύφλεκτης ουσίας, το αποτέλεσμα μπορεί να είναι κάποιο είδος φωτιάς που θα οδηγήσει στην έκλυση θερμότητας σε μεγάλες ποσότητες και με μεγάλους ρυθμούς ή στην πρόκληση εκρήξεων (ωστικό κύμα). Με αρχικό γεγονός την έκλυση της εύφλεκτης ουσίας, πρέπει να αναλυθούν οι ακολουθίες γεγονότων (π.χ. μέσω ενός δένδρου γεγονότων) ώστε τελικά να καθοριστεί το φυσικό φαινόμενο που θα ακολουθήσει (π.χ. φαινόμενο BLEVE, φωτιά λίμνης, έκρηξη αερίου νέφους κλπ). Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλά μοντέλα που υπολογίζουν τη θερμική ροή για διάφορες περιπτώσεις μετά την έκλυση εύφλεκτης ουσίας, ή την υπερπίεση στην περίπτωση που η έκλυση αυτή οδηγήσει σε έκρηξη.

Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι μια ολοκληρωμένη ανάλυση επικινδυνότητας πρέπει στην περίπτωση εύφλεκτων ουσιών, να λαμβάνει υπόψη της το ενδεχόμενο τα αέρια που εκλύονται στην περίπτωση πυρκαγιάς να είναι επικίνδυνα. Είναι απαραίτητο για λόγους που σχετίζονται με τη δυνατότητα πυρόσβεσης, το σχεδιασμό χρήσης γης και την ενημέρωση του κοινού να μπορούν να προβλεφθούν ποσοτικά, τα τοξικά προϊόντα μιας πυρκαγιάς.

2.2.1.1. Έκλυση Θερμικής Ροής από Φαινόμενο Φωτιάς Λίμνης (Pool Fire)

Έκλυση θερμότητας από το φαινόμενο λίμνης συμβαίνει στην περίπτωση που ένα υγρό εκρέει σε επίπεδη επιφάνεια απλώνεται και σχηματίζει μια λίμνη. Εάν το υγρό είναι πτητικό, εξατμίζεται και αν είναι εύφλεκτο η ατμόσφαιρα πάνω από τη λίμνη βρίσκεται στην περιοχή εύφλεκτων συγκεντρώσεων. Εάν αναφλεγεί το μίγμα ατμού αέρα, δημιουργείται μια φωτιά ακριβώς πάνω από την επιφάνεια της λίμνης. Η θερμοκρασία καύσης θα προκαλέσει την εξατμισμό και άλλου υγρού και από τις πλευρές της λίμνης θα απορροφηθεί αέρας για να διατηρήσει την καύση.

Ο κύριος κίνδυνος που αντιμετωπίζουν οι εργαζόμενοι και ο πληθυσμός οφείλεται στη δυνατότητα έκθεσης σε υψηλά επίπεδα θερμικής ακτινοβολίας (heat radiation). Επιπλέον οι

υλικές ζημιές στις εγκαταστάσεις μπορεί να είναι σοβαρές ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις και τα προϊόντα καύσης από τέτοιες φωτιές μπορεί να είναι επικίνδυνα.

Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των επιπτώσεων του φαινομένου, υπολογίζουν τη θερμική ροή σε μια απόσταση από τη φωτιά λίμνης και διακρίνονται σε σημειακά και επιφανειακά μοντέλα. Το όλο σύστημα προσομοιάζεται με κύλινδρο κατάλληλων διαστάσεων. Λεπτομέρειες δίνονται στη βιβλιογραφία. Οι βασικές παράμετροι που πρέπει να υπολογιστούν είναι:

- ❑ ο ρυθμός καύσης της ουσίας, το μέγεθος της λίμνης,
- ❑ το ύψος της φλόγας,
- ❑ κάμψη και μετατόπιση φλόγας,
- ❑ η εκπεμπόμενη θερμική ισχύς από την επιφάνεια της φλόγας,
- ❑ συντελεστής θέασης (view factor),
- ❑ συντελεστής ατμοσφαιρικής μεταφοράς,
- ❑ θερμική ροή στο σημείο υποδοχής.

2.2.1.2. Έκλυση Θερμικής Ροής από Φαινόμενο BLEVE

(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)

Το φαινόμενο περιγράφει την απότομη ρήξη δεξαμενής που περιέχει υγροποιημένο, εύφλεκτο αέριο υπό πίεση και άμεση ανάφλεξη του. Η κύρια αιτία πρόκλησης του φαινομένου αυτού είναι η πρόσπτωση μιας εξωτερικής φλόγας στο κέλυφος της δεξαμενής με συνέπεια την ελάττωση της αντοχής του κελύφους και την απότομη ρήξη του. Η απότομη εκτόνωση της πίεσης και του υγρού που ακολουθεί, δημιουργεί ωστικό κύμα και πιθανόν προκαλεί και εκσφενδόνιση θραυσμάτων. Η άμεση ανάφλεξη του διεσταλμένου μείγματος αέρα και καυσίμου οδηγεί σε μια έντονη καύση του μείγματος και τη δημιουργία μιας πύρινης σφαίρας (fireball).

Το μέγεθος των επιπτώσεων εξαρτάται από τη μάζα του υγροποιημένου αερίου που εμπλέκεται στο φαινόμενο. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν εμπειρικές σχέσεις που υπολογίζουν το μέγεθος, τη διάρκεια και τη θερμική «ακτινοβολία της πύρινης σφαίρας που δημιουργείται σε αυτή την περίπτωση. Σημαντικά στοιχεία για την ποσοτικοποίηση του μοντέλου είναι:

- ❑ η μάζα της ουσίας,
- ❑ ο τύπος της ουσίας,

- ❑ οι φυσικές της ιδιότητες,
- ❑ πειραματικά καθορισμένες παράμετροι που προσδιορίζουν το μέγεθος της πύρινης σφαίρας και τη διάρκεια του φαινομένου.

Στη βιβλιογραφία συναντώνται διάφορες προσεγγίσεις για τον υπολογισμό της θερμικής ακτινοβολίας. Οι επικρατέστερες είναι αυτές της επιφανειακής πηγής και της σημειακής πηγής.

2.2.1.3. Έκλυση Θερμικής Ροής απο Φαινόμενο Φωτιάς Πυρσού (Jet Fire)

Στην περίπτωση αυτή συμβαίνει έκλυση εύφλεκτου αερίου υπό υψηλή πίεση από μικρό άνοιγμα (π.χ. σπάσιμο σωλήνα). Αν υπάρξει ανάφλεξη δημιουργείται ένας πυρσός (φωτιά πυρσού). Η φλόγα αυτή (που μπορεί να φτάνει και αρκετά μέτρα μακριά) αποτελεί κίνδυνο για ανθρώπους που μπορεί να βρεθούν σχετικά κοντά, αλλά ο μεγαλύτερος κίνδυνος είναι για τυχόν γειτονικά δοχεία που περιέχουν εύφλεκτα υλικά. Ένας μεγάλος αριθμός φαινομένων BLEVE έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία ήταν επακόλουθο φωτιάς πυρσού. Από άποψη μαθηματικής μοντελοποίησης όπως και στην περίπτωση της φωτιάς λίμνης, ο πυρσός προσομοιάζεται με κύλινδρο κατάλληλων διαστάσεων. Σημαντικά στοιχεία εισόδου στο μοντέλο είναι ο τύπος της ουσίας και οι συνθήκες αποθήκευσης, η διάμετρος του ρήγματος, οι φυσικές σταθερές της ουσίας. Οι παράμετροι που πρέπει να υπολογιστούν είναι:

- ❑ ο ρυθμός καύσης της ουσίας,
- ❑ το ύψος της φλόγας,
- ❑ η κάμψη και μετατόπιση φλόγας,
- ❑ η εκπεμπόμενη θερμική ισχύς από την επιφάνεια της φλόγας,
- ❑ ο συντελεστής θέασης,
- ❑ ο συντελεστής ατμοσφαιρικής διόδου ακτινοβολίας.

2.2.1.4. Έκλυση Θερμικής Ροής από Φαινόμενο Κατάκαυσης Αερίου Νέφους (Flash Fire)

Όταν ένα μείγμα εύφλεκτου αερίου και αέρα αναφλέγει δημιουργείται το φαινόμενο κατάκαυσης αερίου νέφους. Τα όρια της φωτιάς που προκαλείται καθορίζονται από το σχήμα και την έκταση του νέφους πριν από την ανάφλεξη αλλά υπάρχει και μια εξάρτηση από το σημείο το νέφους που θα υπάρξει η πηγή ανάφλεξης. Στις περιπτώσεις που η διαφυγή αερίου δεν έχει περατωθεί και το νέφος εκτείνεται μέχρι την πηγή διαφυγής, η ανάφλεξη του μπορεί να προκαλέσει μια φωτιά πυρσού ή μια φωτιά λίμνης στο σημείο διαφυγής, ανάλογα με τη φύση

της διαφυγής. Όταν το νέφος αναφλεγεί το μέτωπο της φλόγας μεταδίδεται μέσα στο νέφος με μεγάλη ταχύτητα. Σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατόν να επιταχυνθεί η φλόγα σε τέτοιο βαθμό ώστε να προκληθεί έκρηξη. Άτομα και υλικά αγαθά μέσα στο νέφος και κοντά σε αυτό εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα θερμικής ακτινοβολίας.

Για τον υπολογισμό της θερμικής ροής από την κατάκαυση αερίου νέφους, η πρώτη ενέργεια που απαιτείται είναι ο υπολογισμός της διασποράς του εύφλεκτου μείγματος αερίου και αέρα. Οι πιο συνήθεις περιπτώσεις διαφυγής υγροποιημένων φυσικών ή πετρελαϊκών αερίων συνεπάγονται τη διασπορά αερίων βαρύτερων του αέρα και άρα απαιτείται η χρήση κατάλληλου μοντέλου διασποράς. Οι ιδιότητες της διασπειρόμενης ουσίας προσδιορίζουν το άνω και κάτω όριο αναφλεξιμότητας (UFL και LFL αντίστοιχα), δηλαδή τις συγκεντρώσεις κάτω και πάνω από τις οποίες είναι δυνατή η ανάφλεξη του νέφους. Η περιοχή του χώρου που καταλαμβάνει το τμήμα του νέφους με συγκεντρώσεις μεταξύ του άνω και του κάτω ορίου αναφλεξιμότητας, καθορίζεται από το μοντέλο διασποράς. Εάν στη περιοχή βρεθεί μια πηγή ανάφλεξης, τότε το νέφος αναφλέγεται και το αποτέλεσμα είναι είτε κατάκαυση είτε έκρηξη. Το TNO στο Yellow Book [methods for the calculation of the physical effects resulting from the releases of hazardous materials] προτείνει ότι ανάφλεξη εύφλεκτου μείγματος οδηγεί σε κατάκαυση με πιθανότητα 2/3 και σε έκρηξη με πιθανότητα 1/3. Γενικότερα, περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στη βιβλιογραφία. Το βασικό ζητούμενο είναι ο υπολογισμός του γεωμετρικού σχήματος της προκαλούμενης φλόγας και η επιφανειακή θερμική ισχύς, ώστε να υπολογιστεί η θερμική ροή σε μια απόσταση, με προσέγγιση ανάλογη αυτής που γίνεται για το φαινόμενο BLEVE.

2.2.1.5. Έκλυση Θερμικής Ροής από Φαινόμενο Υπερπίεσης και Έκρηξης Αερίου Νέφους (Vapor Cloud Explosion)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, όταν αναφλεγεί ένα νέφος αποτελούμενο από μείγμα ατμών εύφλεκτης ουσίας και αέρα σε συγκεντρώσεις εντός των ορίων αναφλεξιμότητας, ακολουθεί είτε κατάκαυση είτε έκρηξη. Έκρηξη συμβαίνει κυρίως όταν υπάρχουν κάποιου είδους εμποδία και περιβλήματα στο χώρο που απλώνεται το νέφος. Όπως αναφέρεται στη Βιβλιογραφία, το φαινόμενο της έκρηξης αερίου νέφους δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητό και οι συνέπειες του επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το βαθμό ελευθερίας στην εξάπλωση του και το κατά πόσο τυρβώδης είναι η διαδικασία εξάπλωσης.

Για τον υπολογισμό της υπερπίεσης που προκαλείται από την έκρηξη, όπως και στην περίπτωση της κατάκαυσης αερίου νέφους, το πρώτο στάδιο συνίσταται στον υπολογισμό της

διασποράς του προκαλούμενου νέφους καθώς και τα σημεία στα οποία η συγκέντρωση βρίσκεται μεταξύ των άνω και κάτω ορίου αναφλεξιμότητας. Στη συνέχεια υπολογίζεται η μάζα του υλικού που λαμβάνει μέρος στην έκρηξη και υπολογίζεται η προκαλούμενη υπερπίεση σύμφωνα με τα διαθέσιμα μοντέλα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία.

2.2.1.6. Εκρήξεις Πυκνής Φάσης (Dense Phase Explosion)

Μια έκρηξη πυκνής φάσης λαμβάνει χώρα όταν ένα υγρό ή στερεό μετατρέπεται ταχύτατα σε αέριο. Η απότομη αύξηση του όγκου που συνεπάγεται η μεταβολή αυτή δημιουργεί ένα κύμα πίεσης το οποίο μεταδίδεται ακτινικά με ταχύτητα μεγαλύτερη του ήχου στον αέρα. Η πιο κοινή προσέγγιση στον υπολογισμό των συνεπειών από έκρηξη πυκνής φάσης συνίσταται στον προσδιορισμό της ισοδύναμης ποσότητας TNT που προκαλεί ισοδύναμες συνέπειες. Η μέθοδος της ισοδύναμης ποσότητας TNT περιγράφεται στη βιβλιογραφία.

2.1.2. Εκλύσεις Τοξικών Ουσιών

Η περιγραφή των δραστηριοτήτων (διεργασίες, αποθήκευση) που εγκλείουν κινδύνους θα πρέπει να παρουσιάζει το σκοπό και τα βασικά χαρακτηριστικά των σχετικών λειτουργιών μέσα στην εγκατάσταση τα οποία είναι σημαντικά για την ασφάλεια και μπορεί να αποτελούν πηγές υψηλού κινδύνου. Η περιγραφή θα πρέπει να καλύπτει:

- Βασικές λειτουργίες
- Χημικές αντιδράσεις, φυσικές και βιολογικές διεργασίες και μετασχηματισμούς
- Χώρους προσωρινής αποθήκευσης
- Άλλες δραστηριότητες σχετικές με την αποθήκευση π.χ. φόρτωση - εκφόρτωση, μεταφορές και δίκτυο σωληνώσεων, κλπ.
- Απόρριψη, επανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση ή διάθεση των καταλοίπων και αποβλήτων
- Εκροή και επεξεργασία αερίων αποβλήτων
- Άλλα στάδια των διεργασιών, ειδικά λειτουργίες επεξεργασίας και κατεργασίας

Επιπλέον λεπτομέρειες ενδέχεται να απαιτηθούν για τα τμήματα της εγκατάστασης που σχετίζονται με την ασφάλεια σύμφωνα με την ανάλυση κινδύνου. Η περιγραφή αυτή θα πρέπει επομένως να περιλαμβάνει επαρκή πληροφόρηση σχετικά με την μηχανική των διεργασιών και την τεχνική ασφάλεια και επιπλέον να παρέχει επαρκή στοιχεία σχετικά με τα συστήματα ασφαλείας. Τα ακόλουθα ενδεχομένως στοιχεία να είναι απαραίτητα :

- Διαγράμματα ροής και διαγράμματα σωληνώσεων και ενόργανου εξοπλισμού (P.I. diagrams)
- Τύπος ροής (ρευστών) και μηχανήματα/εξοπλισμός που απαιτούνται στις διεργασίες, ένας κατάλογος και οι διαστάσεις των σχετικών δοχείων/δεξαμενών και των σωληνώσεων πρέπει να είναι διαθέσιμα
- Συνθήκες διεργασίας π.χ. πίεση, θερμοκρασία, συγκέντρωση (εύρος τιμών για ασφαλή λειτουργία) και κάθε σχετική θερμοδυναμική ιδιότητα και ιδιότητα (φαινομένων) μεταφοράς στα διαδοχικά βήματα (φάσεις) της κάθε διεργασίας, όπως :
 - κανονικές και μέγιστες ροές, κατανάλωση αντιδρώντων, παραγωγή ενδιάμεσων/τελικών προϊόντων και παραπροϊόντων (π.χ. ολικά ισοζύγια μάζας και επιμέρους ισοζύγια για κάθε ουσία)
 - μέσες ή χαρακτηριστικές ποσότητες συστατικών που συμμετέχουν στην αποθήκευση και στις διεργασίες σε κανονική ή μη κανονική λειτουργία
 - συνθήκες σχηματισμού παραπροϊόντων ή προϊόντων που σχηματίζονται κατά την διάρκεια ατυχήματος
 - προετοιμασία/ συσκευασία τελικών προϊόντων

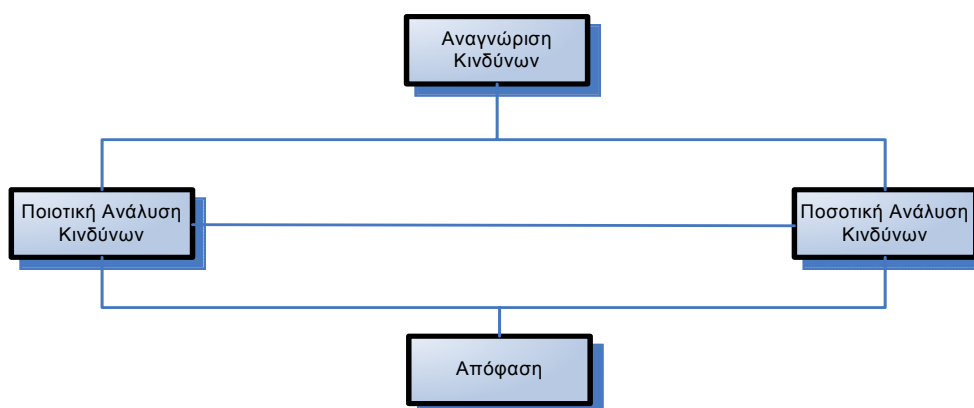
2.2. Ανάλυση Επικινδυνότητας Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων

Η ανάλυση επικινδυνότητας (Risk Analysis) χρησιμοποιείται για την αποτίμηση των κινδύνων που εμπεριέχονται στην βιομηχανική διεργασία σε σχέση με την επικινδυνότητα που εμφανίζει κατά την λειτουργία της σε συνδυασμό με τις γειτονικές της. Συνοπτικά, η ανάλυση επικινδυνότητας καλείται να απαντήσει στις παρακάτω τρεις ερωτήσεις σε σχέση με την διεργασία [13], [15, 16]:

1. Τι λάθος μπορεί να συμβεί;
2. Ποιες είναι οι επιπτώσεις του λάθους;
3. Πόσο συχνά μπορεί να συμβεί το λάθος;

Το πρώτο και κύριο στάδιο της αναγνώρισης κινδύνων, είναι ο ποιοτικός προσδιορισμός τους, που συνήθως καλείται «Μελέτη Ασφάλειας». Κατά τη σύνταξη της μελέτης ασφάλειας, απαντάται το πρώτο ερώτημα λαμβάνοντας υπόψη την ίδια τη διεργασία, τον τρόπο λειτουργίας της και τη σχέση της με γειτονικές διεργασίες. Στη συνέχεια, ο μελετητής καλείται να απαντήσει τα δύο επόμενα ερωτήματα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κρίνονται, και οι αποφάσεις σχετικά για τα μέτρα προστασίας που απαιτούνται και ο τρόπος λειτουργίας της διεργασίας, λαμβάνονται θεωρώντας ένα αποδεκτό ρίσκο επικινδυνότητας για την διεργασία.

Στο παρακάτω Σχήμα 2.1 αποτυπώνεται σχηματικά η ανάλυση κινδύνων που περιλαμβάνει την μελέτη ασφάλειας, τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των κινδύνων για την τελική απόφαση.



Σχήμα 2.1.: Σχηματική Ανάλυση Κινδύνων.

Στην συνέχεια αναφέρονται μέθοδοι ανάλυσης και εκτίμησης των κινδύνων που υπάρχουν στην βιομηχανική εγκατάσταση.

2.2.1. Η μέθοδος HAZOP (Hazard and Operability Study)

Η Ανάλυση Κινδύνου και Λειτουργικότητας (HAZOP) στηρίζεται πάνω σε δύο βασικές υποθέσεις:

(α) η εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί σωστά (έχει χρησιμοποιηθεί όλη η υπάρχουσα εμπειρία σε ανάλογες καταστάσεις).

(β) τα υλικά, και η κατασκευή ακολουθούν τα πρότυπα καθώς και τις σχεδιαστικές προδιαγραφές

Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη της τη διακύμανση των σημαντικών παραμέτρων λειτουργίας (θερμοκρασία, πίεση, ρυθμός ροής, στάθμη υγρών του ρεύματος διεργασίας) και προσπαθεί να ανιχνεύσει την επίδραση τους στη λειτουργία της εγκατάστασης σε συνδυασμό με ορισμένες βλάβες του εξοπλισμού. Η περιγραφή της απόκλισης των λειτουργικών παραμέτρων γίνεται με χρήση κάποιων λέξεων-κλειδιά (π.χ. υψηλή - χαμηλή: αύξηση ή μείωση ποσοτικού τύπου κλπ.), οι οποίες εφαρμόζονται σε όλες τις παραμέτρους ή μεταβλητές της διεργασίας που μελετάται. Ένα διάγραμμα ροής αποτελεί τη βάση για την ανάλυση. Ο αναλυτής συμπληρώνει τυποποιημένα διαγράμματα ξεκινώντας από την είσοδο της ουσίας στην εγκατάσταση και προχωρώντας κατά μήκος της κύριας γραμμής ρευστού της διεργασίας. Στη διαδρομή συλλέγει πληροφορίες γύρω από τις αιτίες της απόκλισης παραμέτρων από τις ονομαστικές τους τιμές, τα αποτελέσματα αυτών των αποκλίσεων, τα μέσα ανίχνευσης τους, τα συστήματα ελέγχου και πρόληψης, τις εξωτερικές επιδράσεις κλπ. Το βάθος λεπτομέρειας επιλέγεται με προσοχή διότι καθορίζει το βάθος της ανάλυσης και το χρόνο που απαιτείται για αυτή. Αποτέλεσμα της HAZOP είναι ο προσδιορισμός με ποιοτικό τρόπο όλου του φάσματος πιθανών κινδύνων της εγκατάστασης. Η μέθοδος είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους ποιοτικής ανάλυσης επικινδυνότητας. Τα βασικά της πλεονεκτήματα είναι ότι συνεισφέρει:

- ❑ Στην εξοικείωση με την εγκατάσταση
- ❑ Στον προσδιορισμό των ακολουθιών ατυχημάτων που έχουν τη δυνατότητα να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητο γεγονός
- ❑ Στον προσδιορισμό του καταλόγου ανεπιθύμητων γεγονότων τα οποία αποτελούν γεγονότα κορυφής και ανάλυσης
- ❑ Στον προσδιορισμό του καταλόγου εναρκτήριων γεγονότων.

2.2.2. Μέθοδος Αστοχίας και Συνέπειας (FMEA: Failure Mode and Effects Analysis)

Σκοπός αυτής της μεθόδου είναι ο προσδιορισμός των διαφορετικών τρόπων αστοχίας του εξοπλισμού (π.χ. βάνα αστοχεί σε ανοικτή ή κλειστή θέση) και των συνεπειών αυτών των αστοχιών στο σύστημα. Κατασκευάζεται ένας πίνακας με τις ακόλουθες στήλες:

- ❑ Το εξάρτημα,
- ❑ Τον τρόπο αστοχίας του,
- ❑ Την αιτία αστοχίας,
- ❑ Τις συνέπειες της αστοχίας σε άλλα εξαρτήματα,
- ❑ Την ένδειξη για την αναγνώριση της αστοχίας από τους χειριστές.

Η μέθοδος αυτή απαιτεί την καλή γνώση της λειτουργίας της εγκατάστασης. Βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι εξετάζει μόνο τον εξοπλισμό και όχι ανθρώπινες ενέργειες χειριστών καθώς και το γεγονός ότι δεν εξετάζει τη συνδυασμένη αστοχία δύο ή περισσότερων εξαρτημάτων.

2.2.3. Μέθοδος Λογικών Διαγραμμάτων (Master Logic Diagrams)

Η μέθοδος αυτή οδηγεί στον προσδιορισμό εναρκτήριων γεγονότων. Ως "γεγονός κορυφής" θεωρείται ένα ανεπιθύμητο συμβάν (π.χ. διαρροή επικίνδυνης ουσίας). Το ανεπιθύμητο αυτό συμβάν διαιρείται διαδοχικά σε όλες τις πιθανές κατηγορίες γεγονότων που θα μπορούσαν να το προκαλέσουν. Ο τρόπος διακλάδωσης γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε τα γεγονότα ενός συγκεκριμένου επιπέδου να είναι αυτά που θα προκαλέσουν τα γεγονότα του αμέσως παραπάνω επιπέδου. Η ανάλυση προχωρά έως ότου προσδιορισθούν τα εναρκτήρια γεγονότα.

Η ανάπτυξη των Λογικών Διαγραμμάτων από την κορυφή προς τα κάτω ακολουθεί τη λογική:

- ❑ Προσδιορισμός γεγονότος κορυφής, που συνήθως είναι η διαρροή τοξικής ή εύφλεκτης ουσίας
- ❑ Προσδιορισμός πιθανών τοποθεσιών διαφυγής
- ❑ Προσδιορισμός φάσεων λειτουργίας της εγκατάστασης
- ❑ Προσδιορισμός λειτουργιών ασφάλειας.

2.2.4. Δέντρα Σφαλμάτων (Fault Trees)

Τα Δένδρα Σφαλμάτων αποτελούν μια γραφική απεικόνιση των δυνατών τρόπων με τους οποίους μπορεί να συμβεί έναν "γεγονός κορυφής". Η τεχνική ακολουθεί επαγωγική λογική ξεκινώντας από το γεγονός κορυφής και αναλύοντας τις αιτίες που μπορούν να το προκαλέσουν. Οι αιτίες συνδέονται με το γεγονός κορυφής με λογικούς τελεστές από τους οποίους οι πιο σημαντικές πύλες είναι οι "Η" (OR) και "ΚΑΙ" (AND). Στην πύλη "ΚΑΙ" όλες οι εισόδους πρέπει να συμβούν για να συμβεί η έξοδος ενώ στη λογική πύλη "Η" μόνο μια από τις εισόδους αρκεί για να συμβεί. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά σύμβολα που χρησιμοποιούνται στα δένδρα σφαλμάτων.

Χρησιμοποιώντας τις λογικές πύλες η μέθοδος αυτή αποσυνθέτει το γεγονός κορυφής σε όλο και πιο απλά γεγονότα μέχρι να επιτευχθεί ένα επίπεδο γεγονότων για το οποίο υπάρχουν ποσοτικά δεδομένα. Τα Δένδρα σφαλμάτων είναι μια ποσοτική μέθοδος εκτίμησης κινδύνου αλλά παρέχει και σημαντικές πληροφορίες ποιοτικού χαρακτήρα σε σχέση με τον τρόπο αστοχίας πολύπλοκου συστήματος.

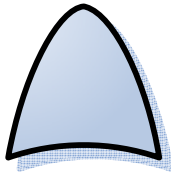
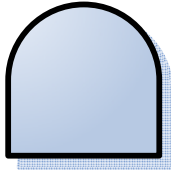
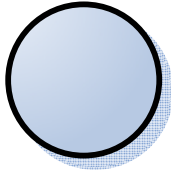

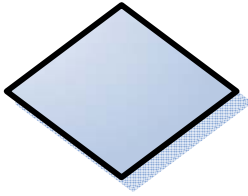
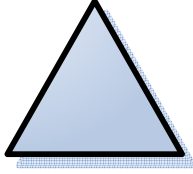
Το πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας είναι η κατασκευή του Δένδρου Σφαλμάτων η οποία βασίζεται στην επιλογή ενός ανεπιθύμητου γεγονότος που πρόκειται να αναλυθεί και στην ανίχνευση των αιτιών που μπορούν να το προκαλέσουν μαζί με τη λογική τους συσχέτιση. Ο αναλυτής κάνει ερωτήσεις όπως "Πως μπορεί να γίνει αυτό το γεγονός" ή "Ποιες είναι οι αιτίες αυτού του γεγονότος". Η διαδικασία ξεκινά από το "γεγονός κορυφής" έως ότου να προσδιορισθούν οι αιτίες για τις οποίες υπάρχουν ποσοτικές πληροφορίες και δεν αναλύονται περαιτέρω. Αυτές οι αιτίες ονομάζονται βασικά γεγονότα.

Η διαφορά ενός Κύριου Λογικού Διαγράμματος (ΚΛΔ) και ενός Δένδρου Σφαλμάτων (ΔΣ) είναι ότι στο ΔΣ όλοι οι συνδυασμοί των στοιχείων του Δένδρου καταλήγουν σε ένα και μοναδικό "γεγονός κορυφής" (δηλαδή όλες οι ομάδες τομής είναι ισοδύναμες όσον αφορά στις συνέπειες). Αντιθέτως, στο ΚΛΔ οι λογικοί συνδυασμοί είναι περισσότερο ποιοτικής φύσεως και είναι ενδεχόμενο να μην οδηγούν στο ίδιο "γεγονός κορυφής".

Η ποιοτική έκταση της δομής ενός Δένδρου Σφαλμάτων δίνει σημαντικές πληροφορίες για τους πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας ενός συστήματος, τη λογική δομή του και μπορεί να φανερώσει τυχόν αδυναμίες στη φάση σχεδιασμού. Προσδιορίζονται όλοι οι ικανοί και αναγκαίοι συνδυασμοί που οδηγούν στο γεγονός κορυφής. Η διαδικασία που οδηγεί στον προσδιορισμό αυτών των συνδυασμών γεγονότων ονομάζεται Ανάλυση των Θεμελιωδών

Ομάδων Διαχωρισμού (Minimal Cut Set Analysis). Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζονται οι συνδυασμοί με ένα, δύο, τρία και περισσότερα γεγονότα που οδηγούν στο γεγονός κορυφής (ο προσδιορισμός τους Βασίζεται στην Άλγεβρα του Bool). Το επόμενο βήμα μετά τον εντοπισμό των Θεμελιωδών Ομάδων Διαχωρισμού είναι η ποσοτικοποίηση του γεγονότος κορυφής (πιθανότητα ανεπιθύμητου γεγονότος). Σε πολύπλοκα συστήματα με δεκάδες βασικά γεγονότα, για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται κώδικες σε Η/Υ (π.χ. SETS, RISK Spectrum, SUPERPOCUS).

Πίνακας 2.1: Βασικά Σύμβολα που χρησιμοποιούνται στα Δέντρα Σφαλμάτων

<p>Πύλη «Η» : Η έξοδος συμβαίνει μόνο αν ισχύει μια οποιαδήποτε είσοδος</p>	
<p>Πύλη «ΚΑΙ» : Η έξοδος συμβαίνει όταν ισχύουν όλες οι είσοδοι ταυτόχρονα</p>	
<p>Βασικό γεγονός : Γεγονός που δεν αναλύεται περαιτέρω</p>	
<p>Ενδιάμεσο γεγονός</p>	
<p>Γεγονός που δεν Αναλύεται</p>	
<p>Σύμβολο μεταφοράς: Δείχνει ότι το δέντρο αναλύεται σε κάποια άλλη σελίδα</p>	

2.2.5. Δέντρα Γεγονότων (Event Trees)

Η ανάλυση με τη Μέθοδο του Δένδρου Γεγονότων καθορίζει την απόκριση της εγκατάστασης σε κάθε εναρκτήριο γεγονός. Το δέντρο αποτελείται από κόμβους και κλάδους και έχει τόσους κόμβους όσους τα συστήματα που συμμετέχουν στην απόκριση της εγκατάστασης στη συγκεκριμένη φάση. Κάθε κόμβος διακλαδίζεται σε τόσους κλάδους όσες και οι δυνατές καταστάσεις του συστήματος που αντιστοιχεί στον κόμβο. Έτσι δημιουργούνται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί καταστάσεων των συστημάτων σαν μονοπάτια (paths) ή κλάδους (branches) του δέντρου. Μετά την ανάπτυξη του δέντρου καθορίζεται για κάθε μονοπάτι αν το εναρκτήριο γεγονός συνδυασμένο με τη συγκεκριμένη ακολουθία καταστάσεων των συστημάτων οδηγεί σε επιτυχή απόκριση της εγκατάστασης ή σε ατύχημα. Τα "μονοπάτια" που οδηγούν σε ατύχημα ονομάζονται "ακολουθίες γεγονότων".

Ποσοτικοποίηση Δένδρου Γεγονότων: Η πιθανότητα ενός κλάδου του δένδρου γεγονότων, υπολογίζεται από τη συχνότητα του εναρκτήριου γεγονότος καθώς και από τις επιμέρους πιθανότητες των καταστάσεων των συστημάτων που συμμετέχουν στην ακολουθία.

2.3. Προσδιορισμός Επικινδυνότητας Διεργασιών Εγκατάστασης

Μία εγκατάσταση αποτελείται από διεργασίες που μπορούν να προκαλέσουν ατύχημα, η σοβαρότητα και η έκταση του οποίου είναι ανάλογη της επικινδυνότητας και του βαθμού κινδύνου που περιέχουν. Πριν γίνει η ανάπτυξη του μοντέλου που προσδιορίζει τον συντελεστή επικινδυνότητας μίας εγκατάστασης, κρίνεται αναγκαίο να διευκρινισθούν ορισμένοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. [4], [12], [17, 18, 19, 20].

Μία εγκατάσταση αποτελείται από επιμέρους διεργασίες, περιοχές ή συστήματα διεργασιών που μπορεί να περιέχουν ειδικούς και διαφορετικούς για κάθε διεργασία κινδύνους. Παραδείγματα τέτοιων διεργασιών είναι:

- Το σύστημα τροφοδοσίας μιας διεργασίας
- Τα συστήματα ψύξης – θέρμανσης
- Διεργασίες αντίδρασης
- Οι χώροι αποθήκευσης των πρώτων υλών και των προϊόντων
- Περιοχές ανάκτησης υλικών
- Περιοχές διαχωρισμού των υλικών
- Διεργασίες απόσταξης
- Διεργασίες συσκευασίας κ.τ.λ.

Οι παραπάνω περιοχές - διεργασίες αποτελούνται από επιμέρους συστήματα που υποστηρίζουν το έργο τους. Η εκτίμηση του συντελεστή επικινδυνότητας, γίνεται για την κυρίως διεργασία συμπεριλαμβάνοντας εκείνα τα υποστηρικτικά συστήματα που δεν εμπεριέχουν κάποιο ιδιαίτερο κίνδυνο, εξαίρεση στον παραπάνω κανόνα αποτελούν οι μονάδες αποθήκευσης οι οποίες πρέπει να αντιμετωπίζονται χωριστά η κάθε μία.

Οι κύριοι κίνδυνοι που περικλείονται σε μία διεργασία αναφέρονται κυρίως στη έναυση φωτιάς και στη διαρροή τοξικών ουσιών στους χώρους της εγκατάστασης. Έτσι, μία διεργασία μπορεί να χαρακτηριστεί με ένα συντελεστή επικινδυνότητας (Risk Factor) άμεσα συνδεδεμένο με τους δείκτες εκρηκτικότητας (Fire Index) και τοξικότητας (Toxicity Index). Η μέγιστη τιμή μεταξύ των παραπάνω δεικτών αποδίδει και τον συντελεστή επικινδυνότητας της εγκατάστασης.

Κατά τον προσδιορισμό των δεικτών εκρηκτικότητας (FIndex) και τοξικότητας (TIndex) απαιτείται να προσδιορισθούν οι κίνδυνοι που αφορούν την διεργασία ανάλογα, με το είδος και τον τρόπο λειτουργίας της. Έτσι, οι κίνδυνοι μίας διεργασίας χωρίζονται:

1. Στους εγγενής κινδύνους που προέρχονται από τη φύση της διεργασίας και αναφέρονται ως γενικοί κίνδυνοι της διεργασίας (General Process Hazard, GPH). Σε αυτούς ανήκουν:

1.1. Κίνδυνοι που προέρχονται όταν η διεργασία περιλαμβάνει χημική αντίδραση (ενδόθερμη ή εξώθερμη). Η ενέργεια που εκλύεται ή απορροφάται εξαιτίας της αντίδρασης και η οποία μπορεί να εμφανιστεί σαν θερμότητα, ή σε οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας προσδίδει στη διεργασία έναν επιπλέον συντελεστή επικινδυνότητας, που στην παρούσα μελέτη αναφέρεται ως ποινή λόγω αντίδρασης (Reaction Penalty) Στον πίνακα 2.2 φαίνονται οι βαθμοί ποινής ανάλογα με τον τύπο της χημικής αντίδρασης που λαμβάνει χώρα και την ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον, όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

1.2. Κίνδυνοι που προέρχονται όταν η διεργασία απαιτεί φόρτωση ή εκφόρτωση μεγάλων ποσοτήτων υλικών, ή είναι διεργασία αποθήκευσης των υλικών σε διαφορετικές από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Στην παρούσα μελέτη προσδίδεται ποινή που αναφέρεται ως ποινή χειρισμού – αποθήκευσης (Handling Storage Penalty, HSP) και σχετίζεται με την απαιτούμενη διαχείριση του υλικού και τον συντελεστή επικινδυνότητάς του. Στον πίνακα 2.3 φαίνονται οι βαθμοί ποινής ανάλογα με τον χειρισμό που απαιτούν τα υλικά και την θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται στην παρούσα φάση της διεργασίας. Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού της ποινής για την φόρτωση και εκφόρτωση των επικινδύνων υλικών, καθώς και της αποθήκευσης τους είναι με χρήση των εξισώσεων:

$$\text{Log } Y = 0.305 \log eQ - 2.965 \quad \text{Εξίσωση 2.1}$$

$$Y = 185 - 109 \left(\frac{eQ10^{-9}}{700000} \right)^2 - 11.45 \quad \text{Εξίσωση 2.2}$$

$$Y = 55 - 109 \left(\frac{eQ10^{-9}}{270} \right)^2 - 6.4 \quad \text{Εξίσωση 2.3}$$

όπου:

Y = ο βαθμός ποινης

e = η θερμότητα καύσης του υλικού εκφρασμένη σε kJ/kg

Q = η ποσότητα του υλικού kg

Η εξίσωση 2.1 αναφέρεται σε υλικά υπό πίεση, η εξίσωση 2.2 αναφέρεται σε εύφλεκτα υλικά, ενώ, η εξίσωση 2.3 αναφέρεται στην αποθήκευση των εύφλεκτων υλικών.

- 1.3. Κίνδυνοι που προέρχονται από τη διεργασία όταν αυτή εκτελείται μέσα σε κτίριο.
Στην περίπτωση αυτή υπάρχει βαθμός ποινης 0.5.

Πίνακας 2.2.: Βαθμοί ποινής ανάλογα με τον τύπο της χημικής αντίδρασης που λαμβάνει χώρα και την ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον.

Χαρακτηρισμός Αντίδρασης	Τύποι Αντιδράσεων	Βαθμός Ποινής
Ενδόθερμη	Μικρή ανταλλαγή ενέργειας έχουν οι αντιδράσεις <ul style="list-style-type: none"> • Πύρωσης σε χαμηλή θερμοκρασία για την απομάκρυνση του νερού. • Ηλεκτρόλυσης για την απομάκρυνση ιόντων. • Πυρόλυσης ή διάσπασης μεγάλων μορίων ανθρακικών ενώσεων σε μικρότερα μόρια, σε χαμηλές θερμοκρασίες 	0.2
	Μεγαλύτερη ανταλλαγή ενέργειας εμφανίζουν οι αντιδράσεις <ul style="list-style-type: none"> • Πύρωσης σε υψηλή θερμοκρασία για την απομάκρυνση προσμείξεων. • Πυρόλυσης ή διάσπασης μεγάλων μορίων ανθρακικών ενώσεων σε μικρότερα μόρια, σε υψηλές θερμοκρασίες 	0.4
Εξώθερμες	Μικρή ανταλλαγή ενέργειας έχουν οι αντιδράσεις: <ul style="list-style-type: none"> • Καύσης των οργανικών ενώσεων 	0.2
	Μεγαλύτερη ανταλλαγή ενέργειας έχουν οι αντιδράσεις: <ul style="list-style-type: none"> • Υδρογόνωσης, όπου ατομικό υδρογόνο προστίθεται στην ένωση. • Υδρόλυσης, όπου νερό αναμιγνύεται π.χ. με θειικό ή φωσφορικό οξείδιο και παράγεται θειικό ή φωσφορικό οξύ. • Αλκιλίωσης. • Ισομερισμού. • Αντιδράσεις του θειικού οξέος • Αντιδράσεις παραγωγής αλάτων 	0.3 – 0.5
	Μεγαλύτερη ανταλλαγή ενέργειας παρουσιάζουν οι αντιδράσεις: <ul style="list-style-type: none"> • Παραγωγής εστέρων, όπου ένα οξύ αντιδρά με αλκοόλη ή ακόρεστο υδρογονάνθρακα • Οξειδωσης. • Αλογονώσεις. 	0.75 – 1.00
	Τη μεγαλύτερη ανταλλαγή ενέργειας έχουν οι αντιδράσεις: <ul style="list-style-type: none"> • Αντικατάστασης αλογόνου από το μόριο μιας οργανικής ένωση με άζωτο ή αζω- ένωση. 	1.25

Πίνακας 2.3.: Βαθμοί ποινής ανάλογα με τον χειρισμό που απαιτούν τα υλικά και την θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται στην παρούσα φάση της διεργασίας.

Χειρισμός των Υλικών	Θερμοκρασία Χειρισμού	Βαθμός Ποινής
Φόρτωση – Εκφόρτωση των Επικίνδυνων Υλικών	Κάτω από το Σημείο Βρασμού	0.3
	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	0.5
	Πάνω από το Σημείο Βρασμού	0.6
Προσωρινή Αποθήκευση των επικίνδυνων Υλικών	Κάτω από το Σημείο Βρασμού	0.3
	Πάνω από το Σημείο Βρασμού	0.6

2. Στους ειδικούς κινδύνους που χαρακτηρίζουν μία διεργασία (Special Process Hazard, SPH). Σε αυτούς ανήκουν:

2.1. Η θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας (Process Temperature Penalty, PTP). Στον πίνακα 2.4 φαίνεται ο βαθμός ποινής της διεργασίας ανάλογα με τη θερμοκρασία λειτουργίας της.

Πίνακα 2.4: Βαθμός ποινής της διεργασίας ανάλογα με τη θερμοκρασία λειτουργίας της.

Θερμοκρασία Λειτουργίας της Διεργασίας	Βαθμός Ποινής
Κάτω από της Θερμοκρασία ανάφλεξης του υλικού (Flash Point)	0.25
Κοντά στη Θερμοκρασία ανάφλεξης του υλικού (Flash Point) π.χ οξείδωση του τολουολίου σε βενζοϊκό οξύ.	0.75
Περίπου στη Θερμοκρασία ανάφλεξης του υλικού (Flash Point) π.χ. διεργασίες απόσταξης.	1.00
Πάνω από της Θερμοκρασία Βρασμού του υλικού (Boiling Point)	0.6
Υλικά με πολύ χαμηλή Θερμοκρασία Ανάφλεξης, (Auto Ignition Temperature) όπως το εξάνιο.	0.75
Θερμοκρασία λειτουργίας μεταξύ -30 °C και 0 °C	0.3
Θερμοκρασία λειτουργίας μικρότερη από -30 °C	0.5

2.2. Η πίεση λειτουργίας της διεργασίας (Process Pressure Penalty, PPP). Στον πίνακα 2.5 φαίνεται ο βαθμός ποινής της διεργασίας ανάλογα με την πίεση λειτουργίας της και

τις ιδιότητες των υλικών. Επίσης, ο βαθμός ποινής (Y) μπορεί να υπολογιστεί από την απόλυτη πίεση λειτουργίας της διεργασίας (P, bar) και την εξίσωση:

$$Y = 0.435 \log P,$$

$$\text{Εξίσωση: } 2.4$$

Πίνακα 2.5: Βαθμός ποινής της διεργασίας ανάλογα με την πίεση λειτουργίας της και τις ιδιότητες των υλικών.

Πίεση Λειτουργίας της Διεργασίας	Βαθμός Ποινής
Πίεση λειτουργίας (P) μεγαλύτερη της ατμοσφαιρική και παχύρρευστα υλικά όπως λάδια, ασφαλτικά	(0.7) (0.435) log P
Πίεση λειτουργίας (P) μεγαλύτερη της ατμοσφαιρική και αέρια υπό πίεση	(1.2) (0.435) log P
Πίεση λειτουργίας (P) μεγαλύτερη της ατμοσφαιρική και εύφλεκτα αέρια υπό πίεση.	(1.3) (0.435) log P

2.3. Όταν η διεργασία παρουσιάζει προβλήματα διαρροής υλικών από την κυρίως διεργασία ή από τις υποστηρικτικές συσκευές της (Leakage Penalty, LP). Στον πίνακα 2.6 φαίνεται ο βαθμός ποινής σε σχέση με εμπειρική γνώση για διεργασίες που παρουσιάζουν προβλήματα διαρροής υλικών.

Πίνακας 2.6: Βαθμός ποινής σε σχέση με εμπειρική γνώση για διεργασίες που παρουσιάζουν προβλήματα διαρροής υλικών.

Διεργασία	Βαθμός Ποινής
Αντλίες μεταφοράς υλικού	0.1
Μεταφοράς υλικού με αντλία μέσω αγωγού συνδεδεμένου με φλάντζες	0.2
Όταν τα υλικά είναι σε μορφή λάσπης	0.4
Όταν η μεταφορά των υλικών γίνεται μέσα από γυάλινα και υαλοθυρίδες	1.5

2.4. Όταν στη διεργασία παρουσιάζεται σκωρία και φαινόμενα διάβρωσης της (Corrosion Erosion Penalty, CEP). Στον πίνακα 2.7 παρουσιάζεται ο βαθμός ποινής ανάλογα με το βάθος της σκωρίας που εμφανίζεται στη διεργασία

Πίνακας 2.7: Βαθμός ποινής ανάλογα με το βάθος της σκωρίας που εμφανίζεται

Βάθος Σκωρίας	Βαθμός Ποινής
Μικρότερη του 0.5 mm/year με διάβρωση των μετάλλων	0.1

Μεταξύ του 0.5 mm/year και 1 mm/year	0.2
Μεγαλύτερη από 1 mm/year	0.5

Η σύνθεση των παραπάνω δίνει τους δείκτες εκρηκτικότητας FIndex (Fire Index) και τοξικότητας TIndex (Toxicity Index) σύμφωνα με τις εξισώσεις:

$$FIndex = FMF (1 + GPH) (1 + SPH) \quad \text{Εξίσωση 2.5}$$

$$TIndex = \frac{TH - TS}{100} (1 + GPH + SPH) \quad \text{Εξίσωση 2.6}$$

Όπου:

GPH : (General Process Hazard), οι γενικοί κίνδυνοι της διεργασίας, που δίνονται από το άθροισμα των ποινών που προέρχονται από την αντίδραση που λαμβάνει χώρα (Reaction Penalty, RP) και από τις απαιτήσεις χειρισμού και αποθήκευσης των επικίνδυνων υλικών (Handling Storage Penalty, HSP).

$$GPH = RP + HSP \quad \text{Εξίσωση 2.7}$$

SPH : (Special Process Hazard), οι ειδικοί κίνδυνοι της διεργασίας, που από το άθροισμα των ποινών που προέρχονται από τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης λειτουργίας (Process Temperature Penalty, PTP), (Process Pressure Penalty, PPP), από πιθανά προβλήματα διαρροής επικίνδυνων υλικών (Leakage Penalty LP), και από την οξείδωση ή διάβρωση της διεργασίας στο χρόνο (Corrosion Erosion Penalty, CEP).

$$SPH = PTP + PPP + LP + CEP \quad \text{Εξίσωση 2.8}$$

FMF : (Flammability Material Factor), είναι ο συντελεστής αναφλεξιμότητας του επικίνδυνου υλικού που προκύπτει από τον συνδυασμό του βαθμού εκρηκτικότητας του υλικού και του βαθμού ενεργότητας του. Ο πίνακας 2.8 προσδιορίζει τον συντελεστή αναφλεξιμότητας του υλικού (FMF) από τους συνδυασμούς των βαθμών εκρηκτικότητας (GFF) και ενεργότητας (GRF) του υλικού.

Πίνακας 2.8: Ο συντελεστής αναφλεξιμότητας του υλικού (FMF) από τους συνδυασμούς των βαθμών εκρηκτικότητας (GFF) και ενεργότητας (GRF) του υλικού.

GRF	0	1	2	3	4
GFF	Flammability Material Factor				
0	0	14	24	29	40
1	4	14	24	29	40
2	10	14	24	29	40
3	16	16	24	29	40
4	21	21	24	29	40

ΤΗ : (Toxicity Penalty), είναι η ποινή τοξικότητας που αποδίδεται στο υλικό ανάλογα με τον βαθμό τοξικότητας του υλικού (GVRF) όπως προσδιορίζεται κατά NFPA. Στον παρακάτω πίνακα 2.9 φαίνονται οι ποινές τοξικότητας του υλικού.

Πίνακας 2.9: Οι ποινές τοξικότητας του υλικού

Βαθμός Τοξικότητας κατά NFPA (GVRF)	Ποινή Τοξικότητας (ΤΗ)
0	0
1	50
2	125
3	250
4	325

ΤS : (Mac Value Penalty), είναι η ποινή που αποδίδεται στο υλικό ανάλογα με την ελάχιστη αποδεκτή συγκέντρωση του, (Minimum Acceptable Concentration, Mac Value). Στον πίνακα 2.10 φαίνονται οι ποινές του υλικού σε σχέση με την ελάχιστη αποδεκτή συγκέντρωση.

Πίνακας 2.10: Οι ποινές του υλικού σε σχέση με την ελάχιστη αποδεκτή συγκέντρωση.

Ελάχιστη Αποδεκτή Συγκέντρωση (ppm)	Ποινή (TS)
≤ 5	125
5 - 50	75
≥ 50	50

3. Ο ΕΥΦΥΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

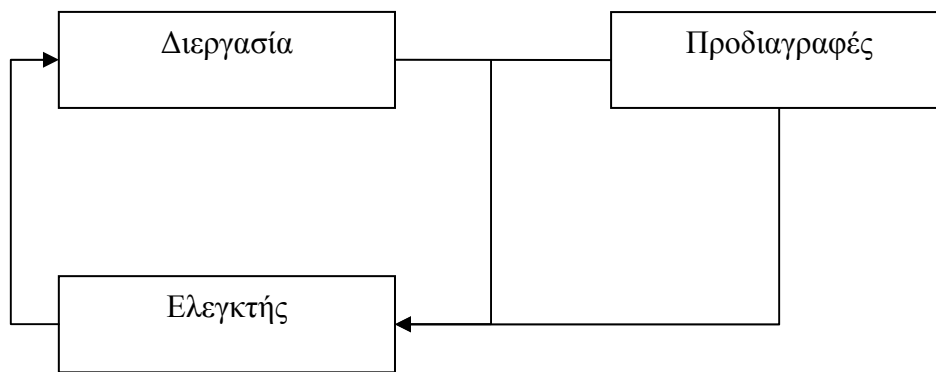
3.1. Εισαγωγή του Ευφυούς Ελέγχου Στην Βιομηχανία

Η κλασική θεωρία συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη και υλοποίηση πολλών αγαθών την λειτουργία των οποίων τώρα θεωρούμε δεδομένη, όπως τα τηλέφωνα, ο αυτόματος πιλότος ενός αεροπλάνου κλπ. Παρόλη όμως την συνεχόμενη αυτή πρόοδο, το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης κυρίως στην βιομηχανία γίνεται όλο και μεγαλύτερο. Η μεγάλη ανάγκη της βιομηχανίας για ανάπτυξη μιας καινούριας θεωρίας ελέγχου που θα ανταποκρίνεται στις ανάγκες της, οδήγησε πολλούς επιστήμονες στην έρευνα νέων μη συμβατικών τεχνικών αυτομάτου ελέγχου, κάποιες από τις οποίες περιγράφονται από τον όρο "Ευφυής Έλεγχος". [18], [21, 22, 23].

Η εφαρμογή τεχνικών της συμβατικής θεωρίας ελέγχου για τον έλεγχο ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας προϋποθέτει την ύπαρξη ενός πλήρους αναλυτικού μοντέλου του ελεγχόμενου συστήματος. Κάτι τέτοιο είναι συχνά αδύνατο λόγω της πολυπλοκότητας των βιομηχανικών διεργασιών ή και της αδυναμίας μετρήσεων. Αν υπάρχει ένα τέτοιο μοντέλο τότε συνηθέστερος τύπος ελεγκτή που χρησιμοποιείται είναι αυτός των τριών όρων (PID) με υλοποίηση σε Programmable Logic Controllers (PLC).

Η θεωρία του μη συμβατικού ελέγχου, αντί να προσπαθεί να μοντελοποιήσει το ελεγχόμενο σύστημα, ψάχνει να βρει ένα σύνολο λεκτικών προτάσεων που να περιγράφουν τις αντιδράσεις ενός επιτυχημένου ανθρώπου χειριστή του συστήματος, τις οποίες και προσπαθεί να περιγράψει με διάφορες τεχνικές όπως την ασαφή λογική και τα νευρωνικά δίκτυα.

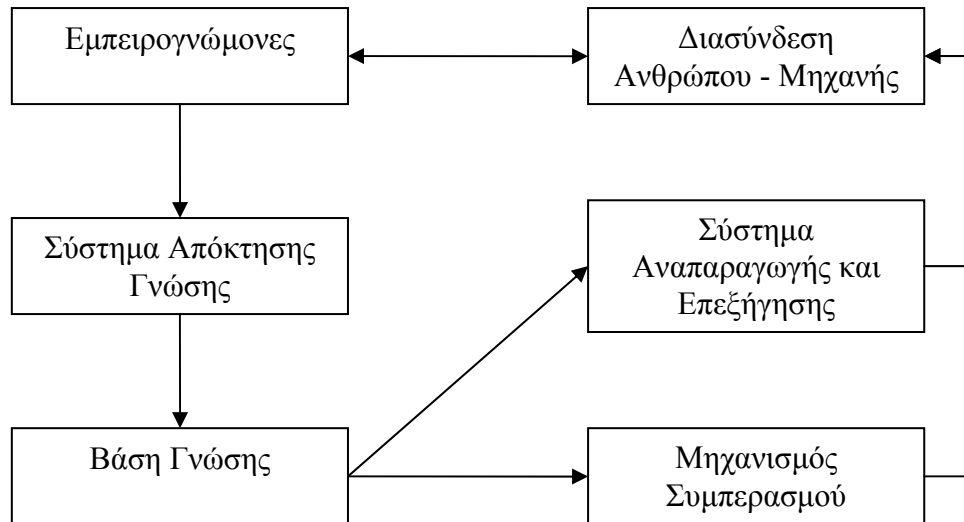
Το πρόβλημα ελέγχου ενός συστήματος ή διεργασίας περιγράφεται από το ακόλουθο σχήμα.3.1.



Σχήμα 3.1: Το πρόβλημα ελέγχου ενός συστήματος ή διεργασίας

Στο συμβατικό έλεγχο η διεργασία και ο ελεγκτής θεωρούνται γνωστά και μάλιστα γραμμικά με την έννοια ότι υπάρχουν γραμμικά μαθηματικά μοντέλα διαφορικών εξισώσεων που τα περιγράφουν. Οι προδιαγραφές είναι ένα σύνολο κριτηρίων όπως ευστάθεια, ταχύτητα απόκρισης, υπερέψωσης κλπ που αν πληρούνται ο ελεγκτής θεωρείται επιτυχημένος.

Ο όρος "Ευφυής Έλεγχος" αντλεί τεχνικές από διάφορες επιστήμες όπως η νευρολογία, η ψυχολογία τα μαθηματικά κλπ. Ο στόχος ενός ευφυούς ελεγκτή είναι να λειτουργεί όπως ένας επιτυχημένος άνθρωπος ελεγκτής με τους ίδιους κανόνες χωρίς όμως τα μειονεκτήματά του. Το πλεονέκτημα των ανθρώπων σαν ελεγκτές μιας διεργασίας είναι ότι μπορούν να ανταπεξέλθουν και να πάρουν αποφάσεις κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας και να αντιδράσουν άμεσα σε απρόβλεπτες καταστάσεις. Ένας καλά σχεδιασμένος ευφυής ελεγκτής πρέπει να μπορεί να "μιμηθεί" τον καλύτερο άνθρωπο ελεγκτή της συγκεκριμένης διαδικασίας. Έτσι ένα πρώτο πρόβλημα που πρέπει να απαντηθεί από τον σχεδιαστή ενός ευφυούς ελεγκτή είναι η καταγραφή των κανόνων με βάση τους οποίους λειτουργεί ένας επιτυχημένος άνθρωπος ελεγκτής της διεργασίας. Η εξόρυξη αυτής της γνώσης (data mining) γίνεται είτε με συνέντευξη του χειριστή είτε με τεχνικές pattern association, γενετικών αλγορίθμων κλπ. _εύτερο βήμα είναι η αποθήκευση αυτής των κανόνων σε μια βάση γνώσης χρησιμοποιώντας είτε συμβολική μορφή (LISP, C++, κλπ) είτε αριθμητική μορφή (ασαφής λογική, νευρωνικά δίκτυα). Έπειτα ακολουθεί η επιλογή και υλοποίηση ενός μηχανισμού συμπερασμού ο οποίος παίρνοντας σαν είσοδο κάποιες μετρήσεις από την ελεγχόμενη διαδικασία και χρησιμοποιώντας την βάση γνώσης που έχει δημιουργηθεί, βγάζει κάποια έξοδο που ανατροφοδοτείται στην ελεγχόμενη διαδικασία. Τα παραπάνω βήματα φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Βήματα Υλοποίησης του Ευφυούς Ελέγχου.

Ο ευφυής έλεγχος συνήθως χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας και πολυπλοκότητας, μια και τότε είναι πρακτικά αδύνατη η εφαρμογή συμβατικών τεχνικών. Η βασικές αρχές πάνω στις οποίες σχεδιάζεται ένας ευφυής ελεγκτής είναι οι ακόλουθες.

- **Ορθότητα:** Η ικανότητα εκτέλεσης των λειτουργικών απαιτήσεων του συστήματος με ασφάλεια.
- **Ευρωστία:** Η ικανότητα του συστήματος να παραμένει λειτουργικό κάτω από μη αναμενόμενες συνθήκες.
- **Επεκτασιμότητα:** Η δυνατότητα επέκτασης του υλικού και του λογισμικού χωρίς επανασχεδίαση του συστήματος από την αρχή.

3.2. Ασαφής Έλεγχος – Βασικοί Ορισμοί

3.2.1. Ασαφής Αριθμοί – Ασαφή Σύνολα

Στα μέσα του 1960 ο Lotfi A.Zadeh του πανεπιστημίου Berkeley της Καλιφόρνια εφήυρε την θεωρία των ασαφών συνόλων, η οποία λέει ότι συνήθως στον κόσμο που ζούμε τα αντικείμενα γύρω μας ανήκουν σε διάφορα σύνολα με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής. Πχ. η κλάση των "ψηλών ανθρώπων" δεν έχει αυστηρό κριτήριο συμμετοχής. Ο ασαφής ορισμός κλάσεων παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην ανθρώπινη επικοινωνία. Το 1965 ο Zadeh θεμελίωσε πλήρως την θεωρία των ασαφών συνόλων και της ασαφής λογικής ολοκληρώνοντας την δουλειά αρκετών άλλων μαθηματικών μέχρι τότε. Η θεωρία του Zadeh δέχθηκε μεγάλη αμφισβήτηση κυρίως στην Αμερική. την δεκαετία του 1970 ο Ebrahim H. Mamdani, μηχανικός στο πανεπιστήμιο Queen Mary του Λονδίνου δοκίμασε για πρώτη φορά την ασαφή λογική για την ανάπτυξη ενός ελεγκτή ατμομηχανής. Η επιτυχία τους οδήγησε στην αναγνώριση της ασαφούς λογικής σαν ένα σημαντικό εργαλείο αυτομάτου ελέγχου κάτι που φαίνεται και από την πληθώρα επιστημονικών δημοσιεύσεων πάνω στο θέμα.

Ορισμός 3.1: Έστω X ένα μη μηδενικό σύνολο. Ένα ασαφές σύνολο A του X χαρακτηρίζεται από την συνάρτηση συμμετοχής του

$$\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$$

όπου $\mu_A(x)$ είναι ο βαθμός συμμετοχής του στοιχείου $x \in X$ στο ασαφές σύνολο A .

Το ασαφές σύνολο A χαρακτηρίζεται πλήρως από το σύνολο των ζευγαριών

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \text{ όπου } x \in X\}.$$

Αν $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ένα πεπερασμένο σύνολο και A ένα ασαφές σύνολο του X τότε χρησιμοποιείται ο συμβολισμός

$$A = \mu_1/x_1 + \dots + \mu_n/x_n$$

όπου μ_i/x_i συμβολίζει ότι μ_i είναι ο βαθμός συμμετοχής του x_i στο A και το $+$ συμβολίζει την ένωση. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής έχει ένα στοιχείο τόσο περισσότερο "ανήκει" στο σύνολο.

Όταν το σύνολο X είναι συνεχές τότε και η συνάρτηση συμμετοχής που αντιστοιχεί σε ένα ασαφές σύνολο A είναι και αυτή με τη σειρά της συνεχής. Οι πιο γνωστοί τύποι συναρτήσεων που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ασαφών αριθμών είναι:

1. Τριγωνική συνάρτηση – Τριγωνικός ασαφής αριθμός, η συνάρτηση συμμετοχής του έχει την παρακάτω μορφή:

$$A(t) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1-(\alpha-t)}{a}, \text{ αν } \alpha-a \leq t \leq \alpha \\ \frac{1-(t-\alpha)}{b}, \text{ αν } \alpha \leq t \leq \alpha+b \\ 0, \text{ σε άλλη περίπτωση} \end{array} \right\}$$

όπου:

α = η κορυφή του τριγωνικού ασαφούς αριθμού,

a = το αριστερό πλάτος του τριγωνικού ασαφούς αριθμού, $a > 0$,

b = το δεξιό πλάτος του τριγωνικού ασαφούς αριθμού, $b > 0$.

Η υποστήριξη του A είναι $(\alpha - a, \alpha + b)$.

2. Τραπεζοειδής συνάρτηση – τραπεζοειδής ασαφής αριθμός, έχει συνάρτηση συμμετοχής:

$$A(t) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1-(\alpha-t)}{a}, \text{ αν } \alpha-a \leq t \leq \alpha \\ 1, \text{ αν } \alpha \leq t \leq \beta \\ \frac{1-(t-\beta)}{b}, \text{ αν } \alpha \leq t \leq \beta+b \\ 0, \text{ σε άλλη περίπτωση} \end{array} \right\}$$

όπου:

$[\alpha, \beta]$ = ανοχή του τραπεζοειδούς ασαφούς αριθμού,

a = το αριστερό πλάτος του τραπεζοειδούς ασαφούς αριθμού, $a > 0$,

b = το δεξιό πλάτος του τραπεζοειδούς ασαφούς αριθμού, $b > 0$.

Η υποστήριξη του A είναι $(\alpha - a, \beta + b)$.

3. Καμπανοειδής συνάρτηση – Καμπανοειδής ασαφής αριθμός, έχει συνάρτηση συμμετοχής:

$$A(t) = \frac{1}{1 + \left| \frac{t-c}{a} \right|^{2b}}$$

όπου:

a = το σημείο όπου από 0 γίνεται αυστηρά θετική,

b = το σημείο που έχει σαν τιμή το 0.5,

c = το κέντρο της καμπύλης.

4. Συμμετρική συνάρτηση του Gauss - Συμμετρικός ασαφής αριθμός του Gauss, έχει σαν παραμέτρους δύο πραγματικούς αριθμούς a, c , η συνάρτηση συμμετοχής έχει την μορφή:

$$A(t) = e^{-\frac{(t-c)^2}{2a^2}}$$

το c δείχνει το κέντρο της καμπύλης.

5. Σιγμοειδής συνάρτηση – Σιγμοειδής ασαφής αριθμός, έχει σαν παραμέτρους δύο πραγματικούς αριθμούς a, c , η συνάρτηση συμμετοχής έχει την μορφή:

$$A(t) = \frac{1}{1 + e^{-a(t-c)}}$$

6. Z συνάρτηση – Z ασαφής αριθμός, έχει σαν παραμέτρους δύο πραγματικούς αριθμούς a, b , η συνάρτηση συμμετοχής έχει την μορφή:

$$A(t) = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & t \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{t-a}{b-a}\right)^2, & a \leq t \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(b - \frac{t}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq t \leq b \\ 0, & b \leq t \end{array} \right\}$$

Τα a, b δείχνουν τα άκρα της καμπύλης.

3.2.2. Πράξεις Ασαφών Συνόλων

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές πράξεις των ασαφών συνόλων. Έτσι, για A, B ασαφή υποσύνολα ενός μη-μηδενικού (κλασικού) συνόλου X ισχύουν τα παρακάτω:

- Η τομή του A με του B ορίζεται ως:

$$(A \cap B)(t) = \min \{A(t), B(t)\} = A(t) \wedge B(t), \forall t \in X$$

- Η ένωση του A με του B ορίζεται ως:

$$(A \cup B)(t) = \max \{A(t), B(t)\} = A(t) \vee B(t), \forall t \in X$$

- Το συμπλήρωμα ενός ασαφούς συνόλου A ορίζεται ως:

$$\neg A(t) = 1 - A(t)$$

- Στην θεωρία του ασαφούς ελέγχου δύο πράξεις που ισχύουν στην κλασική θεωρία συνόλων:
 - η αρχή της εξαίρεσης μέσου: $A \vee \neg A = X$
 - Και η αρχή της μη αντίφασης: $A \wedge \neg A = \emptyset$
δεν ισχύουν.

3.2.3. Πράξεις Ασαφών Σχέσεων

Ορισμός 3.2.: Έστω X και Y είναι μη μηδενικά σύνολα. Μια ασαφής σχέση R μεταξύ αυτών των δύο συνόλων είναι ένα ασαφές σύνολο του καρτεσιανού γινομένου $X \times Y$. Αν

$x \in X$ και $y \in Y$ τότε με $R(x, y)$ θα συμβολίζεται ο βαθμός συμμετοχής του διατεταγμένου ζεύγους (x, y) στη σχέση R .

Έστω R και S δύο ασαφής δυαδικές σχέσεις στο $X \times Y$, οι πιο συνηθισμένες πράξεις με ασαφής σχέσεις είναι:

- Η τομή των R και S ορίζεται ως:

$$(R \wedge S)(x, y) = \min \{R(x, y), S(x, y)\}$$

- Η ένωση των R και S ορίζεται ως:

$$(R \vee S)(x, y) = \max \{R(x, y), S(x, y)\}$$

- Έστω R είναι μία ασαφής δυαδική σχέση στο $X \times Y$. Η προβολή της R στον X -άξονα ορίζεται ως:

$$\Pi_x(x) = \sup \{R(x, y) | y \in Y\}$$

Η προβολή της R στον Y -άξονα ορίζεται ως:

$$\Pi_y(y) = \sup \{R(x, y) | x \in X\}$$

- Το καρτεσιανό γινόμενο των ασαφών συνόλων $A \in F(X)$ και $B \in F(Y)$ ορίζεται ως:

$$(A \times B)(x, y) = \min \{A(x), B(y)\} \text{ για όλα τα } x \in X \text{ και } y \in Y$$

- Η sup-min σύνθεση ενός ασαφούς συνόλου $C \in F(X)$ και μιας ασαφούς σχέσης $R \in F(X \times Y)$ ορίζεται ως:

$$(C \circ R)(y) = \sup_{x \in X} \min \{C(x), R(x, y)\}$$

για όλα $y \in Y$.

- Η sup-min σύνθεση ασαφών σχέσεων για ασαφής σχέσης $R \in F(X \times Y)$ και $S \in F(Y \times Z)$ ορίζεται ως:

$$(R \circ S)(x, z) = \sup_{y \in Y} \min \{R(x, y), S(y, z)\}$$

για όλα $x \in X, y \in Y, z \in Z$.

3.2.4. Ασαφής Συνεπαγωγές

Για τον έλεγχο διεργασιών με ασαφείς ελεγκτές απαιτείται ένα σύνολο γλωσσικών κανόνων. Οι κανόνες αυτοί είναι όμοιοι με αυτούς με τους οποίους εκπαιδεύονται και στην συνέχεια εφαρμόζουν οι χειριστές διεργασιών στην πράξη. Το σύνολο των κανόνων αποτελεί τη βάση γνώσης (rule base) του ελεγκτή. Φυσικό είναι να μην είναι γνωστοί όλοι οι κανόνες που είναι απαραίτητοι για να αντιμετωπίσουν όλες τις πιθανές καταστάσεις της ελεγχόμενης διαδικασίας. Συνεπώς ζητείται κάποια τεχνική ικανή να συμπεραίνει αποφάσεις από ελλιπή στοιχεία, όπως ακριβώς κάνει ένας άνθρωπος χειριστής. Η ασαφής λογική είναι η πιο διαδεδομένη τεχνική για την εξεύρεση αποφάσεων κάτω από αυτές τις συνθήκες.

Η γνώση για τον έλεγχο μιας διεργασίας συνήθως καθορίζεται από ένα σύνολο κανόνων της μορφής «EAN» (αίτιο) «TOTE» (αποτέλεσμα) ή EAN A TOTE B.

Σημειώνεται ότι στον κλασικό διαφορικό λογισμό (propositional calculus) η σχέση (ή κανόνας):

$$\text{EAN A TOTE B}$$

ή συμβολικά

$$A \rightarrow B$$

είναι ισοδύναμη με την πράξη $\neg A \vee B$ όπου A και B είναι υποσύνολα των υπερσυνόλων X και Y αντίστοιχα.

Στην ασαφή λογική υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες κανόνων συνεπαγωγής.

- Η πρώτη είναι η κατηγορία Generalised Modus Ponens (GMP) για την οποία ισχύουν τα εξής:

GMP: Υπόθεση 1: x είναι A´
 Υπόθεση 2: EAN x είναι A TOTE y είναι B
 Συμπέρασμα: y είναι B´

Ο κανόνας αυτός σχετίζεται άμεσα με τους μηχανισμούς πρόσθιας συνεπαγωγής με δεδομένα (forward data-driven inference), που βρίσκει εφαρμογή σε όλους τους ασαφείς ελεγκτές. Στόχος εδώ είναι η ανεύρεση ενός συμπεράσματος με δεδομένα τα αίτια. Στην περίπτωση που $A' = A$ και $B' = B$ ο κανόνας GMP απλουστεύεται και είναι γνωστός ως Modus Ponens.

- Η δεύτερη είναι η κατηγορία Generalised Modus Tollens (GMT), για την οποία ισχύουν τα εξής:

GMT: Υπόθεση 1: y είναι B´
 Υπόθεση 2: EAN x είναι A TOTE y είναι B
 Συμπέρασμα: x είναι A´

Ο κανόνας GMT σχετίζεται στενά με τους μηχανισμούς οπισθόδρομου συμπερασμού με στόχο (backwards goal-driven) που συνηθίζεται στα έμπειρα συστήματα. Αντίθετα με τον κανόνα GMP, ο σκοπός του μηχανισμού συμπερασμού εδώ είναι η ανεύρεση των αιτιών που έχουν ένα δεδομένο αποτέλεσμα.

Στην ασαφή λογική οι πιο διαδεδομένες συνεπαγωγές είναι:

- Η συνεπαγωγή του Boole:
 Η κλασική συνεπαγωγή του δυαδικού κανόνα του Boole χρησιμοποιεί τους τελεστές της ένωσης και της άρνησης και ορίζεται ως:

$$R_{\text{Boole}} = (\bar{A} \times Y) \cup (X \times B)$$

και

$$\mu_R(x, y) = (1 - \mu_A(x)) \vee \mu_B(y)$$

Ο συνδυασμός των N εξαρτημένων σχέσεων γίνεται με το συνδετικό ΚΑΙ, δηλαδή:

$$R^N = \bigwedge_k R^k \quad \text{όπου } k = 1, 2, \dots, N$$

και

$$\mu_R^N(x, y) = \bigwedge_k ((1 - \mu_A^k(x)) \vee \mu_B^k(y))$$

- Η συνεπαγωγή του Lukasiewicz

Η συνεπαγωγή του Lukasiewicz, από τις πρώτε χρονολογικά, είναι βασισμένη στην πλειότιμη λογική και ορίζεται ως:

$$\mu_R(x, y) = 1 \wedge (1 - \mu_A(x) + \mu_B(y))$$

όπου το σύμβολο '+' παριστά την κοινή αριθμητική πρόσθεση.

Ο συνδυασμός N εξαρτημένων σχέσεων γίνεται με το συνδετικό ΚΑΙ, δηλαδή:

$$R^N = \bigwedge_k R^k \quad \text{όπου } k = 1, 2, \dots, N$$

και

$$\mu_R^N(x, y) = \bigwedge_k (1 \wedge (1 - \mu_A^k(x) + \mu_B^k(y)))$$

- Η συνεπαγωγή το Zadeh

Η συνεπαγωγή το Zadeh με τελεστές max και min, που παρουσίασε στην πρώτη δημοσίευσή του ορίζεται ως:

$$R_{Zadeh2} = (A \times B) \cup (\bar{A} \times X)$$

και

$$\mu_R(x, y) = (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)) \vee (1 - \mu_A(x))$$

Η συνεπαγωγή αυτή είναι δύσχρηστη και δεν αποδέχεται εύκολα υπολογιστική λύση. Ο Mamdani περίπου 10 χρόνια αργότερα παρουσίασε την απλούστερη που δίνεται παρακάτω.

- Η συνεπαγωγή Mamdani.

Η συνεπαγωγή του Mamdani είναι μια απλούστερη της αρχικής συνεπαγωγής του Zadeh, χρησιμοποιεί μόνο τον τελεστή min και ορίζεται ως:

$$R_{\text{Mamdani}} = A \times B$$

και

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(y) \}$$

Ο συνδυασμός N εξαρτημένων σχέσεων γίνεται με το συνδετικό H, δηλαδή:

$$R^N = \bigvee_k R^k \quad \text{όπου } k = 1, 2, \dots, N$$

και

$$\mu_R^N(x, y) = \bigvee_k (\mu_A^k(x) \wedge \mu_B^k(y))$$

Είναι αξιολογώμετο ότι η απλουστευμένη συνεπαγωγή του Mamdani άνοιξε το δρόμο για την ευρύτερη διάδοση της Ασαφούς Λογικής στις βιομηχανικές εφαρμογές.

- Η συνεπαγωγή του Larsen.

Η συνεπαγωγή του Larsen, που χρησιμοποιεί κοινό πολλαπλασιασμό στον υπολογισμό του καρτεσιανού γινομένου:

$$R_{\text{Larsen}} = A \times B$$

και

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) * \mu_B(y)$$

Ο συνδυασμός N εξαρτημένων σχέσεων γίνεται με το συνδετικό H, δηλαδή:

$$R^N = \bigvee_k R^k \quad \text{όπου } k = 1, 2, \dots, N$$

και

$$\mu_R^N(x, y) = \bigvee_k (\mu_A^k(x) \cdot \mu_B^k(y))$$

Όπως και στην συνεπαγωγή του Mamdani, η συνεπαγωγή του Larsen έχει ευρεία εφαρμογή στην πράξη λόγω της αριθμητικής της απλότητας. Σχεδόν όλοι οι ασαφείς ελεγκτές που έχουν υλοποιηθεί μέχρι σήμερα βασίζονται σε μηχανισμούς συμπερασμού που χρησιμοποιούν μία από της δύο τελευταίες συνεπαγωγές.

3.2.5. Μετατροπείς – Γλωσσικές Μεταβλητές

Ορισμός 3.3: Έστω A ένα ασαφές σύνολο στο X. Τότε μπορούμε να ορίσουμε τα ασαφή σύνολα «πολύ A» και «περίπου A» ως:

- (πολύ A)(x) = $A(x)^2$
- (περίπου A)(x) = $\sqrt{A(x)}$

Η χρήση των ασαφών συνόλων παρέχει την βάση για ένα συστηματικό τρόπο επεξεργασίας ασαφών και ανακριβών εννοιών. Ειδικότερα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ασαφή σύνολα για να αναπαραστήσουμε γλωσσικές μεταβλητές. Μια γλωσσική μεταβλητή μπορεί να θεωρηθεί είτε ως μια μεταβλητή της οποίας η τιμή είναι ένας ασαφής αριθμός είτε ως μια μεταβλητή της οποίας οι τιμές ορίζονται με γλωσσικούς όρους.

Ορισμός 3.4: Μια γλωσσική μεταβλητή χαρακτηρίζεται από μια διάταξη στοιχείων (ένα πενταπλούν):

$$(x, T(x), U, G, M)$$

Στην οποία:

- X είναι το όνομα της μεταβλητής.
- T(x) είναι το σύνολο των όρων της x, δηλαδή, το σύνολο των ονομάτων των γλωσσικών τιμών της x, όπου κάθε τιμή είναι ένας ασαφής αριθμός που ορίζεται στο U.
- G είναι ένας συντακτικός κανόνας για την δημιουργία των ονομάτων των τιμών της x.
- M είναι ένας εννοιολογικός κανόνας που συσχετίζει την κάθε τιμή με την σημασία της.

Σε πολλές πρακτικές εφαρμογές κανονικοποιούμε το σύνολο ορισμού των εισόδων και χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο τύπο ασαφούς διαχωρισμού του χώρου για το διάστημα [-1, 1] σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.1: Πιθανός Ασαφής Διαχωρισμός του Διαστήματος [-1, 1] με γλωσσικές μεταβλητές

Διάστημα [-1, 0)		Διάστημα (0, 1)	
NB	Negative Big	ZE	Zero
NM	Negative Medium	PS	Positive Small
NS	Negative Small	PM	Positive Medium
ZE	Zero	PB	Positive Big

3.2.6. Μηχανισμοί Ασαφούς Συμπερασμού

Σε έναν ασαφή ελεγκτή έχει δημιουργηθεί, έστω, $\mathfrak{R} = (\mathfrak{R}_1, \dots, \mathfrak{R}_n)$ βάση κανόνων με κανόνες της μορφής

$$\begin{array}{l} \mathfrak{R}_1 \quad \text{Εάν } x \text{ είναι } A_1 \text{ και } y B_1 \text{ τότε } z \text{ είναι } C_1 \\ \mathfrak{R}_2 \quad \text{Εάν } x \text{ είναι } A_2 \text{ και } y B_2 \text{ τότε } z \text{ είναι } C_2 \\ \vdots \\ \mathfrak{R}_n \quad \text{Εάν } x \text{ είναι } A_n \text{ και } y B_n \text{ τότε } z \text{ είναι } C_n \\ \\ x \text{ είναι } x_0^- \text{ και το } y \text{ είναι } y_0^- \\ \hline z \text{ είναι } C \end{array}$$

Ο i -οστός ασαφής κανόνας από την βάση κανόνων

$$\mathfrak{R}_i \quad \text{Εάν } x \text{ είναι } A_i \text{ και } y B_i \text{ τότε } z \text{ είναι } C_i$$

υλοποιείται από μία ασαφή συνεπαγωγή R_i και ορίζεται ως:

$$R_i = (u, v, w) = (A_i \times B_i \rightarrow C_i)(u, w) = [A_i(u) \wedge B_i(v)] \rightarrow C_i(w)$$

Για $i = 1, \dots, n$

Στόχος είναι να βρεθεί το C από την είσοδο x_0 και από την βάση κανόνων $\mathfrak{R} = (\mathfrak{R}_1, \dots, \mathfrak{R}_n)$ αφού γίνει η ερμηνεία των όρων:

- Λογικής Σύνδεσης «και»
- Συνδέσμου προτάσεων «επίσης»
- Τελεστής Συνεπαγωγής «τότε»
- Συνθετικού τελεστή «ο»

Αρχικά συνθέτετε το $x_0^- \times y_0^-$ με κάθε R_i δημιουργώντας ενδιάμεσα αποτελέσματα

$$C_i' = x_0^- \times y_0^- \circ R_i \text{ για } i = 1, \dots, n$$

Η C_i' καλείται έξοδος του i -οστού κανόνα

$$C'_i(w) = [A_i(x_0) \wedge B_i(y_0)] \rightarrow C_i(w) \text{ για κάθε } w.$$

Στην συνέχεια ενσωματώνεται το στοιχείο C'_i μέσα στο γενικό C' , με κάποιον τελεστή συνάθροισης:

$$C = \bigcup_{i=1}^n C'_i = x_0^- \times y_0^- \circ R_1 \cup \dots \cup x_0^- \times y_0^- \circ R_n$$

άρα

$$C(w) = A_1(x_0) \times B_1(y_0) \rightarrow C_1(w) \vee \dots \vee A_n(x_0) \times B_n(y_0) \rightarrow C_n(w)$$

Έτσι η συνολική έξοδος του συστήματος δίνεται από

$$C = C'_1 \cup \dots \cup C'_i \cup \dots \cup C'_n$$

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετοί γνωστοί μηχανισμοί ασαφών ελεγκτών μερικοί από τους οποίους συμπεριλαμβάνονται σε αυτά που έχουν αναφερθεί μέχρι στιγμής. Για απλότητα στην μελέτη του μηχανισμού συμπερασμού υποθέτουμε ότι έχουμε δύο κανόνες της μορφής:

- R_1 : EAN x είναι A_1 ΚΑΙ y είναι B_1 ΤΟΤΕ w είναι C_1
- R_2 : EAN x είναι A_2 ΚΑΙ y είναι B_2 ΤΟΤΕ w είναι C_2

Επίσης θεωρούμε ότι έχουμε σαν εισόδους στον ελεγκτή $x = x_0$ και $y = y_0$. Ο στόχος είναι να βρεθεί η αριθμητική έξοδος w.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται μερικοί από τους πιο γνωστούς μηχανισμούς συμπερασμού στα ασαφή συστήματα.

3.2.6.1. Μηχανισμός Ασαφούς Συμπερασμού Mamdani

Η ασαφής συνεπαγωγή Mamdani μοντελοποιείται από τον τελεστή ελαχίστου «min» του Mamdani και το συνδυαστικό των προτάσεων «επίσης» ερμηνεύεται ως η διάζευξη «or» των προτάσεων και ορίζεται από τον τελεστή του μεγίστου «max». Στον πίνακα 3.2 συνοψίζεται ο μηχανισμός ασαφούς συμπερασμού του Mamdani.

Πίνακας 3.2.: Μηχανισμός ασαφούς συμπερασμού του Mamdani

Ασαφοποίηση	Ασαφές Σημείο
Τελεστής "ΚΑΙ"	Min
Τελεστής "OR"	Max
Τελεστής συνεπαγωγής	Mamdani (min)
Τελεστής σύνθεσης	max-min
Αποασαφοποίηση	Οτιδήποτε

Με βάση τα παραπάνω, τα επίπεδα ενεργοποίησης των κανόνων συμβολίζονται ως α_i και υπολογίζεται ως εξής:

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0)$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)$$

Οι έξοδοι κάθε κανόνα προκύπτουν από:

$$C'_1(w) = (\alpha_1 \wedge C_1(w))$$

$$C'_2(w) = (\alpha_2 \wedge C_2(w))$$

Και η συνολική έξοδος του συστήματος προκύπτει εφαρμόζοντας τον τελεστή «or» μεταξύ των εξόδων των κανόνων:

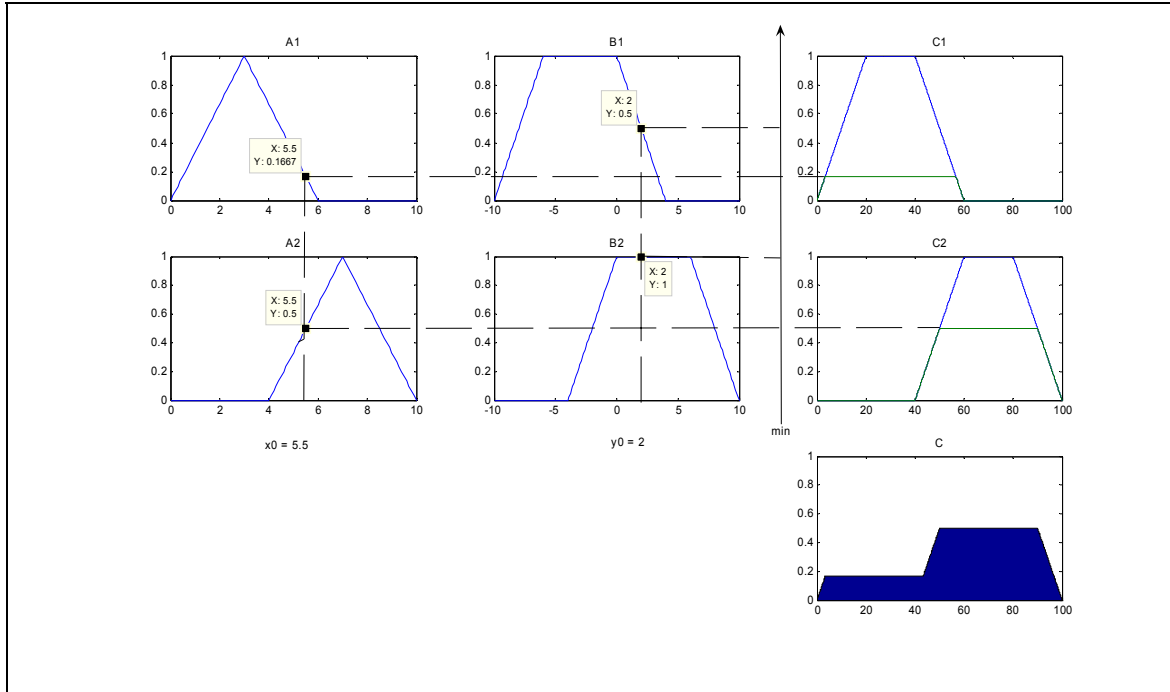
$$C(w) = C'_1(w) \vee C'_2(w) = (\alpha_1 \wedge C_1(w)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(w))$$

Τέλος, για να προκύψει η συγκεκριμένη ενέργεια ελέγχου εφαρμόζεται οποιαδήποτε από της τεχνικές της από-ασαφοποίησης.

Η εφαρμογή του ασαφούς μηχανισμού του Mamdani με χρήση της γραμμής εντολής του MatLab γίνεται με τις ακόλουθες εντολές και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.1.

```
clear all
x0=5.5;
y0=2;
%
x=0:0.1:10;
A1=trimf(x,[0,3,6]);
A2=trimf(x,[4,7,10]);
%
y=-10:0.1:10;
B1=trapmf(y,[-10,-6,0,4]);
B2=trapmf(y,[-4,0,6,10]);
%
z=0:0.1:100;
C1=trapmf(z,[0,20,40,60]);
C2=trapmf(z,[40,60,80,100]);
%
energ1=min(A1(find(x==x0)),B1(find(y==y0)));
energ2=min(A2(find(x==x0)),B2(find(y==y0)));
%
C1dot=min(energ1,C1);
C2dot=min(energ2,C2);
Cdot=max(C1dot,C2dot);
%
subplot(3,3,1);plot(x,A1);
subplot(3,3,2);plot(y,B1);
subplot(3,3,3);plot(z,C1,z,C1dot);
subplot(3,3,4);plot(x,A2);
subplot(3,3,5);plot(y,B2);
subplot(3,3,6);plot(z,C2,z,C2dot);
```

```
subplot(3,3,6);plot(z,C2,z,C2dot);
subplot(3,3,9);area(z,Cdot);axis([0,100,0,1]);
```



Διάγραμμα 3.1.: Μηχανισμός ασαφούς συμπερασμού του Mamdani – εφαρμογή με MatLab

3.2.6.2. Μηχανισμός Ασαφούς Συμπερασμού Tsukamoto

Ο μηχανισμός ασαφούς συμπερασμού του Tsukamoto θεωρεί ότι όλοι οι γλωσσικοί όροι έχουν μονότονες συναρτήσεις συμμετοχής. Τα επίπεδα ενεργοποίησης των κανόνων συμβολίζονται ως α_i και υπολογίζεται ως εξής:

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0)$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)$$

Σε αυτή την μέθοδο, οι συγκεκριμένες ενέργειες ελέγχου w_1 και w_2 υπολογίζονται από τις εξισώσεις:

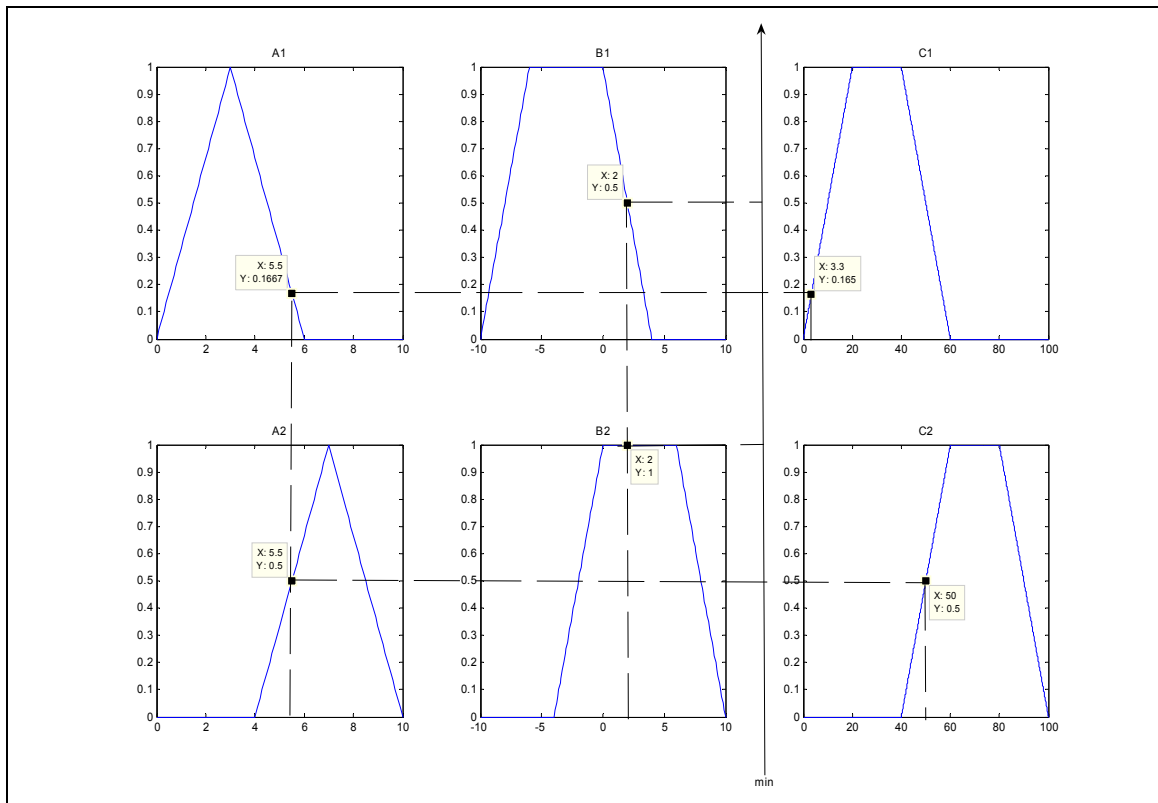
$$\alpha_1 = C_1(w_1)$$

$$\alpha_2 = C_2(w_2)$$

Και η συνολική ενέργεια ελέγχου υπολογίζεται από την διακριτική μέθοδο του κέντρου βάρους και εκφράζεται ως:

$$Z_0 = \frac{\alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Η εφαρμογή του ασαφούς μηχανισμού του Tsukamoto με χρήση της γραμμής εντολής του MatLab γίνεται με τις ακόλουθες εντολές και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.2.



Διάγραμμα 3.2.: Μηχανισμός ασαφούς συμπερασμού του Tsukamoto – εφαρμογή με MatLab

Η συνολική ενέργεια του συστήματος είναι:

$$Z_0 = \frac{\alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = \frac{(0.1667)(3.3) + (0.5)(50)}{(0.1667)(0.5)} = 38.32$$

```

clear all
x0=5.5;
y0=2;
%
x=0:0.1:10;
A1=trimf(x,[0,3,6]);
A2=trimf(x,[4,7,10]);
%
y=-10:0.1:10;
B1=trapmf(y,[-10,-6,0,4]);
B2=trapmf(y,[-4,0,6,10]);
%
z=0:0.1:100;
C1=trapmf(z,[0,20,40,60]);
C2=trapmf(z,[40,60,80,100]);
%
energ1=min(A1(find(x==x0)),B1(find(y==y0)))
energ2=min(A2(find(x==x0)),B2(find(y==y0)))
%
z1=z(find(C1<energ1+0.001&C1>energ1-0.001,1))
z2=z(find(C2<energ2+0.001&C2>energ2-0.001,1))
%
subplot(2,3,1);plot(x,A1)
subplot(2,3,2);plot(y,B1)
subplot(2,3,3);plot(z,C1)
subplot(2,3,4);plot(x,A2)
subplot(2,3,5);plot(y,B2)
subplot(2,3,6);plot(z,C2)

```

3.2.6.3. Μηχανισμός Ασαφούς Συμπερασμού Larsen

Η ασαφής συνεπαγωγή Larsen μοντελοποιείται από τον τελεστή γινομένου του Larsen και το συνδετικό των προτάσεων «επίσης» ερμηνεύεται ως η διάζευξη «or» των προτάσεων και ορίζεται από τον τελεστή του μεγίστου «max». Στον πίνακα 3.3 συνοψίζεται ο μηχανισμός ασαφούς συμπερασμού του Larsen.

Πίνακας 3.3.: Μηχανισμός ασαφούς συμπερασμού του Larsen

Ασαφοποίηση	Ασαφές Σημείο
Τελεστής "ΚΑΙ"	Min
Τελεστής "OR"	Max
Τελεστής συνεπαγωγής	Larsen (γινόμενο)
Τελεστής σύνθεσης	max-min
Αποασαφοποίηση	Οτιδήποτε

Με βάση τα παραπάνω, τα επίπεδα ενεργοποίησης των κανόνων συμβολίζονται ως α_i και υπολογίζεται ως εξής:

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0)$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)$$

Τότε η συνάρτηση συμμετοχής του συνεπαγόμενου συμπεράσματος C δίνεται ως:

$$C(w) = (\alpha_1 C_1(w)) \vee (\alpha_2 C_2(w))$$

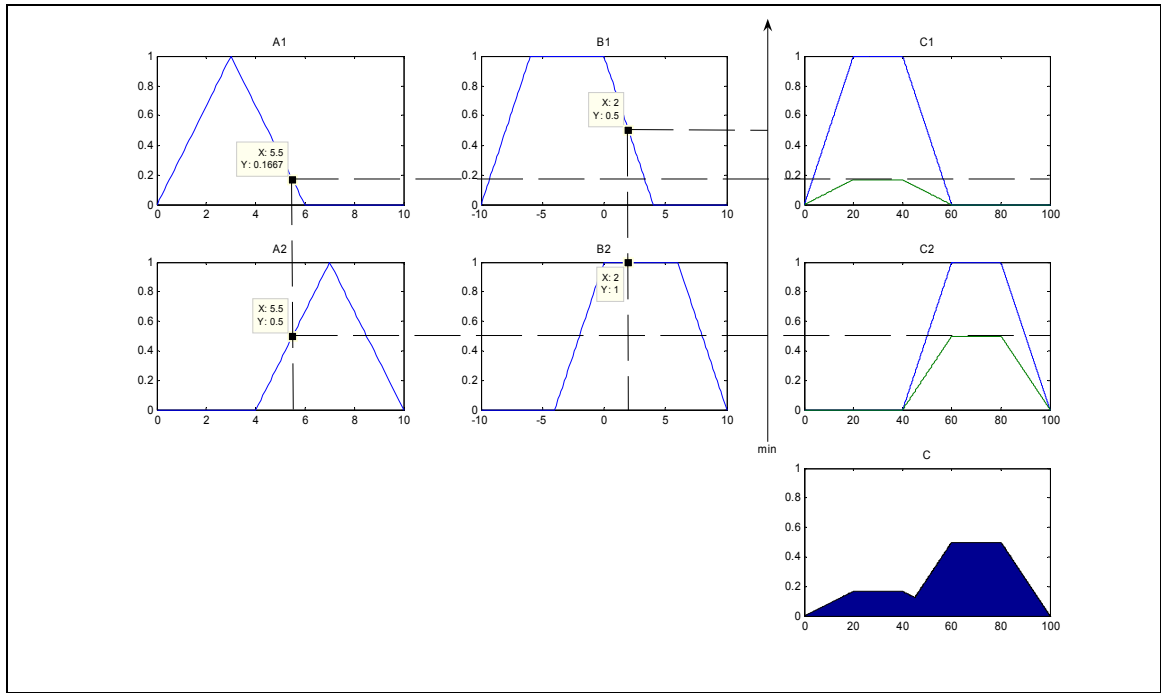
Τέλος, για να προκύψει η συγκεκριμένη ενέργεια ελέγχου εφαρμόζεται οποιαδήποτε από της τεχνικές της από-ασαφοποίησης.

Η εφαρμογή του ασαφούς μηχανισμού του Larsen με χρήση της γραμμής εντολής του MatLab γίνεται με τις ακόλουθες εντολές και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.3.

```

clear all
x0=5.5;
y0=2;
%
x=0:0.1:10;
A1=trimf(x,[0,3,6]);
A2=trimf(x,[4,7,10]);
%
y=-10:0.1:10;
B1=trapmf(y,[-10,-6,0,4]);
B2=trapmf(y,[-4,0,6,10]);
%
z=0:0.1:100;
C1=trapmf(z,[0,20,40,60]);
C2=trapmf(z,[40,60,80,100]);
%
energ1=min(A1(find(x==x0)),B1(find(y==y0)));
energ2=min(A2(find(x==x0)),B2(find(y==y0)));
%
C1dot=energ1*C1;
C2dot=energ2*C2;
Cdot=max(C1dot,C2dot);
%
subplot(3,3,1);plot(x,A1);
subplot(3,3,2);plot(y,B1);
subplot(3,3,3);plot(z,C1,z,C1dot);
subplot(3,3,4);plot(x,A2);
subplot(3,3,5);plot(y,B2);
subplot(3,3,6);plot(z,C2,z,C2dot);
subplot(3,3,6);plot(z,C2,z,C2dot);
subplot(3,3,9);area(z,Cdot);axis([0,100,0,1]);

```



Διάγραμμα 3.3.: Μηχανισμός ασαφούς συμπερασμού του Larsen – εφαρμογή με MatLab

3.2.6.4. Μηχανισμός Ασαφούς Συμπερασμού Sugeno

Οι Sugeno και Takagi χρησιμοποιούν την παρακάτω αρχιτεκτονική:

- R_1 : ΕΑΝ x είναι A_1 ΚΑΙ y είναι B_1 ΤΟΤΕ $z_1 = \alpha_1 x + b_1 y$
- R_2 : ΕΑΝ x είναι A_2 ΚΑΙ y είναι B_2 ΤΟΤΕ $z_2 = \alpha_2 x + b_2 y$

Τα επίπεδα ενεργοποίησης των κανόνων συμβολίζονται ως α_i και υπολογίζεται ως εξής:

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0)$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)$$

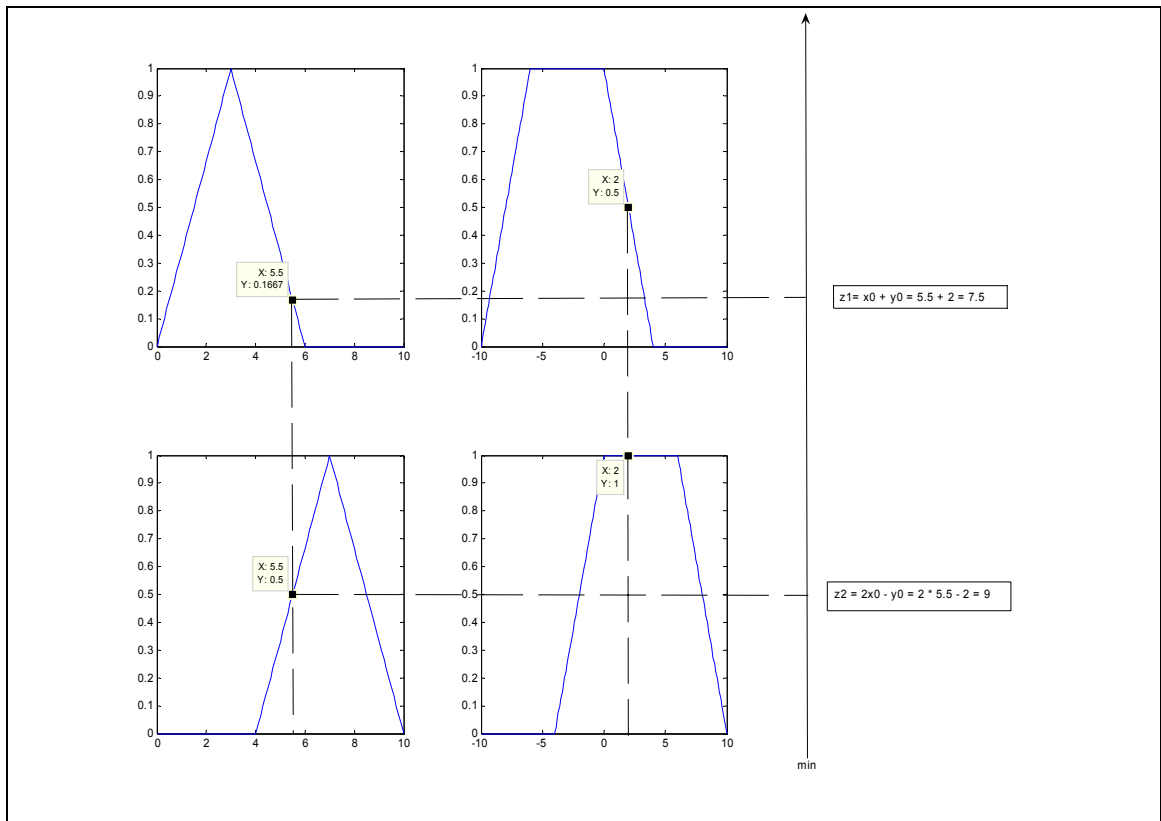
Και η συνολική ενέργεια ελέγχου υπολογίζεται από την διακριτική μέθοδο του κέντρου βάρους και εκφράζεται ως:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα με χρήση της γραμμής εντολών του MatLab και χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$z_1 = x + y$$

$$z_2 = 2x - y$$



Διάγραμμα 3.4.: Μηχανισμός ασαφούς συμπερασμού του Sugeno – εφαρμογή με MatLab

Και η συνολική ενέργεια ελέγχου υπολογίζεται ως:

$$z_0 = \frac{(0.1667)(7.5) + (0.5)(9)}{(0.1667) + (0.5)} = 8.62$$

3.2.6.5. Απλοποιημένος Μηχανισμός Ασαφούς Συμπερασμού

Στον απλοποιημένο μηχανισμό ασαφούς συμπερασμού χρησιμοποιείται η παρακάτω αρχιτεκτονική:

- $R_1 : \text{ΕΑΝ } x \text{ είναι } A_1 \text{ ΚΑΙ } y \text{ είναι } B_1 \text{ ΤΟΤΕ } C_1 \in \mathfrak{R}$
- $R_2 : \text{ΕΑΝ } x \text{ είναι } A_2 \text{ ΚΑΙ } y \text{ είναι } B_2 \text{ ΤΟΤΕ } C_2 \in \mathfrak{R}$

Τα επίπεδα ενεργοποίησης των κανόνων συμβολίζονται ως α_i και υπολογίζεται ως εξής:

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0)$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)$$

Και η συνολική ενέργεια ελέγχου υπολογίζεται από την διακριτική μέθοδο του κέντρου βάρους και εκφράζεται ως:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 c_1 + \alpha_2 c_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

3.2.7. Μηχανισμοί Από-Ασαφοποίησης

Για να προκύψει τελικά μια σαφής ενέργεια ελέγχου πρέπει στο ασαφές σύνολο C να εφαρμοστεί μια από τις παρακάτω τεχνικές απο-ασαφοποίησης.

- Κέντρου βάρους (**Center of area - Centroid**).

Η έξοδος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$z_0 = \frac{\sum z_i C(z_i)}{\sum C(z_i)}$$

στην διακριτή και

$$z_0 = \frac{\int z_i C(z_i)}{\int C(z_i)}$$

στην συνεχή περίπτωση.

- Από-ασαφοποίηση μικρότερου των μεγίστων (**Smallest of maxima - SOM**). Είναι το μικρότερο σε απόλυτη τιμή από τα y_i που έχουν την μέγιστη τιμή συμμετοχής στο C.
- Από-ασαφοποίηση μεγαλύτερου των μεγίστων (**Largest of maxima - LOM**). Είναι το μεγαλύτερο σε απόλυτη τιμή από τα y_i που έχουν την μέγιστη τιμή συμμετοχής στο C.
- Από-ασαφοποίηση μέσου των μεγίστων (**Middle of maxima - MOM**). Είναι ο μέσος όρος όλων των στοιχείων y_i $i = 1, \dots, n$ που παίρνουν την μέγιστη τιμή στο C.

Η από-ασαφοποίηση στο MatLab γίνεται με την εντολή:

Defuzz(μεταβλητή, ασαφής αριθμός, μέθοδος από-ασαφοποίησης)

Στον παρακάτω πίνακα 3.4 παρουσιάζονται οι εντολές ανάλογα με την μέθοδο από-ασαφοποίησης

Πίνακας 3.4.: Μέθοδος από-ασαφοποίησης – εντολή στο MatLab

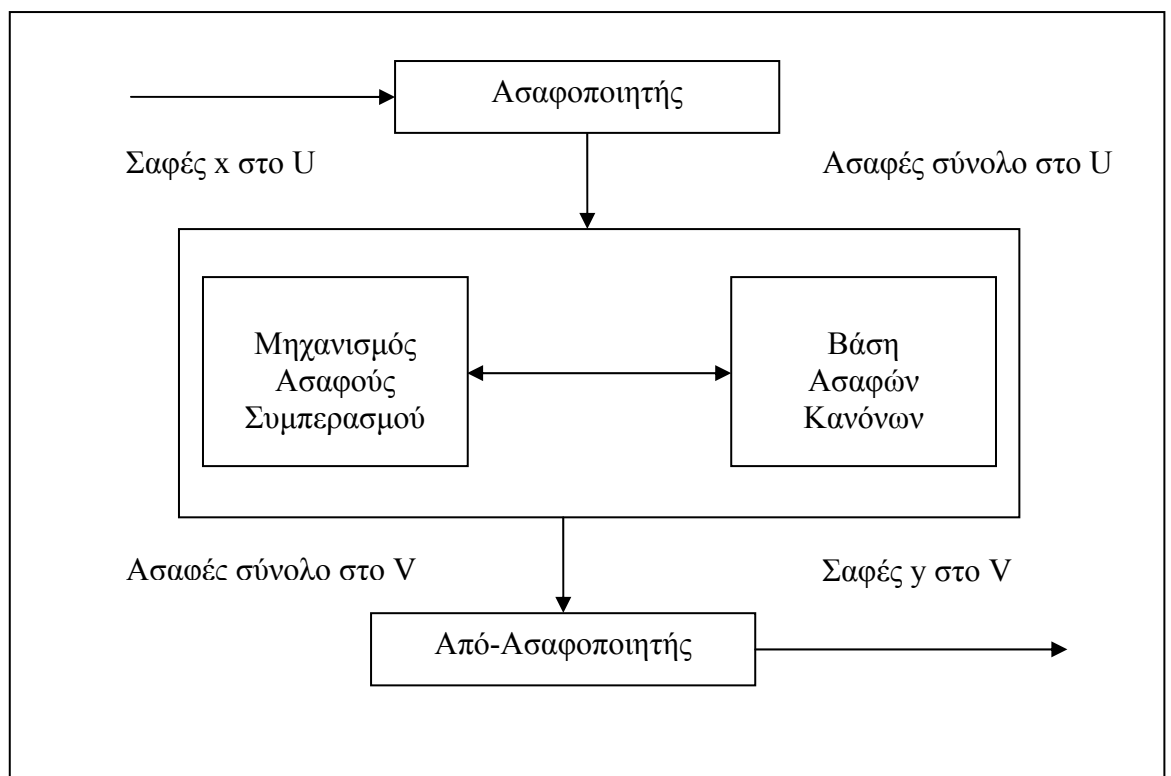
Μέθοδος Από-ασαφοποίησης	Εντολή στο MatLab
Κέντρου Βάρους	Centroid
Μικρότερου των Μεγίστων	som
Μεγαλύτερου των Μεγίστων	lom
Μέσος Όρος των Μεγίστων	mom

3.3. Ασαφής Ελεγκτές

Τα συστήματα ελέγχου ασαφής λογικής συνήθως αποτελούνται από τέσσερα σημαντικά μέρη:

- Τον μηχανισμό ασαφοποίησης,
- Την ασαφής βάση κανόνων,
- Τον μηχανισμό ασαφούς συμπερασμού,
- Τον μηχανισμό από-ασαφοποίησης.

Στο παρακάτω σχήμα 3.2 παρουσιάζονται τα βασικά μέρη ενός ασαφούς ελεγκτή.



Σχήμα 3.3.: Τα βασικά μέρη ενός ασαφούς ελεγκτή.

Η σχεδίαση ενός ασαφούς ελεγκτή εντοπίζεται κυρίως στην εύρεση κατάλληλων κανόνων, έτσι ώστε το κλειστό σύστημα να ικανοποιεί κάποιες δεδομένες προϋποθέσεις.

Δυστυχώς στην θεωρία των ασαφών ελεγκτών δεν υπάρχουν συγκεκριμένες διαδικασίες έτσι ώστε να σχεδιαστεί ένας τέτοιος ελεγκτής, σε αντίθεση με την γραμμική θεωρία αυτομάτου ελέγχου όπου υπάρχουν τεχνικές όπως ο γεωμετρικός τόπος ριζών, τα διαγράμματα Nyquist κλπ. Το πρόβλημα είναι ότι η σχέση εισόδου εξόδου του ελεγκτή είναι μη γραμμική και πολύ δύσκολη να περιγραφεί μαθηματικά.

Παρόλα αυτά δημιουργήθηκαν κάποια test με σκοπό να δείχνουν αν μια βάση κανόνων πληρεί κάποια βασικά κριτήρια, όπως αν είναι πλήρης κλπ. 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;

Τα παραπάνω κριτήρια φαίνονται απολύτως λογικά. Στις επόμενες σελίδες θα προσπαθήσουμε να τα ορίσουμε μαθηματικά. Θα επικεντρωθούμε σε διακριτούς ασαφείς ελεγκτές, αξίζει όμως να σημειωθεί ότι τα κριτήρια γενικεύονται και σε συνεχείς ελεγκτές.

3.3.1. Πληρότητα

Σε μια πλήρης βάση κανόνων οποιαδήποτε τιμή εισόδου παράγει κάποιο μη μηδενικό ασαφές σύνολο σαν έξοδο. Μια βάση κανόνων είναι μη πλήρης αν υπάρχει κάποιος συνδυασμός τιμών των εισόδων ο οποίος παράγει πριν της από-ασαφοποίησης μηδενικό ασαφές σύνολο, δηλαδή ένα ασαφές σύνολο όπου όλα τα στοιχεία του έχουν συμμετοχή 0. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί αν:

- Ένας ή περισσότεροι κανόνες λείπουν.
- Οι ασαφείς συναρτήσεις συμμετοχής που ορίζονται στα ίδια σύνολα δεν επικαλύπτονται.

Ενώ η δεύτερη περίπτωση είναι εύκολο να ελεγχθεί, η πρώτη είναι αρκετά δύσκολη, ειδικά αν η βάση κανόνων είναι μεγάλη και πολύπλοκη.

Έστω ότι η βάση κανόνων είναι μη πλήρης και σαν από-ασαφοποιητής έχει επιλεγθεί ο από-ασαφοποιητής κέντρου βάρους. Τότε για συγκεκριμένους συνδυασμούς εισόδων το αποτέλεσμα θα είναι ένα μηδενικό ασαφές σύνολο B' . Ο από-ασαφοποιητής κέντρου βάρους για ένα ασαφές σύνολο θα έχει παρονομαστή το άθροισμα των συμμετοχών του B δηλαδή το 0, και κατά συνέπεια το πρόγραμμα θα βγάλει λάθος "διαίρεση με το 0".

Ορισμός 3.5 (Κριτήριο πληρότητας): Για κάθε συνδυασμό εισόδων πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένας κανόνας με τιμή ενεργοποίησης $a > \epsilon$ όπου $\epsilon \in (0, 1)$.

Το ϵ επιλέγεται κάθε φορά ανάλογα με την εφαρμογή.

Ορισμός 3.6: Το σύνολο I των εισόδων στον ασαφή ελεγκτή ορίζεται για έναν ελεγκτή ως: αν ο ελεγκτής έχει n των αριθμό εισόδου τότε το I είναι το καρτεσιανό γινόμενο όλων των εισόδων, δηλαδή όλοι οι συνδυασμοί των εισόδων που παράγουν έναν n -διάστατο πίνακα.

3.3.2. Συνέπεια

Αν το ασαφές σύνολο που προκύπτει πριν την από-ασαφοποίηση έχει πολλές κορυφές τότε η βάση κανόνων είναι ασυνεπής. Αυτό σημαίνει ότι οι κανόνες δείχνουν σε διαφορετικές "πλευρές" του σήματος εξόδου ταυτόχρονα. Τέτοιες αντιφάσεις συμβαίνουν στον έλεγχο γιατί μερικές φορές οι περιορισμοί στην σχεδίαση είναι οι ίδιοι αντιφατικοί. Ένα θετικό σημείο του ασαφούς ελέγχου είναι ότι μπορεί να αντιμετωπίσει επιτυχώς τέτοιες καταστάσεις, αλλά γενικά είναι επιθυμητό αν υπάρχει τέτοια ασυνέπεια στους κανόνες είναι καλό να ανακαλύπτεται.

Δύο κανόνες θα λέμε ότι είναι σε αντίφαση αν οι αριστερές τους πλευρές μοιάζουν και ταυτόχρονα οι δεξιές τους πλευρές διαφέρουν. Η ισοδύναμη δυο κανόνες είναι συνεπείς μεταξύ τους αν μια μικρή διαφορά ανάμεσα στα δεξιά μέρη των κανόνων υποδηλώνει μικρή διαφορά μεταξύ των αριστερών τους πλευρών.

3.3.3. Πλεονασμός

Ένας κανόνας θα λέμε ότι είναι πλεονάζων αν η πληροφορία που περιέχει συμπεριλαμβάνεται στους άλλους κανόνες της βάσης. Π.χ. πλεονασμός στη βάση των κανόνων

υπάρχει αν βάλεις τον ίδιο κανόνα δύο φορές, ή αν τα ασαφή σύνολα ενός κανόνα, είναι υποσύνολα των ασαφών συνόλων ενός άλλου κανόνα. Γενικά θέλουμε να μην υπάρχει πλεονασμός, πρώτα για λόγους οικονομίας μνήμης και υπολογιστικής ισχύς όσο και για λόγους συνοχής.

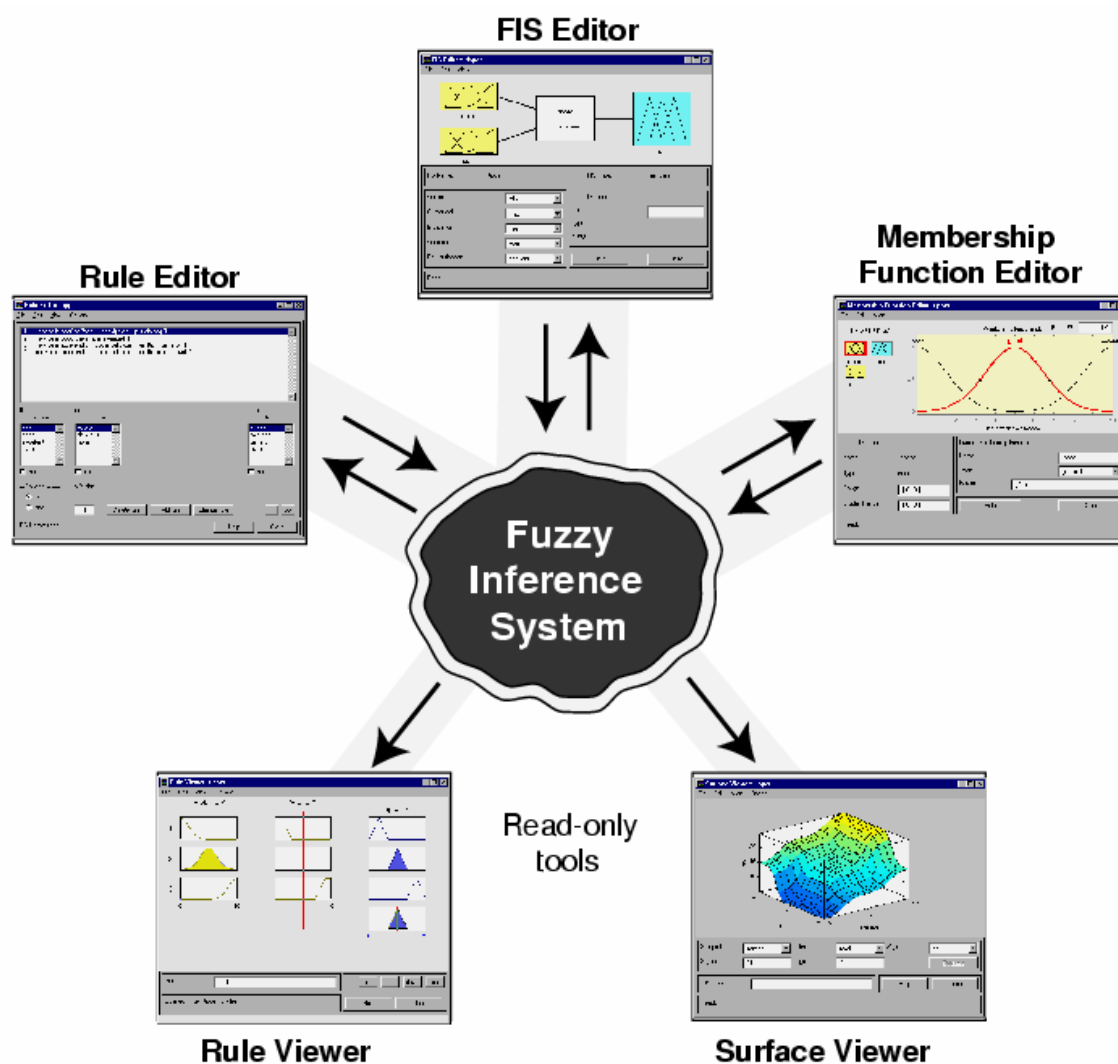
Αν R_i είναι οι πίνακες αλήθειας των κανόνων τότε ο i κανόνας είναι πλεονάζων αν και μόνο αν όλα τα στοιχεία του R_i είναι μικρότερα από αυτά του πίνακα που προκύπτει από την ένωση των πινάκων αλήθειας όλων των υπόλοιπων κανόνων.

3.3.4. Αλληλεπίδραση

Η ουσία της αλληλεπίδρασης είναι όταν ο βαθμός ενεργοποίησης ενός κανόνα είναι 1 αλλά το ασαφές σύνολο που προκύπτει είναι διαφορετικό από αυτό της εξόδου του κανόνα εξαιτίας της επίδρασης των άλλων κανόνων στο αποτέλεσμα. Η αλληλεπίδραση όπως αυτή ορίστηκε πιο πάνω, συμβαίνει εξαιτίας της επικάλυψης των ασαφών συνόλων στην αριστερή πλευρά των κανόνων. Αν όλα τα ασαφή σύνολα είναι ξένα μεταξύ τους τότε δεν υπάρχει καθόλου αλληλεπίδραση μεταξύ των κανόνων.

3.4. Το Fuzzy Toolbox του MatLab [24]

Με την εντολή `fuzzy` του MatLab ανοίγουμε τον *FIS Editor* που μας επιτρέπει να σχεδιάσουμε έναν ασαφή ελεγκτή χρησιμοποιώντας γραφικό περιβάλλον (Graphical User Interface). Στο παρακάτω σχήμα 3.3 παρουσιάζεται η φιλοσοφία λειτουργίας του Fuzzy Toolbox όπως αυτή περιγράφεται στην βοήθεια του Mat Lab.



Σχήμα 3.4.: Τα βασικά μέρη του Fuzzy Toolbox του MatLab.

Τα κύρια παράθυρα διαλόγου του Fuzzy Toolbox για τον προγραμματισμό λειτουργίας του ασαφή ελεγκτή είναι:

- Ο FIS Editor
- Ο Membership Function Editor
- Ο Rule Editor

Επίσης υπάρχουν και τα παρακάτω παράθυρα ελέγχου καλής λειτουργίας και παρακολούθησης του ελεγκτή:

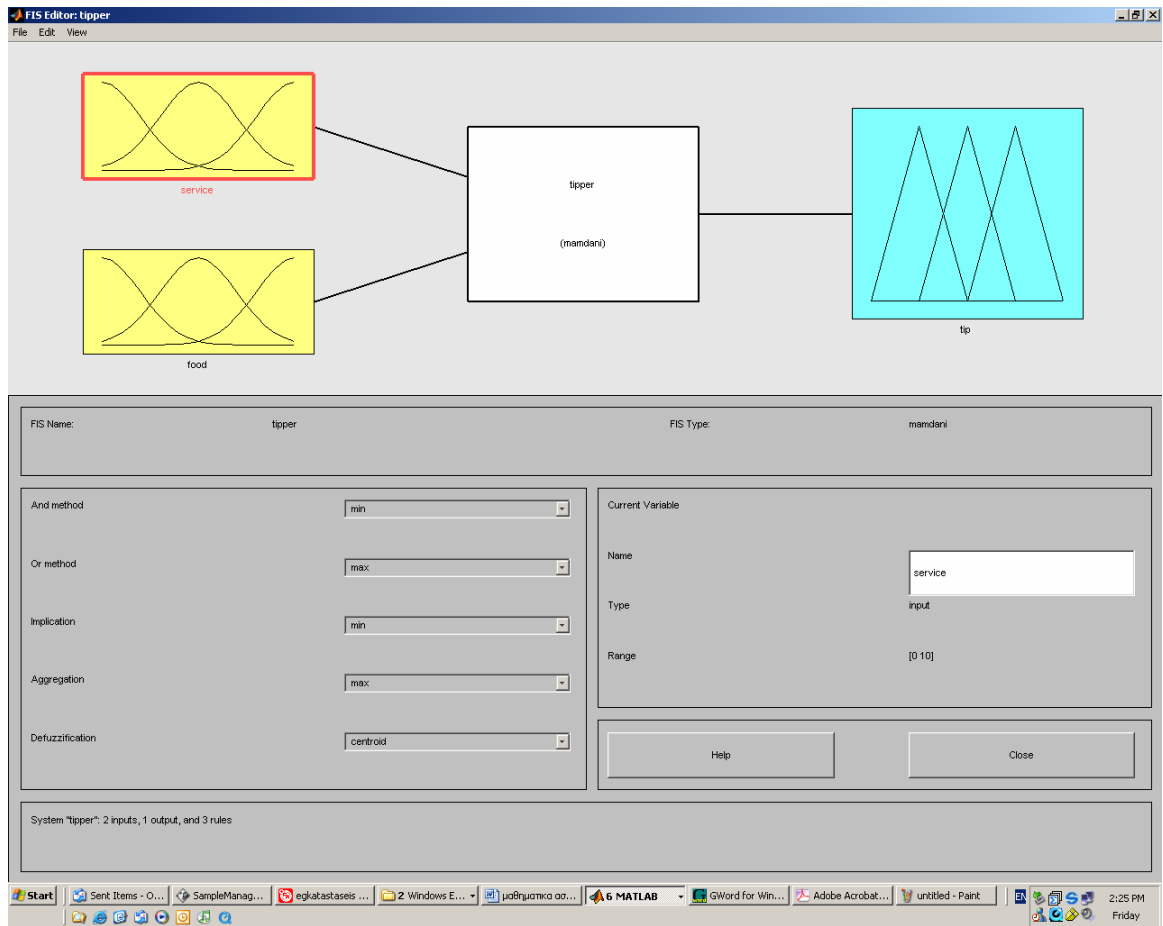
- Rule Viewer
- Surface Viewer

3.4.1. Ο FIS Editor

Το πρώτο παράθυρο του Fuzzy Toolbox είναι ο FIS editor, σχήμα 3.4. Εδώ ο χρήστης εισάγει τον συνολικό αριθμό των ασαφών μεταβλητών εισόδου (κίτρινο πλαίσιο) και των συνολικών μεταβλητών εξόδου (γαλάζιο πλαίσιο). Στα πτυσσόμενα μενού που εμφανίζονται στα αριστερά του παραθύρου διαλόγου, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει:

- τους μηχανισμούς των ασαφών πράξεων
- των μηχανισμών ασαφούς συνεπαγωγής και
- την μέθοδο από-ασαφοποίησης.

Με διπλό κλικ στα πλαίσια των δεδομένων εισόδου ή εξόδου ο χρήστης μεταφέρεται στον Membership Function Editor, ενώ με διπλό κλικ στο μεσαίο πλαίσιο εμφανίζεται ο Rule Editor.

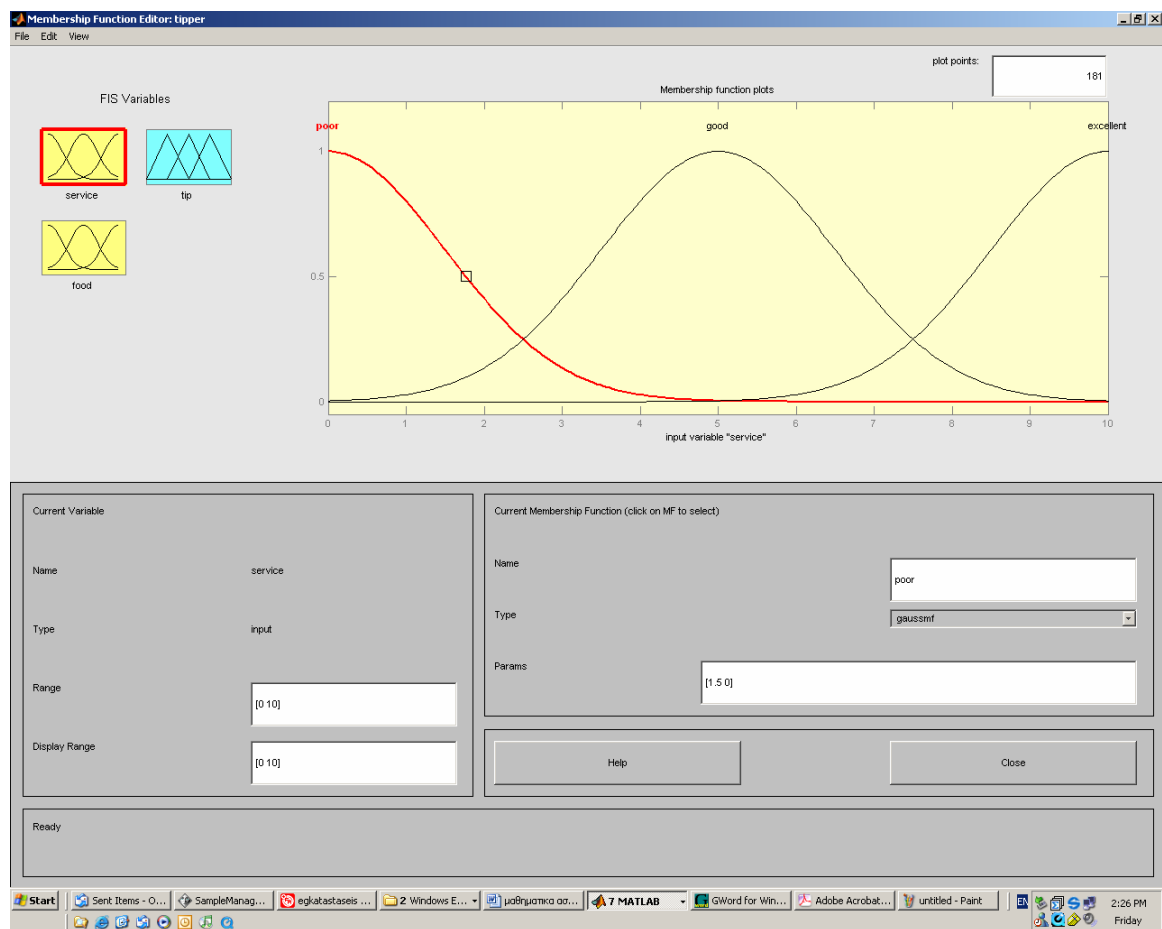


Σχήμα 3.5.: Ο Fis editor του Fuzzy Toolbox του MatLab.

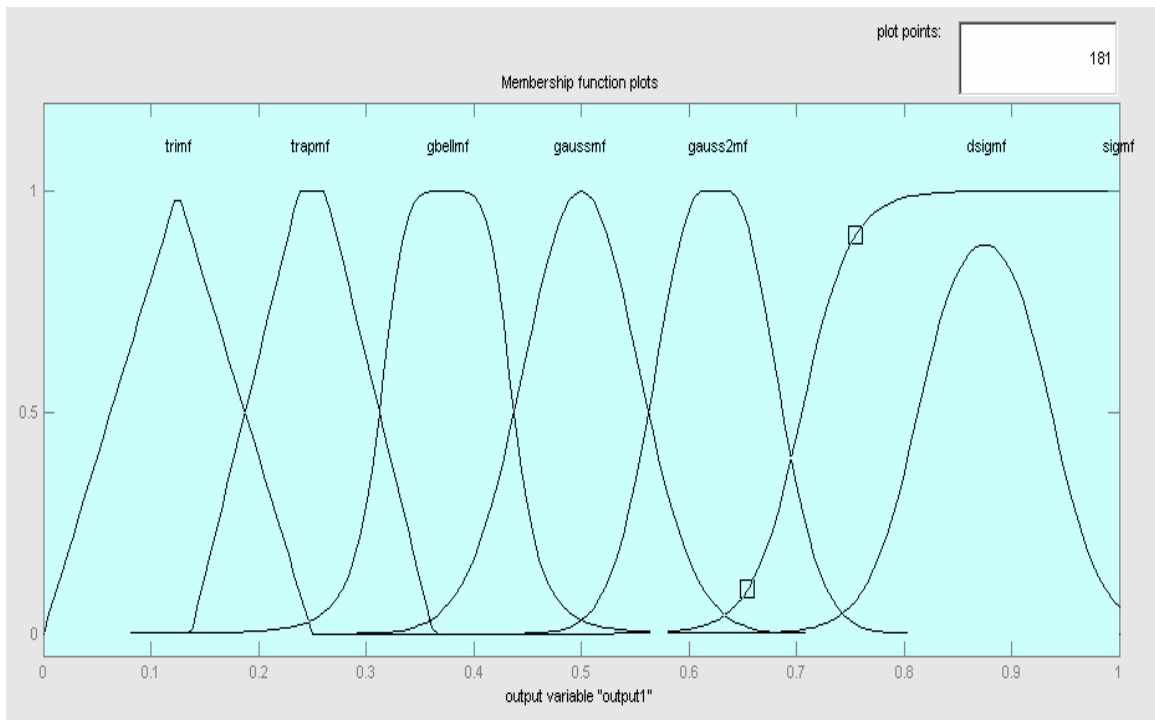
3.4.2. Ο Membership Function Editor

Σε αυτό το παράθυρο διαλόγου, ο χρήστης εισάγει τους τύπους των ασαφών αριθμών που αποτελούν τα ασαφή σύνολα εισόδου και εξόδου.

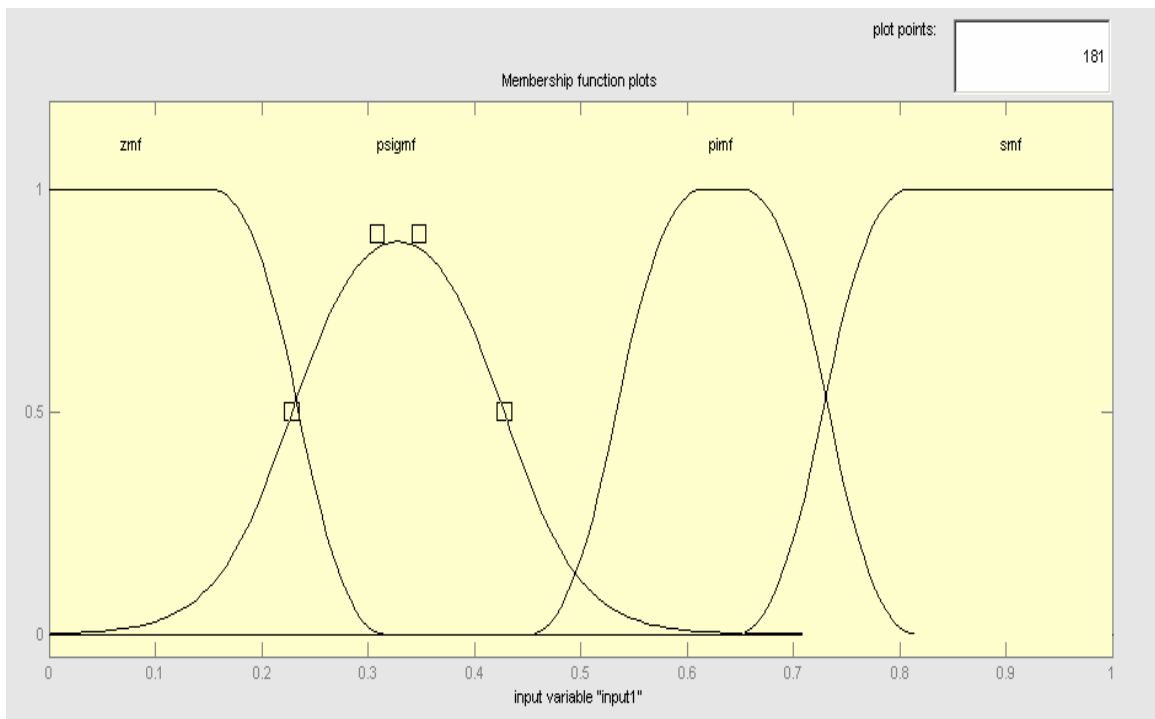
Στο σχήμα 3.5 φαίνεται το παράθυρο διαλόγου του Membership Function Editor και στα σχήματα 3.6 και 3.7 παρουσιάζονται οι επιλογές των ασαφών αριθμών που εμπεριέχονται στον Membership Function Editor.



Σχήμα 3.6.: Ο Membership Function Editor του Fuzzy Toolbox του MatLab.



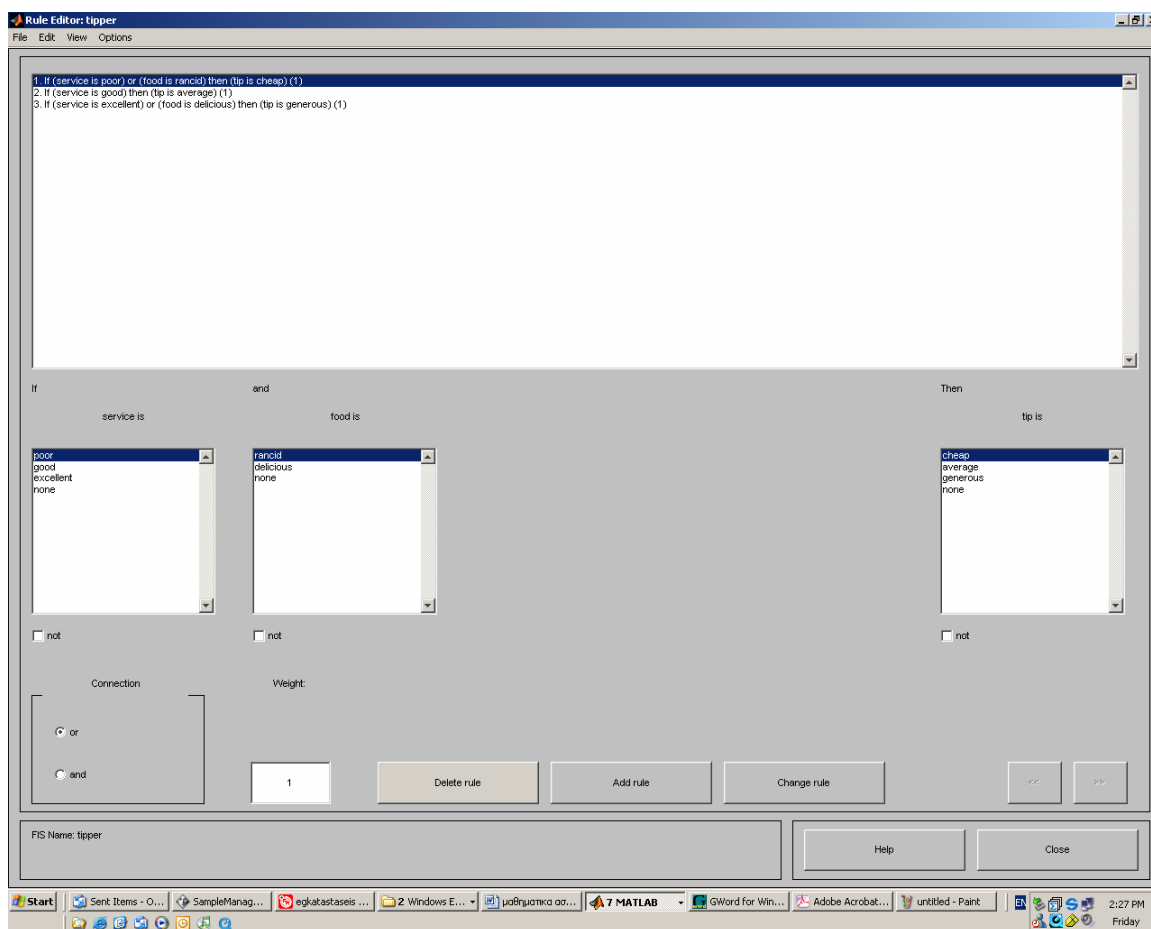
Σχήμα 3.7.: Ασαφής αριθμοί του Membership Function Editor του Fuzzy Toolbox του MatLab.



Σχήμα 3.8.: Ασαφής αριθμοί του Membership Function Editor του Fuzzy Toolbox του MatLab.

3.4.2. O Rule Editor

Σε αυτό το γραφικό περιβάλλον ο χρήστης – προγραμματιστής δημιουργεί τους κανόνες σύνδεσης των ασαφών δεδομένων με τις ασαφείς εξόδους. Η σύνδεση των δεδομένων γίνεται χρησιμοποιώντας τους τελεστές «or», «and» και ερμηνεύονται από το πρόγραμμα σύμφωνα με τις επιλογές που έγιναν στο αρχικό παράθυρο του FIS Editor. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να δώσει μεγαλύτερο ή μικρότερο βάρος σε έναν κανόνα αλλάζοντας την τιμή βάρους του κανόνα από 1 που είναι προεπιλογή σε άλλο της επιθυμίας του.

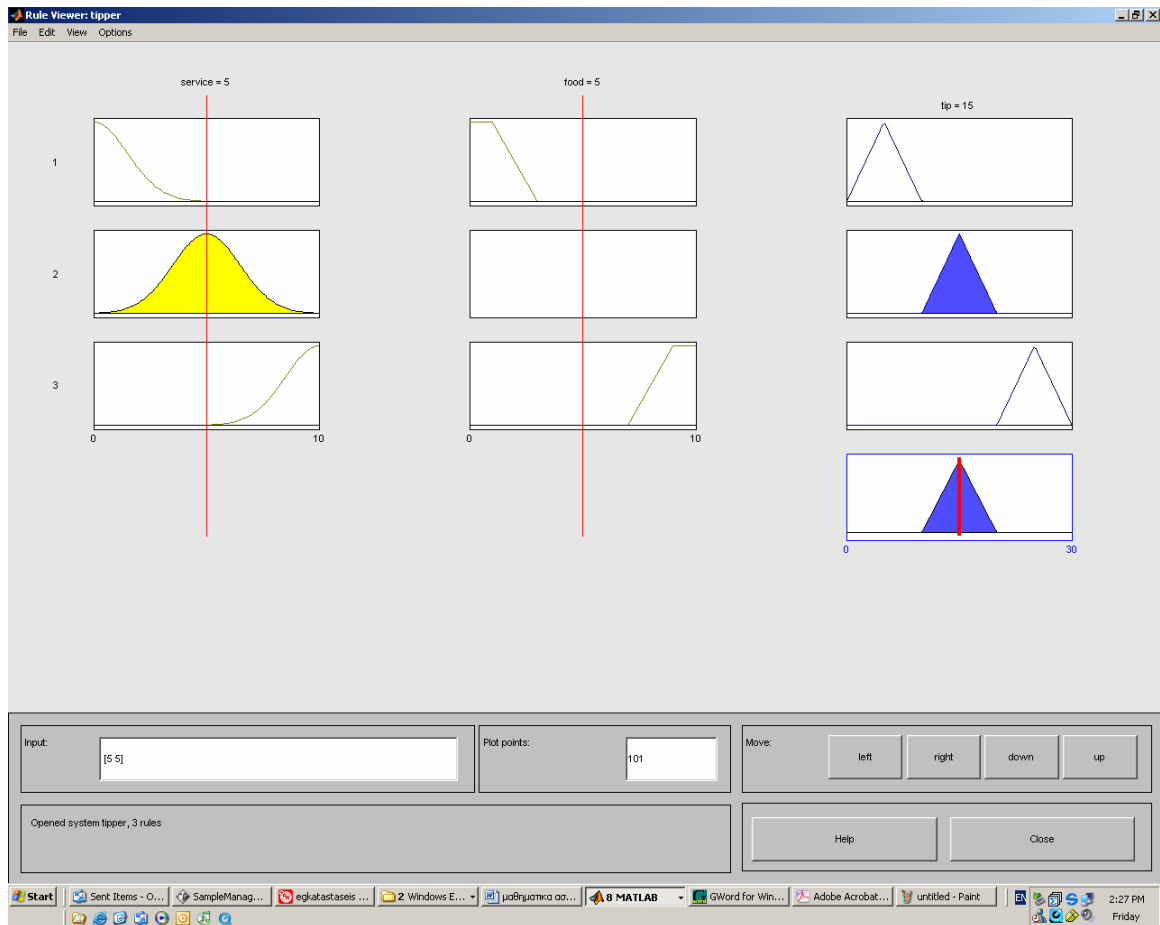


Σχήμα 3.9.: Ασαφής αριθμοί του Membership Function Editor του Fuzzy Toolbox του MatLab.

3.4.2. O Rule Viewer και O Surface Viewer

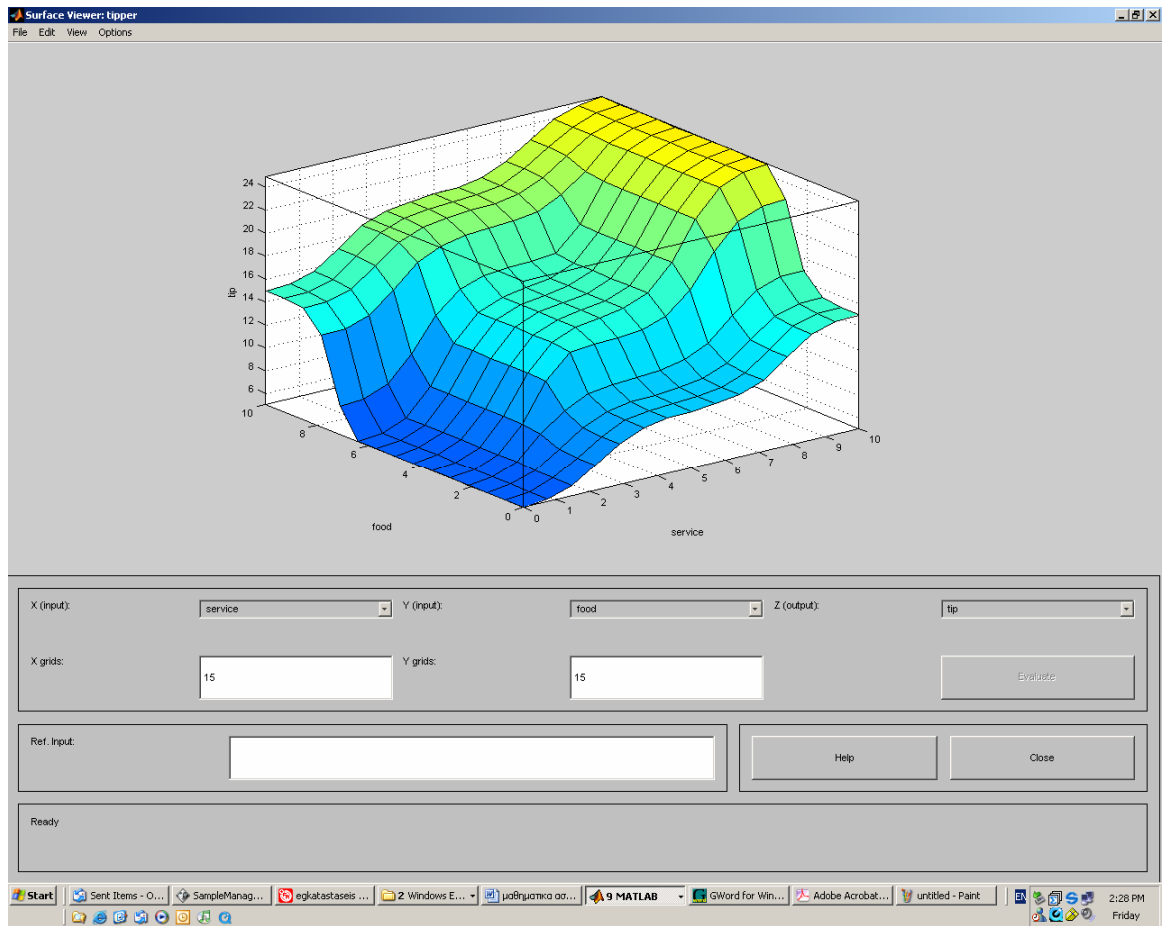
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα παράθυρα ελέγχου καλής λειτουργίας και παρακολούθησης του ελεγκτή:

- Rule Viewer
- Surface Viewer



Σχήμα 3.10.: Ο Rule Viewer του Fuzzy Toolbox του MatLab.

Με αυτά τα παράθυρα ο χρήστης – προγραμματιστής έχει την δυνατότητα να ελέγξει και να αξιολογήσει τον ασαφή ελεγκτή.



Σχήμα 3.11.: Ο Surface Viewer του Fuzzy Toolbox του MatLab.

4. ΕΥΦΥΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

4.1. Περιγραφή των Ασαφών Ελεγκτών για τον Προσδιορισμό του Δείκτη Επικινδυνότητας των Διεργασιών (Process Hazard Index)

Υπάρχουν, όπως είδη έχει αναφερθεί, παραδοσιακές μέθοδοι για τον προσδιορισμό και χαρακτηρισμό της επικινδυνότητας των διεργασιών, που στηρίζονται συνήθως στην ανάλυση της σοβαρότητας του ατυχήματος και της πιθανότητας να προξενηθεί ατύχημα σε μία διεργασία.[19, 20], [25, 26, 27, 28].

Συνοπτικά οι παραδοσιακές μέθοδοι μπορούν να απεικονιστούν με τον παρακάτω Πίνακα 4.1 όπου συνδυάζεται η πιθανότητα να συμβεί ατύχημα με την σοβαρότητα του ατυχήματος για την εγκατάσταση.

Πίνακας 4.1: Συνδυασμός πιθανότητας με σοβαρότητας ατυχήματος.

Σοβαρότητα Πιθανότητα	I	II	III	IV
	Καταστροφικό	Κρίσιμο	Οριακό	Αμελητέο
1 στα 100				
1 στα 1000				
1 στις 10000				
1 στις 100000				
1 στο 1000000				

Η λευκή περιοχή του πίνακα αποδίδει το ατύχημα που βρίσκεται σε αποδεκτά όρια επικινδυνότητας. Το αποτέλεσμα του ατυχήματος για την εγκατάσταση θεωρείται σε αυτή την περιοχή αμελητέο.

Η κίτρινη περιοχή αποδίδει το ατύχημα που βρίσκεται στα όρια της αποδεκτής επικινδυνότητας για την εγκατάσταση. Το αποτέλεσμα του ατυχήματος είναι προβλέψιμο με κόστος αποκατάστασης των ζημιών σε αποδεκτά για την επιχείρηση επίπεδα.

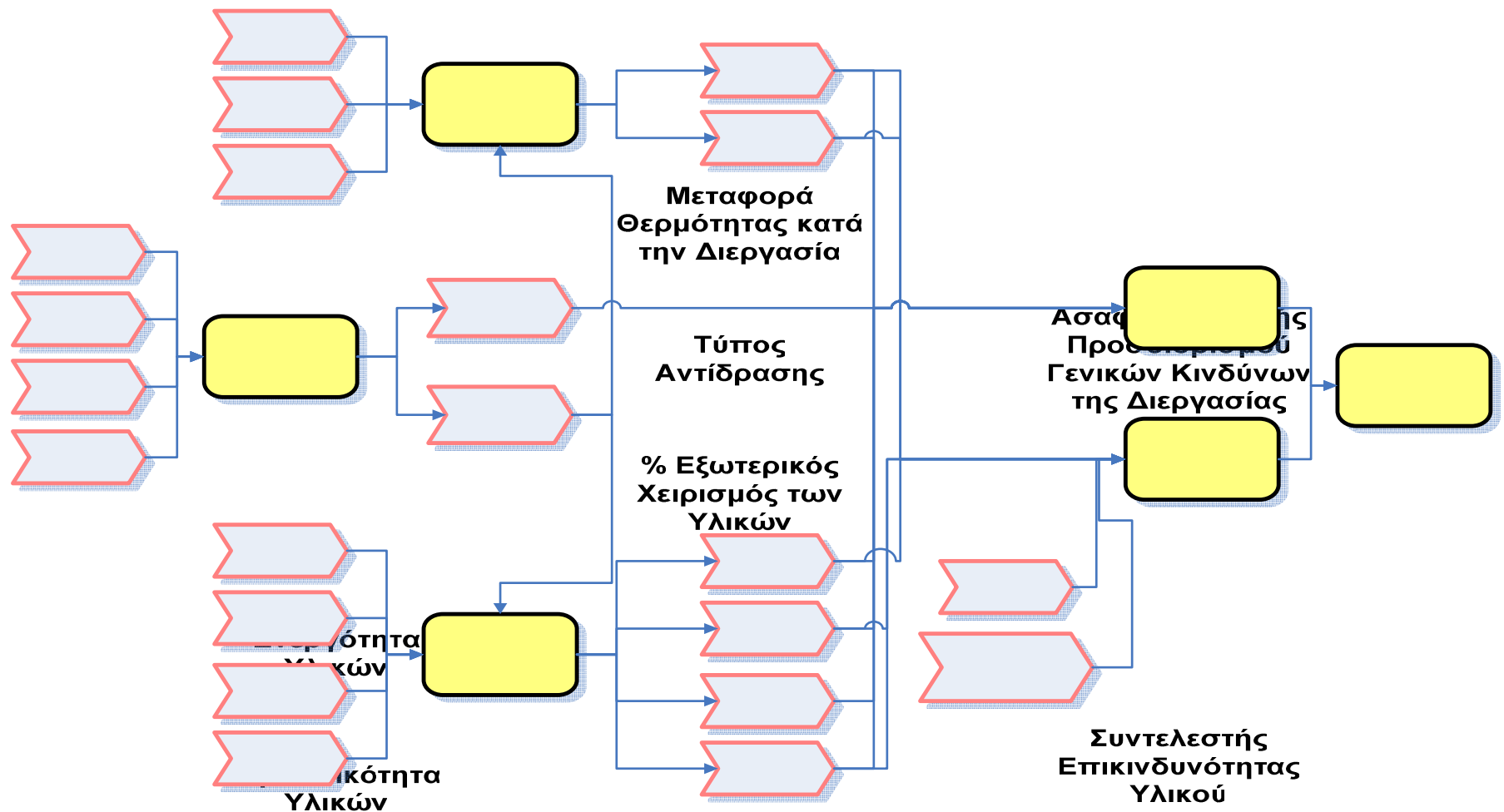
Τέλος, η κόκκινη περιοχή αναφέρεται σε ατύχημα που αποβαίνει καταστροφικό για την επιχείρηση είτε λόγω των ζημιών που προκαλούνται, είτε των συνεπειών στο περιβάλλον και στη γύρο περιοχή.

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 4.1, τα ατυχήματα με την μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβούν αποβαίνουν ζημιογόνα ή και καταστροφικά για την επιχείρηση. Έτσι, ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας των διεργασιών, για μία εγκατάσταση, είναι αναγκαίος για τη προληπτική αντιμετώπιση των ατυχημάτων.

Στην βιβλιογραφία [29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37] η χρήση ευφών ελεγκτών έχει δώσει λύσει σε ανάλογα προβλήματα όπου η εμπειρία αποτυπώνεται μέσω των ασφών κανόνων με την ανάπτυξη ασαφών ελεγκτών.

Στην παρούσα εργασία, γίνεται προσδιορισμός της επικινδυνότητας των διεργασιών με χρήση ασαφών ελεγκτών. Ο κώδικας που προσδιορίζει την επικινδυνότητα των διεργασιών έχει αναπτυχθεί σε m.file του MatLab όπου γίνεται χρήση του εργαλείου της εφαρμογής που αναφέρεται στην ανάπτυξη ασαφών ελεγκτών (Fuzzy Logic toolbox). Στις επόμενες ενότητες του παρόντος κεφαλαίου θα γίνει πλήρης ανάλυση του κώδικα και των ασαφών ελεγκτών που δημιουργήθηκαν για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας των διεργασιών.

Τα δεδομένα εισόδου των ελεγκτών προέρχονται τόσο από τα υλικά που χρησιμοποιεί η διεργασία και τους κινδύνους που εμπεριέχουν, όσο και από τη ίδια τη διεργασία και τον τρόπο λειτουργίας της. Στο Διάγραμμα 4.1 φαίνεται σχηματικά η λειτουργία των ελεγκτών με τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούν και τις παραμέτρους που προσδιορίζουν την επικινδυνότητα των διεργασιών.



Διάγραμμα 4.1: Γραφική αναπαράσταση λειτουργίας των ασαφών ελεγκτών για τον προσδιορισμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (Process Hazard Index) των διεργασιών.

Τοξικότητα
Υλικών

Συγκέντρωση
%
Υλικών

Ασαφής Ελεγκτής
Προσδιορισμού
Επικινδυνότητας
των Υλικών

Μέγιστη
Επικινδυνότητα
των Υλικών

Στο κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας, αναλύθηκε ή μεθοδολογία προσδιορισμού της επικινδυνότητας των διεργασιών, και αναφέρθηκαν οι παράμετροι που την προσδιορίζουν.

Η επικινδυνότητα των διεργασιών εκφράζεται μέσω του Δείκτη Επικινδυνότητας (Process Hazard Index), ο οποίος έχει ταξινομηθεί σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τον βαθμό κινδύνου που εμπεριέχει η διεργασία σε σχέση με :

- την δημιουργία φωτιάς (τιμή του Δείκτη Εκρηκτικότητας, Fire Index), και
- την διαρροή τοξικών ουσιών και δημιουργίας επιβλαβών καταστάσεων (τιμή του Δείκτη Τοξικότητας, Toxicity Index)

Στον Πίνακα 4.2 φαίνεται η κατηγοριοποίηση και οι κλάσεις του Δείκτη Επικινδυνότητας των Διεργασιών (Process Hazard Index).

Πίνακας 4.2: Κατηγοριοποίηση Δείκτη Επικινδυνότητας των Διεργασιών.

Κλάση	Χαρακτηριστικά Επικινδυνότητας κλάσης
0	Στην κλάση αυτή οι κίνδυνοι που εμπεριέχονται στην διεργασία είναι αμελητέοι, δηλαδή: <ul style="list-style-type: none">➤ δεν υπάρχουν εκρηκτικά ή εύφλεκτα υλικά σε συγκεντρώσεις που μπορούν να προξενήσουν φωτιά στη διεργασία,➤ η τοξικότητα των υλικών είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα και,➤ η ίδια η διεργασία δεν παρουσιάζει προβλήματα λειτουργικότητας.
1	Στην κλάση αυτή εμφανίζονται κίνδυνοι που προέρχονται είτε από: <ul style="list-style-type: none">➤ τα υλικά, έχοντας σε μικρό βαθμό επικινδυνότητα για την δημιουργία φωτιάς στη διεργασία, ή παρουσιάζουν σε μικρό βαθμό τοξική δράση,➤ την ίδια την διεργασία, όπου εμφανίζει κάποιες ιδιαιτερότητες ως προς τις συνθήκες και τον τρόπο λειτουργίας της.

Πίνακας 4.2 (συνέχεια)

2	Στην κλάση αυτή η διεργασία εμπεριέχει υλικά με αυξημένη επικινδυνότητα ως προς την ευφλεκτικότητα ή την τοξικότητά τους και οι συνθήκες λειτουργίας της χαρακτηρίζονται οριακές για την ασφάλεια της εγκατάστασης.
3	Στην κλάση αυτή κατατάσσονται οι διεργασίες όταν τα υλικά που διαχειρίζονται είναι άκρος εύφλεκτα ή τοξικά, οι συνθήκες λειτουργίας είναι οριακές και η ίδια η διεργασία κατά τη λειτουργίας της παρουσιάζει ιδιαίτερους κινδύνους.

Στον Πίνακα 4.3 αναφέρονται συνοπτικά οι παράμετροι που εμπλέκονται για τον προσδιορισμό του δείκτη επικινδυνότητας μιας διεργασίας (**Process Hazard Index**), ως η μέγιστη κλάση μεταξύ των κλάσεων του δείκτη εκρηκτικότητας της διεργασίας (**Process Flammability Index**, FIndex) και του δείκτη τοξικότητας της διεργασίας (**Process Toxicity Index**, TIndex).

Πίνακας 4.3: Παράμετροι που λαμβάνουν μέρος στον προσδιορισμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (Process Hazard Index, PHI).

Προσδιορισμός του Δείκτη Επικινδυνότητας Διεργασίας (Process Hazard Index)			
Προσδιορισμός Επικινδυνότητας των Υλικών (Goods Risk Factor)			
Δεδομένα Εισόδου		Προσδιοριζόμενα Μεγέθη	
Τύπος Δεδομένου για το Υλικό	Εύρος Τιμών	Συντελεστής Επικινδυνότητας από	Εύρος Τιμών
Θερμοκρασία Διάσπασης (°C)	Από < 557 έως > 807	Ενεργότητα Υλικών (GRRF)	0 - 4
Θερμοκρασία Ανάφλεξης (°C)	Από > 93 Έως < 23	Εφλεκτικότητα Υλικών (GFRF)	0 - 4
LC ₅₀ Θανάσιμη Συγκέντρωση (mg/Kg)	Από > 2000 Έως < 5	Τοξικότητα Υλικών (GVRF)	0 - 4
% Επιτρεπτή Συγκέντρωση	0 - 100	Συντελεστής Υλικού (Material Factor, FMF)	0 - 40
GRF = max { GRRF, GFRF, GVRF }			

Πίνακας 4.3: (Συνέχεια)

Βαθμοί Ποινής από τους Γενικούς Κινδύνους της Διεργασίας (General Process Hazard Penalties)			
Δεδομένα Εισόδου		Προσδιοριζόμενα Μεγέθη	
Τύπος Δεδομένου	Εύρος Τιμών	Ποινή από	Εύρος Ποινής
Μεταφορά Θερμότητας από Αντίδραση	0 - 1	Την Αντίδραση (Reaction Penalty)	0 – 1,5
Τύπος Αντίδρασης	Ενδόθερμη: -1 Εξώθερμη: +1	Τον Χειρισμό των Υλικών (Handling Storage Penalty)	0 – 0,8
Συντελεστής επικινδυνότητας Υλικών (GRF)	0 - 4		
Απαιτούμενος Χειρισμός των Υλικών	0 - 100		
GPH = RP + HSP			

Πίνακας 4.3: (Συνέχεια)

Βαθμοί Ποινής από τους Ειδικούς Κινδύνους της Διεργασίας (Special Process Hazard Penalties)			
Δεδομένα Εισόδου		Προσδιοριζόμενα Μεγέθη	
Τύπος Δεδομένου	Εύρος Τιμών	Ποινή από	Εύρος Ποινής
Συντελεστής επικινδυνότητας Υλικών (GRF)	0 - 4	Την Πίεση Λειτουργίας (PPP)	0 - 2
Θερμοκρασία Λειτουργίας της Διεργασίας (°C)	-	Την Θερμοκρασία Λειτουργίας (PTP)	0 - 1
Πίεση Λειτουργίας της Διεργασίας (atm)	-	Την Διαρροή των Υλικών (LP)	0 - 2
Παρατηρούμενη Διαρροή των Υλικών	0 – 100	Την Οξείδωση – Διάβρωση της Διεργασίας (CEP)	0 – 0,6
Παρατηρούμενη Οξείδωση – Διάβρωση (mm/year)	0 - 1	Την Τοξικότητα των Υλικών (TH)	0 - 325
Ελάχιστη Αποδεκτή Συγκέντρωση του Υλικού	Από < 5 Έως > 50	Την Ελάχιστη Αποδεκτή Συγκέντρωση των Υλικών (TS)	50, 75, 125
SPH = PPP + PTP + LP + CEP			

Πίνακας 4.3: (Συνέχεια)

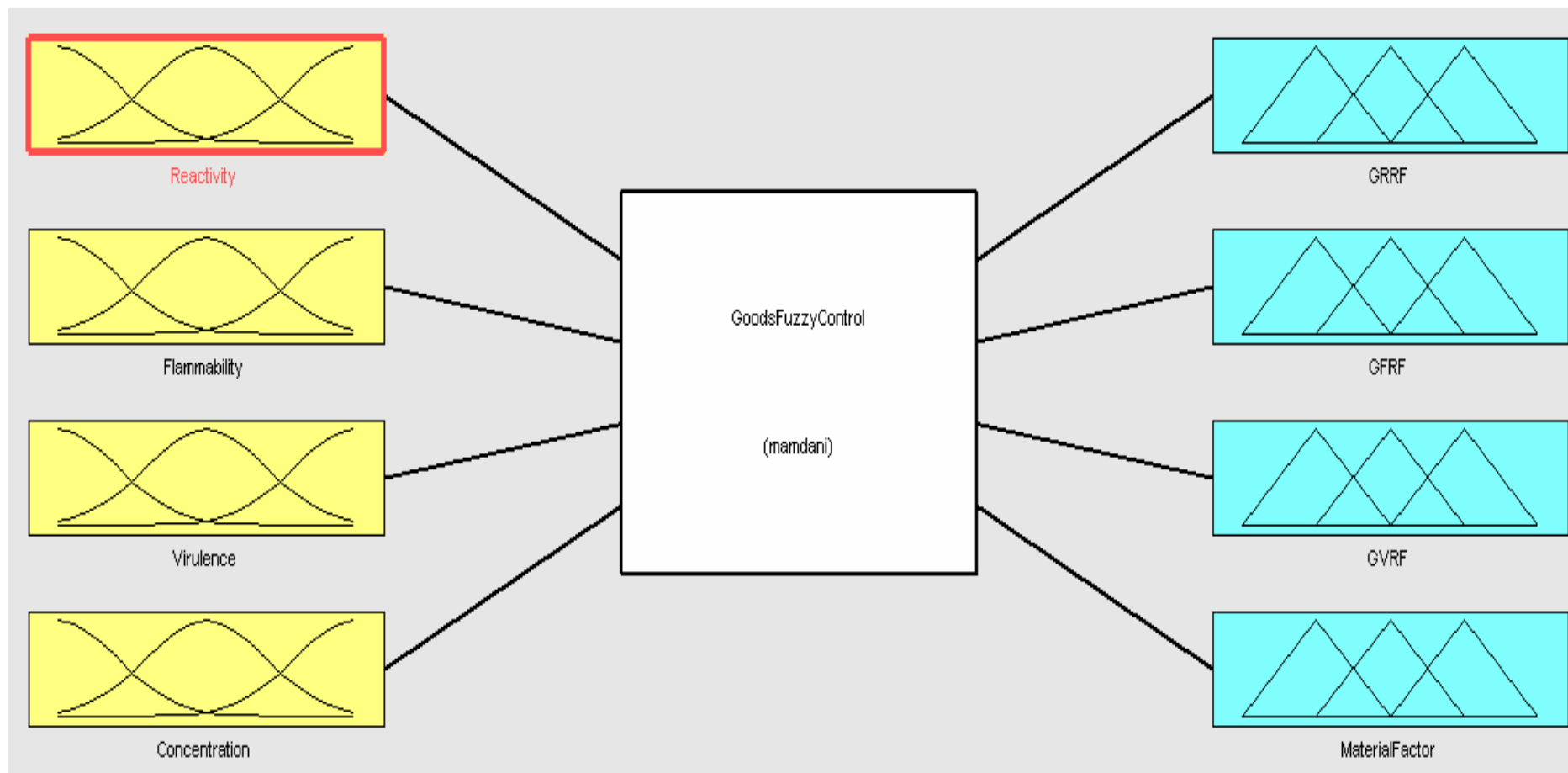
Προσδιορισμός του Δείκτη Εκρηκτικότητας της Διεργασίας (Fire Index, FIndex)	
$FIndex = FMF (1 + GPH) (1 + SPH)$	
Κλάσεις του Δείκτη Εκρηκτικότητας	
Κλάση	Εύρος τιμών FIndex
0	[0, 32.48)
1	[32.48, 107.43)
2	[224.85, 384.75)
3	≥ 384.75
Προσδιορισμός Δείκτη Τοξικότητας της Διεργασίας (Toxicity Index, TIndex)	
$TIndex = \frac{TH - TS}{100} (1 + GPH + SPH)$	
Κλάσεις του Δείκτη Τοξικότητας	
Κλάση	Εύρος τιμών TIndex
0	[0, 1.44)
1	[1.44, 3.58)
2	[3.58, 11.65)
3	≥ 11.65
Process Hazard Index = maximum class {FIndex, TIndex}	

4.2. Περιγραφή του Ασαφούς Ελεγκτή για τον Προσδιορισμό του Δείκτη Επικινδυνότητας των Υλικών (Goods Risk Factor)

Ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας των υλικών γίνεται με χρήση του ασαφούς ελεγκτή που αναπτύχθηκε στο Fuzzy Toolbox του MatLab με ονομασία GoodsFuzzyControl.fis. Στο Διάγραμμα 4.2 παρουσιάζεται ο ασαφής ελεγκτής προσδιορισμού της επικινδυνότητας των υλικών και στον Πίνακα 4.4 φαίνονται οι μεταβλητές και τα ασαφή σύνολα εισόδου, εξόδου του ελεγκτή με τα εύροι τιμών τους.

Πίνακας 4.4: Οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου του ασαφούς ελεγκτή προσδιορισμού της επικινδυνότητας των υλικών (GoodsFuzzyControl.fis).

Προσδιορισμός Επικινδυνότητας των Υλικών (Goods Risk Factor)			
Μεταβλητές Εισόδου		Μεταβλητές Εξόδου	
Τύπος Δεδομένου για το Υλικό	Εύρος Τιμών	Συντελεστής Επικινδυνότητας από	Εύρος Τιμών
Θερμοκρασία Διάσπασης (°C)	Από < 557 έως > 807	Ενεργότητα Υλικών (GRRF)	0 - 4
Θερμοκρασία Ανάφλεξης (°C)	Από > 93 Έως < 23	Ευφλεκτικότητα Υλικών (GFRF)	0 - 4
LC ₅₀ Θανάσιμη Συγκέντρωση (mg/Kg)	Από > 2000 Έως < 5	Τοξικότητα Υλικών (GVRF)	0 - 4
% Επιτρεπτή Συγκέντρωση	0 - 100	Συντελεστής Υλικού (Material Factor, FMF)	0 - 40
GRF = max { GRRF, GFRF, GVRF }			



Διάγραμμα 4.2: Δεδομένα Εισόδου και Εξόδου του Ασαφούς Ελεγκτή για τον προσδιορισμό του Δείκτη Επικινδυνότητας των Υλικών (Goods Risk Factor, GRF).

Όπως φαίνεται και τον πίνακα 4.4 οι μεταβλητές εισόδου σχετίζονται με τα δεδομένα που απαιτούνται ώστε το υλικό να ταξινομηθεί στην αντίστοιχη κατηγορία κατά NFPA. Η επιπλέον μεταβλητή εισόδου είναι αυτή που αναφέρεται στην επιτρεπόμενη συγκέντρωση ασφάλειας του υλικού, εκφρασμένη με επί της εκατό ποσοστό του λόγου συγκέντρωσης του υλικού στην διεργασία, προς την επιτρεπόμενη οριακή συγκέντρωση του σύμφωνα με τους διεθνής κανονισμούς. Με την μεταβλητή της συγκέντρωσης του υλικού λαμβάνεται υπ όψη στον ελεγκτή και το μέγεθος της διεργασίας. Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή των ασαφών συνόλων εισόδου και εξόδου του ελεγκτή.

4.2.1. Ασαφή Σύνολα Εισόδου – Εξόδου.

Τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν την επικινδυνότητα των υλικών στις κατηγορίες κατά NFPA είναι φυσικοχημικές ιδιότητες του υλικού ώστε αυτό να μπορεί να χαρακτηριστεί ως ενεργό, εύφλεκτο, τοξικό. Όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένα υλικό κατηγοριοποιείται σε κάποια κατηγορία:

- ενεργότητας από την θερμοκρασία διάσπασης του,
- ευφλεκτικότητας από την θερμοκρασία ανάφλεξης του,
- τοξικότητας από την θανάσιμη συγκέντρωση LC_{50}

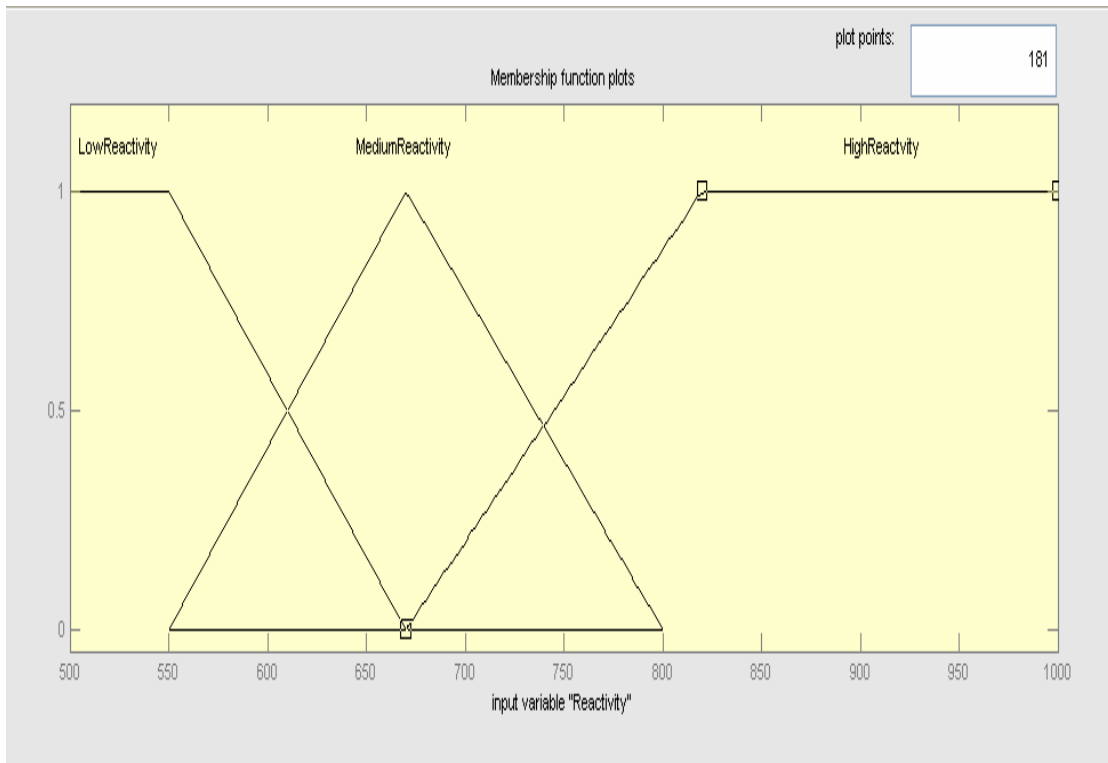
Τα εύροι των παραπάνω μεγεθών φαίνονται συνοπτικά στον πίνακα 4.4, ενώ πλήρης ανάλυση των κατηγοριών έχει γίνει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στα Γραφήματα 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 παρουσιάζονται τα ασαφή σύνολα εισόδου, που δημιουργήθηκαν για να χρησιμοποιηθούν στον ελεγκτή GoodsFuzzyControl.fis.

Στα γραφήματα 4.5, 4.6, 4.7 και 4.8, παρουσιάζονται οι δείκτες που περιγράφουν την ενεργότητα (GRRF), ευφλεκτικότητα (GFRF), τοξικότητα (GVRF) των υλικών καθώς και τον συντελεστή του υλικού (Material Factor).

Για την περιγραφή των συνόλων γίνεται χρήση τριγωνικών και τραπεζοειδών ασαφών αριθμών.

Έτσι, για την δημιουργία του ασαφούς συνόλου που περιγράφει την ενεργότητα των υλικών χρησιμοποιήθηκαν:

- Για την περιγραφή της χαμηλής ενεργότητας των υλικών, χρησιμοποιείται ένας τραπεζοειδής ασαφής αριθμός θεωρώντας ότι στο διάστημα της θερμοκρασίας διάσπασης του υλικού [500, 550] °C το υλικό είναι χαμηλής ενεργότητας με βαθμό συμμετοχής 1, περιοχή που αντιστοιχεί στην κατηγορία 0 κατά NFPA. Στην συνέχεια, ο βαθμός συμμετοχής για την κατάταξη του υλικού στη χαμηλή ενεργότητα μειώνεται και με το διάστημα [550, 670] °C, που αντιστοιχεί στην κατηγορία 1 κατά NFPA, ολοκληρώνεται ο ασαφής αριθμός που περιγράφει την χαμηλή ενεργότητα.
- Η περιοχή της μεσαίας ενεργότητας περιγράφεται με έναν τριγωνικό ασαφή αριθμό. Η περιοχή της θερμοκρασίας διάσπασης του υλικού [550, 670] °C, που αντιστοιχεί στην κατηγορία 1 κατά NFPA, αποτελεί την αριστερή πλευρά του ασαφούς τριγώνου, ενώ η περιοχή της θερμοκρασίας διάσπασης [670, 800] °C, που αντιστοιχεί στις κατηγορίες 2,3 κατά NFPA, αποτελεί την δεξιά πλευρά του ασαφούς συνόλου.
- Τέλος, η περιοχή της υψηλής ενεργότητας περιγράφεται με έναν τραπεζοειδή ασαφή αριθμό. Η περιοχή της θερμοκρασίας διάσπασης [670, 820] °C, που αντιστοιχεί στις κατηγορίες 2,3 κατά NFPA, αποτελεί την αριστερή πλευρά του τραπέζιου. Για θερμοκρασία διάσπασης μεγαλύτερη των 800 °C, που αντιστοιχεί στην κατηγορία 4 κατά NFPA, βεβαιότητα ότι το υλικό ανήκει στην υψηλή περιοχή ενεργότητας έχει βαθμό συμμετοχής 1.

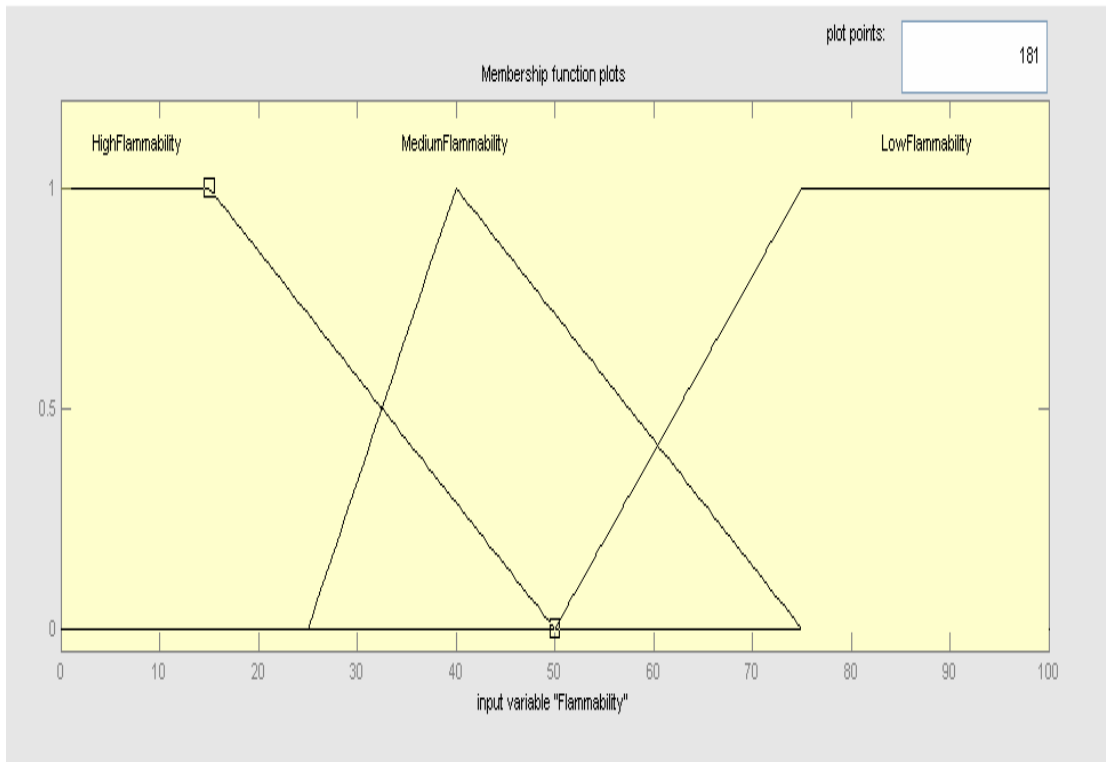


Γράφημα 4.1: Ασαφή σύνολα για τον χαρακτηρισμό της ενεργότητας των υλικών.

Ανάλογα με την ασαφοποίηση της ενεργότητας των υλικών, έγινε και η ασαφοποίηση της ευφλεκτικότητας των υλικών. Έτσι:

- Η περιοχή της χαμηλής ευφλεκτικότητας περιγράφεται από έναν τραπεζοειδή ασαφή αριθμό όπου για θερμοκρασία ανάφλεξης στο διάστημα $[100, 75]$ °C, που αντιστοιχεί στις κατηγορίες 0,1 κατά NFPA, ο βαθμός συμμετοχής είναι 1. Για την περιοχή θερμοκρασίας στο διάστημα $[75, 50]$ °C, που αντιστοιχεί στις κατηγορίες 1, και μέρος της 2 κατά NFPA, ο βαθμός συμμετοχής στην χαμηλή ευφλεκτικότητα μειώνεται.
- Η περιοχή της μεσαίας ευφλεκτικότητας των υλικών, περιγράφεται με έναν ασαφή τριγωνικό αριθμό. Οι πλευρές του τριγώνου αντιστοιχούν στις θερμοκρασίες ανάφλεξης του υλικού μεταξύ της περιοχής $[75, 40]$ °C, που αντιστοιχεί στις κατηγορίες 1, και μέρος της 2 κατά NFPA, η αριστερή πλευρά του ασαφούς τριγώνου, και για θερμοκρασίες μεταξύ της περιοχής $[40, 25]$ °C, που αντιστοιχεί στην κατηγορία, 3 κατά NFPA, η δεξιά πλευρά του ασαφούς τριγώνου.
- Τέλος, για την περιγραφή της υψηλής περιοχής ευφλεκτικότητας, χρησιμοποιείται ένας τραπεζοειδής σαφής αριθμός, με αριστερή πλευρά τον εύρος της περιοχής ευφλεκτικότητας $[50, 15]$ °C, που αντιστοιχεί στις κατηγορίες, 3 και 4 κατά NFPA. Για

θερμοκρασία μεγαλύτερη των 15 °C η βεβαιότητα ότι το υλικό ανήκει στην κατηγορία της υψηλής ευφλεκτικότητας έχει βαθμό συμμετοχής 1.



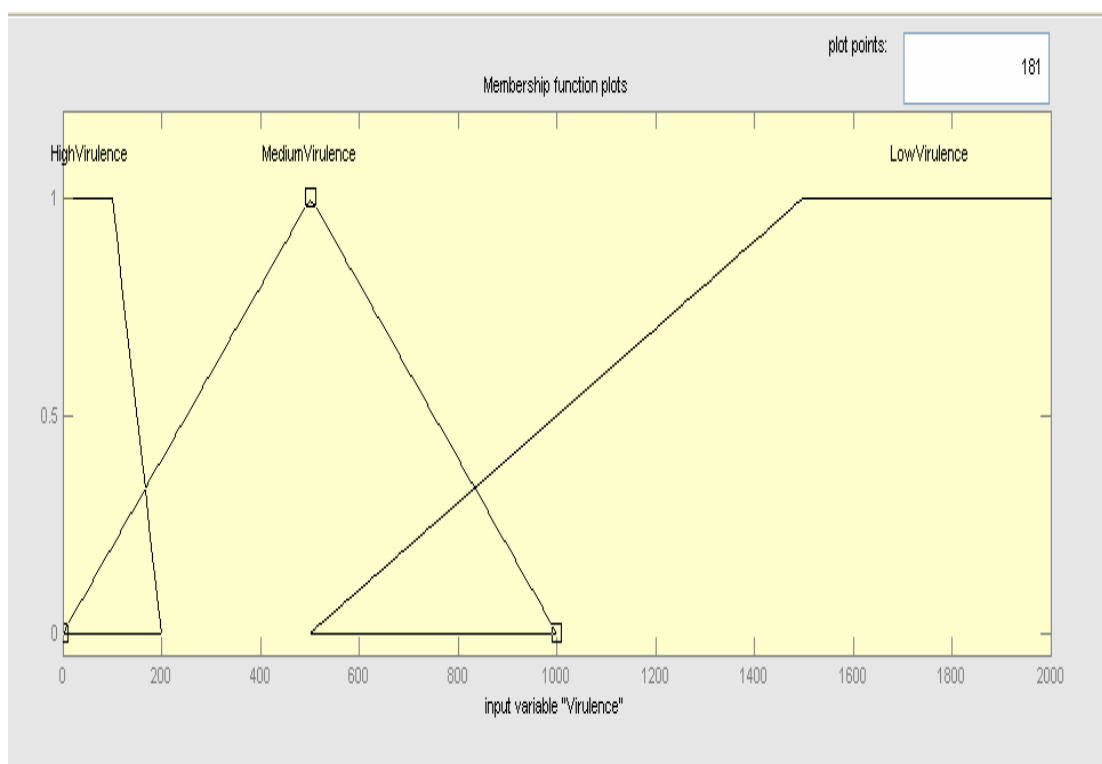
Γράφημα 4.2: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της ευφλεκτικότητας των υλικών.

Για την ασαφή περιγραφή της τοξικότητας των υλικών χρησιμοποιήθηκαν οι ασαφείς αριθμοί:

- Για την περιοχή της χαμηλής τοξικότητας ένας τραπεζοειδής ασαφής αριθμός με βεβαιότητα ότι η τοξικότητα του υλικού είναι χαμηλή, στο εύρος τιμών της θανάσιμης δόσης LD_{50} [1500, 2000] mg/Kg, που αντιστοιχεί στην κατηγορία, 0 κατά NFPA. Στη συνέχεια και στην περιοχή τιμών της θανάσιμης δόσης LD_{50} [500, 1500] mg/Kg, που αντιστοιχεί στις κατηγορίες, 0 και 1 κατά NFPA, η βεβαιότητα ότι το υλικό είναι χαμηλής τοξικότητας μειώνεται, και εκφράζεται ασαφώς με την αριστερή πλευρά του τραπεζίου.
- Η περιοχή της μεσαίας τοξικότητας εκφράζεται ασαφώς μέσω ενός ασαφούς τριγωνικού αριθμού. Η περιοχή της θανάσιμης δόσης LD_{50} [500, 1000] mg/Kg, που αντιστοιχεί στην κατηγορία 1 κατά NFPA, αποτελεί την δεξιά πλευρά του τριγώνου.

Ενώ, η περιοχή της θανάσιμης δόσης LD_{50} [0, 500] mg/Kg, που αντιστοιχεί στην κατηγορία 2 κατά NFPA, αποτελεί την αριστερή πλευρά του τριγώνου.

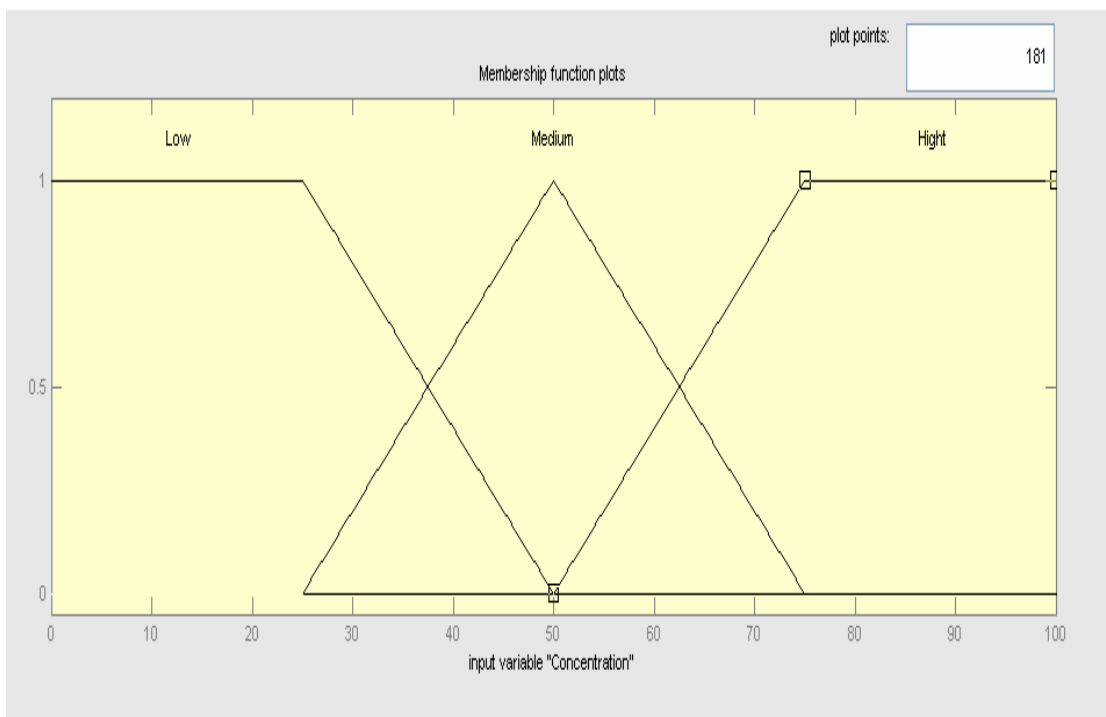
- Τέλος, η υψηλή τοξικότητα ενός υλικού περιγράφεται ασαφώς με έναν τραπεζοειδή αριθμό. Η περιοχή της θανάσιμης δόσης LD_{50} [100, 200] mg/Kg, που αντιστοιχεί στην κατηγορία 2 κατά NFPA, αποτελεί την δεξιά πλευρά του τραπεζοειδούς. Ενώ, για τιμές της θανάσιμης δόσης του υλικού LD_{50} μικρότερες των 100 mg/Kg η βεβαιότητα ότι το υλικό είναι υψηλής τοξικότητας εκφράζεται με βαθμό συμμετοχής 1.



Γράφημα 4.3: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της τοξικότητας των υλικών.

Στον ελεγκτή για τον προσδιορισμό του δείκτη επικινδυνότητας των υλικών σημαντικό δεδομένο εισόδου αποτελεί η συγκέντρωση του επικίνδυνου υλικού στην διεργασία. Με αυτήν καθορίζεται το μέγεθος της διεργασίας αλλά και ελέγχεται η διεργασία ως προς την επιτρεπόμενη ποσότητα του υλικού. Έτσι το κριτήριο ελέγχου είναι η επί της εκατό συγκέντρωση του υλικού στην διεργασία σε σχέση με την επιτρεπόμενη οριακή συγκέντρωση του υλικού που καθορίζεται από πίνακες ανάλογα με την επικινδυνότητα που παρουσιάζει. Η ασαφοποίηση που έγινε στην οριακή συγκέντρωση του υλικού εκφρασμένη με επί της εκατό ποσοστό είναι:

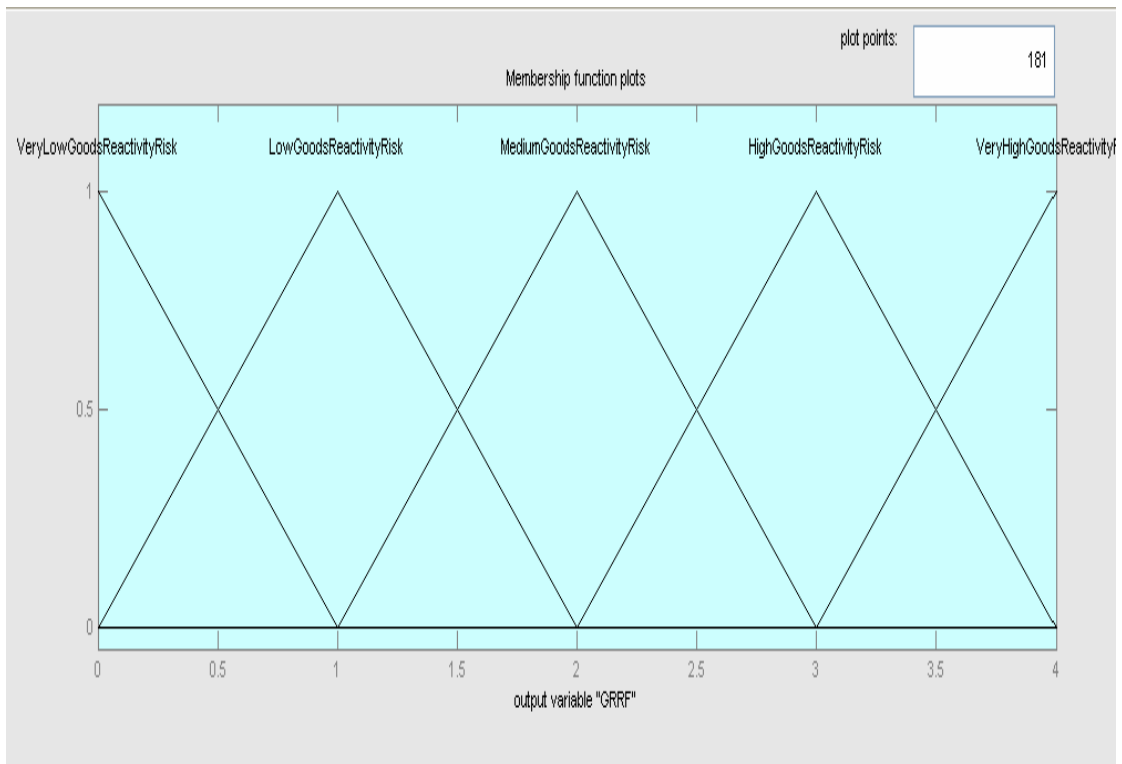
- Η περιοχή της χαμηλής οριακής συγκέντρωσης περιγράφεται με ένα τραπεζοειδή ασαφή αριθμό, όπου στην περιοχή συγκέντρωσης μικρότερη του 25% ο βαθμός συμμετοχής στο σύνολο είναι 1. στην περιοχή συγκέντρωσης [25%, 50%] ο βαθμός συμμετοχής στο ασαφές σύνολο της χαμηλής οριακής συγκέντρωσης μειώνεται σταδιακά στο μηδέν.
- Η περιοχή της μεσαίας οριακής συγκέντρωσης περιγράφεται με έναν τριγωνικό ασαφή αριθμό. Η αριστερή πλευρά του ασαφούς τριγώνου περιγράφεται από την περιοχή συγκέντρωσης [25%, 50%]. Η δεξιά πλευρά του ασαφούς τριγώνου περιγράφεται από την περιοχή συγκέντρωσης [50%, 75%].
- Τέλος, η περιοχή της υψηλής οριακής συγκέντρωσης του υλικού περιγράφεται με ένα τραπεζοειδή ασαφή αριθμό. Η αριστερή πλευρά του τραπεζοειδούς περιγράφεται από την περιοχή συγκέντρωσης [50%, 750%], ενώ για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του 75% ο βαθμός συμμετοχής παραμένει στο 1.



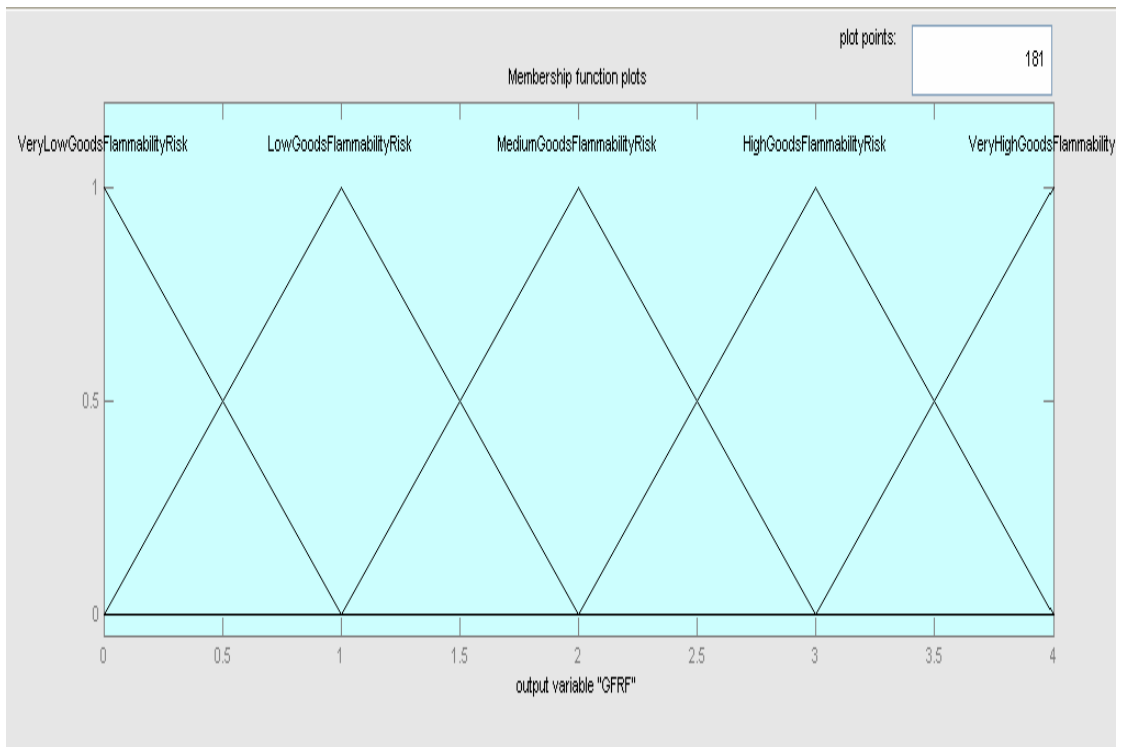
Γράφημα 4.4: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της επί της εκατό οριακής συγκέντρωσης του υλικού.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα γραφήματα με τα ασαφή σύνολα εξόδου του ελεγκτή για τον προσδιορισμό του δείκτη επικινδυνότητας των υλικών. Η ασαφοποίηση των

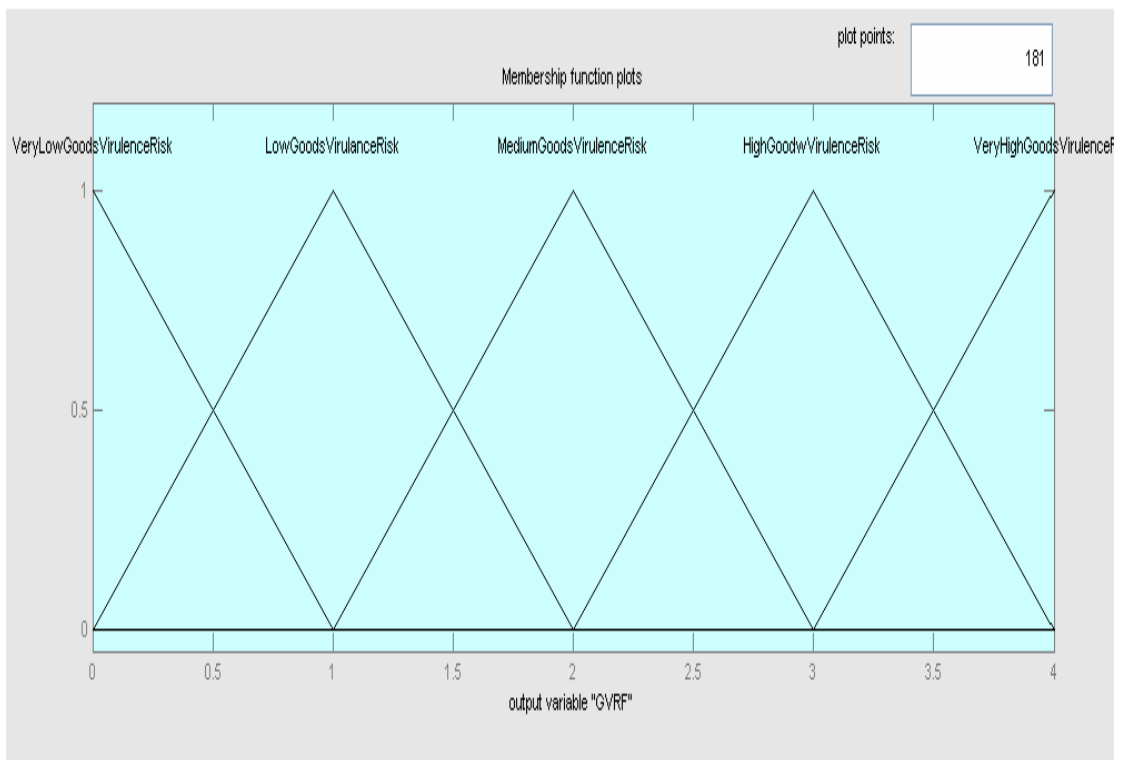
συνόλων έγινε με χρήση τριγωνικών ασαφών αριθμών. Η αποτελεσματικότητα του ελεγκτή παρουσιάζεται μέσω των επιφανειών ελέγχου, ο σχολιασμός των οποίων ακολουθεί.



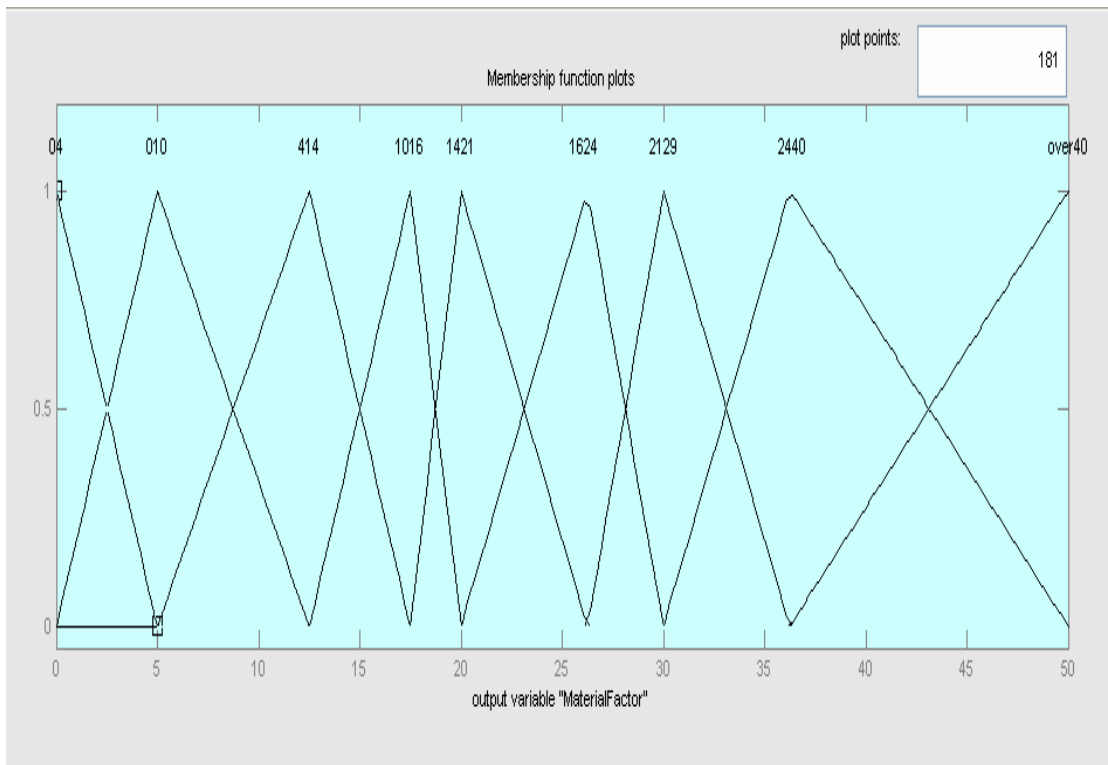
Γράφημα 4.5: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού του συντελεστή ενεργότητας του υλικού.



Γράφημα 4.6: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού του συντελεστή ευφλεκτικότητας του υλικού.



Γράφημα 4.7: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού του συντελεστή τοξικότητας του υλικού.



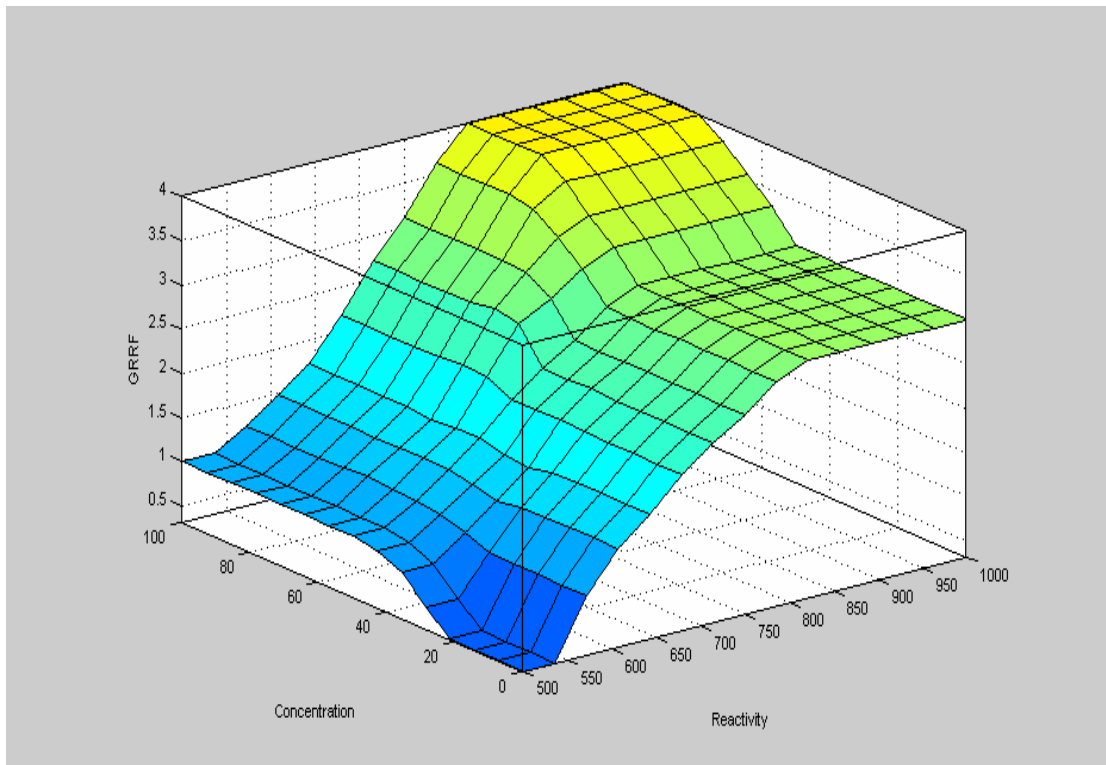
Γράφημα 4.8: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού του συντελεστή MF του υλικού.

4.2.2. Επιφάνειες Ελέγχου της Επικινδυνότητας των Υλικών.

Στα γραφήματα που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι επιφάνειες ελέγχου του ελεγκτή για τον προσδιορισμό των επιμέρους δεικτών επικινδυνότητας των υλικών, που αναφέρονται στον συντελεστή ενεργότητας (GRRF), στον συντελεστή ευφλεκτικότητας (GFRF), στον συντελεστή τοξικότητας (GVRF) και τέλος στον συντελεστή MF τα υλικού.

Το Γράφημα 4.9 παρουσιάζει την επιφάνεια του συντελεστή ενεργότητας του υλικού (GRRF), ο οποίος έχει εύρος τιμών [0, 4]. Ο συντελεστής ενεργότητας του υλικού προκύπτει από τον συνδυασμό της οριακής συγκέντρωσης του υλικού στη διεργασία, όπως αυτή αναλύθηκε παραπάνω, και της ενεργότητας του υλικού μέσω της θερμοκρασίας διάσπασής του. Τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής.

- Για χαμηλή ενεργότητα του υλικού και μικρή συγκέντρωσή του στην διεργασία ο συντελεστής ενεργότητας παίρνει τιμές στο διάστημα [0, 1,5]
- Καθώς η ενεργότητα του υλικού αυξάνει, ενώ η συγκέντρωση του υλικού παραμένει σε χαμηλά επίπεδα στη διεργασία, ο συντελεστής ενεργότητας κυμαίνεται στο εύρος τιμών [0, 3]. Δηλαδή εάν η ενεργότητα του υλικού είναι υψηλή αλλά η συγκέντρωσή του στη διεργασία πολύ μικρή (μικρότερη του 25%) ο συντελεστής ενεργότητας θα έχει μέγιστη τιμή 3.
- Με την αύξηση της συγκέντρωσης του υλικού στη διεργασία (ή μεγαλύτερο μέγεθος διεργασίας), ο συντελεστής ενεργότητας αυξάνει αναλογικά στο εύρος τιμών [0, 4].
- Για συγκέντρωση του υλικού μεγαλύτερη του 75% και μεσαία ή υψηλή ενεργότητα του υλικού ο συντελεστής ενεργότητας παίρνει την μέγιστη τιμή του, δηλαδή 4.

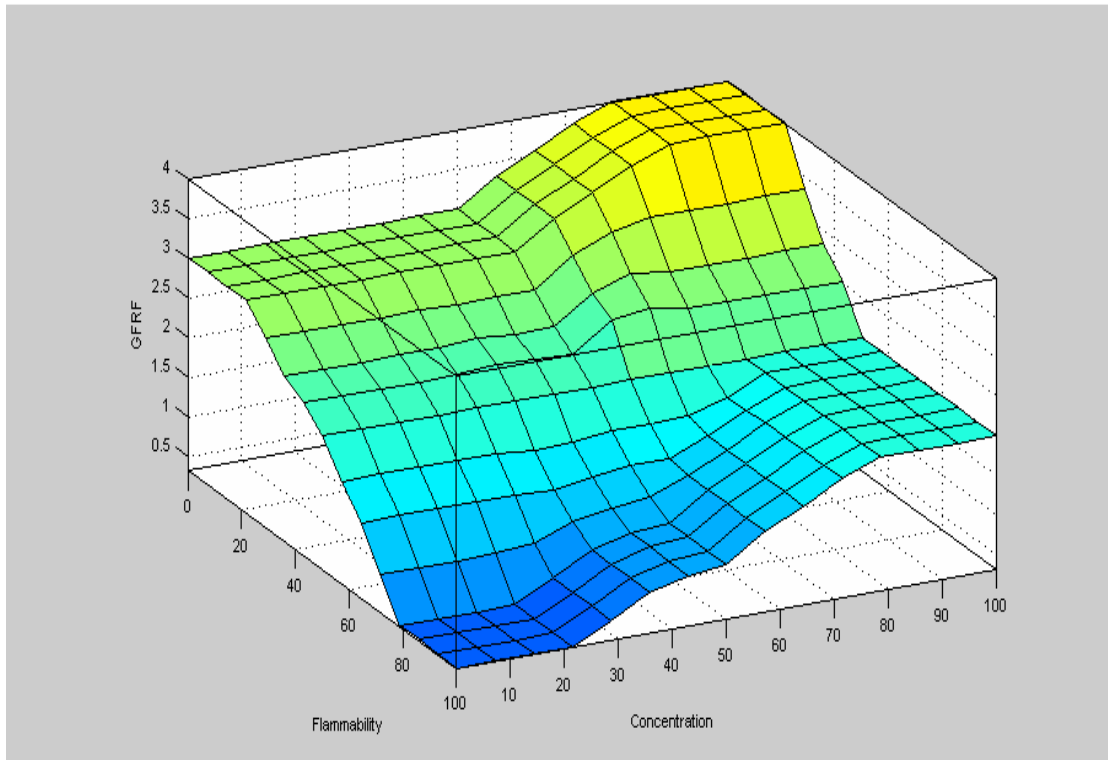


Γράφημα 4.9: Επιφάνεια του συντελεστή ενεργότητας του υλικού (GRRF).

Το Γράφημα 4.10 παρουσιάζει την επιφάνεια του συντελεστή ευφλεκτικότητας του υλικού (GFRF), ο οποίος έχει εύρος τιμών $[0, 4]$. Ο συντελεστής ευφλεκτικότητας του υλικού προκύπτει από τον συνδυασμό της οριακής συγκέντρωσης του υλικού στη διεργασία και της ευφλεκτικότητας του υλικού μέσω της θερμοκρασίας ανάφλεξης του. Τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής.

- Για χαμηλή ευφλεκτικότητα του υλικού (τιμές της θερμοκρασίας ανάφλεξης μεγαλύτερες από $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ και σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης του υλικού στη διεργασία, τιμή του συντελεστή ευφλεκτικότητας κυμαίνεται στο εύρος τιμών $[0, 1,5]$.
- Καθώς η ευφλεκτικότητα του υλικού αυξάνει, ενώ η συγκέντρωση του υλικού παραμένει σε χαμηλά επίπεδα στη διεργασία, ο συντελεστής ευφλεκτικότητας κυμαίνεται στο εύρος τιμών $[0, 3]$.
- Με την αύξηση της συγκέντρωσης του υλικού στη διεργασία (ή μεγαλύτερο μέγεθος διεργασίας), και αυξανόμενη τιμή της ευφλεκτικότητας το υλικού ο συντελεστής ευφλεκτικότητας αυξάνει αναλογικά στο εύρος τιμών $[0, 4]$.

- Για ευφλεκτικότητα του υλικού με θερμοκρασία ανάφλεξης μικρότερη των 20 °C ο συντελεστής ευφλεκτικότητας παίρνει την μέγιστη τιμή του, δηλαδή 4

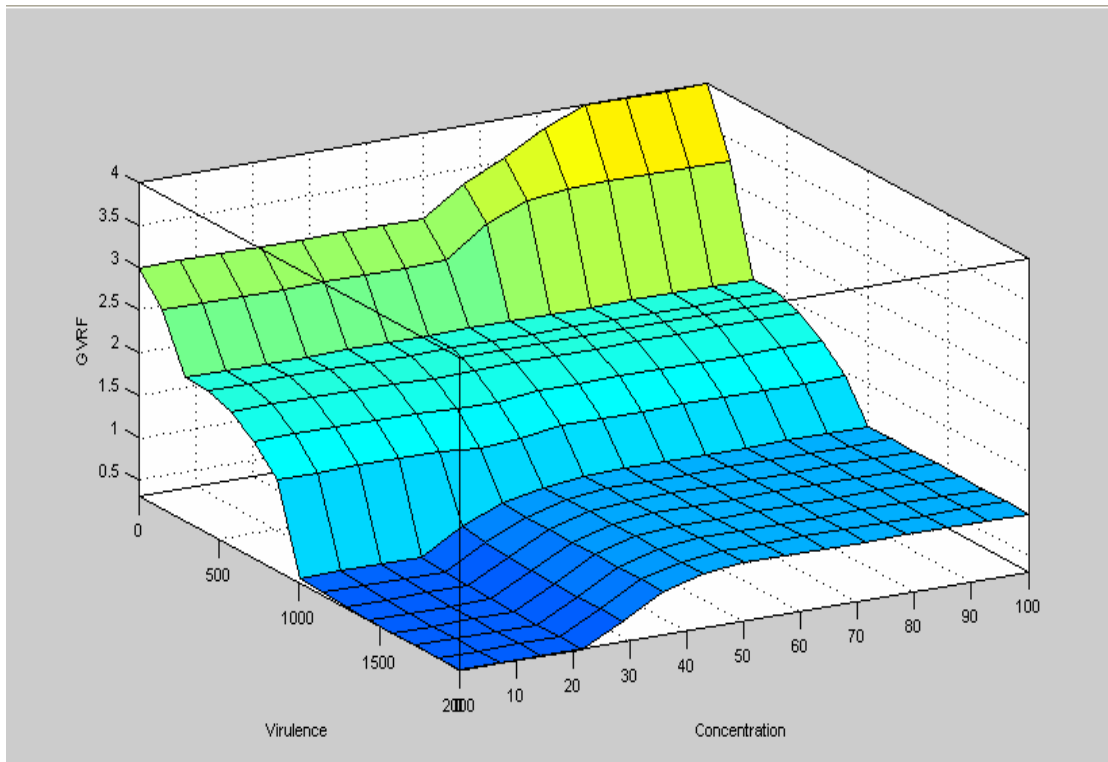


Γράφημα 4.10: Επιφάνεια του συντελεστή ευφλεκτικότητας του υλικού (GFRF).

Το Γράφημα 4.11 παρουσιάζει την επιφάνεια του συντελεστή τοξικότητας του υλικού (GVRF), ο οποίος έχει εύρος τιμών [0, 4]. Ο συντελεστής τοξικότητας του υλικού προκύπτει από τον συνδυασμό της οριακής συγκέντρωσης του υλικού στη διεργασία και της τοξικότητας του υλικού, μέσω της θανάσιμης συγκέντρωσης LD_{50} mg/Kg. Τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής.

- Για χαμηλή τοξικότητα του υλικού και σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης του υλικού στη διεργασία, τιμή του συντελεστή τοξικότητας κυμαίνεται στο εύρος τιμών [0, 1].
- Καθώς η τοξικότητα του υλικού αυξάνει, ενώ η συγκέντρωση του υλικού παραμένει σε χαμηλά επίπεδα στη διεργασία, ο συντελεστής τοξικότητας κυμαίνεται στο εύρος τιμών [0, 3].

- Με την αύξηση της συγκέντρωσης του υλικού στη διεργασία (ή μεγαλύτερο μέγεθος διεργασίας), και αυξανόμενη τιμή της τοξικότητας του υλικού ο συντελεστής τοξικότητας αυξάνει αναλογικά στο εύρος τιμών [3, 4].
- Για υψηλή τοξικότητα του υλικού και τιμές συγκέντρωσης του υλικού μεγαλύτερες του 75%, ο συντελεστής τοξικότητας έχει την μέγιστη τιμή του, δηλαδή 4.

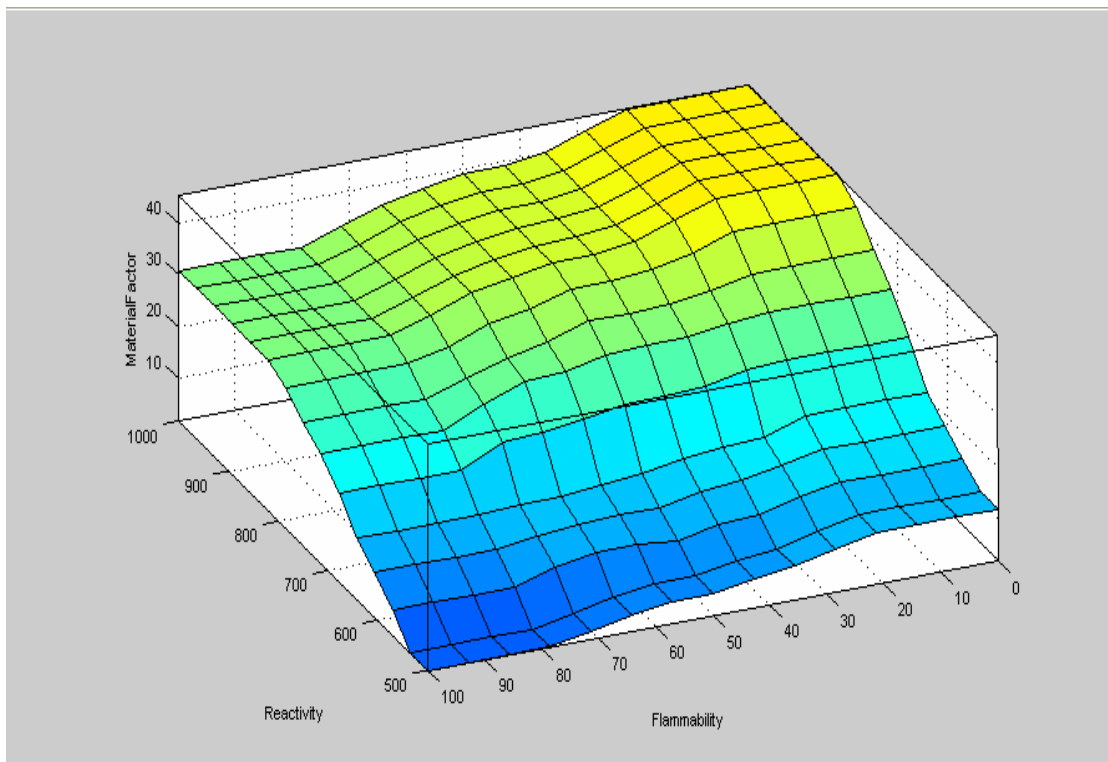


Γράφημα 3.11: Επιφάνεια του συντελεστή τοξικότητας του υλικού (GVRF).

Το Γράφημα 4.12 παρουσιάζει την επιφάνεια του συντελεστή του υλικού (MF), ο οποίος έχει εύρος τιμών [0, 40]. Ο συντελεστής του υλικού προκύπτει από τον συνδυασμό της ενεργότητας του υλικού και της ευφλεκτικότητας του υλικού, μέσω της θερμοκρασίας διάσπασης και της θερμοκρασίας ανάφλεξης, αντίστοιχα. Τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής.

- Για χαμηλή ενεργότητα του υλικού, δηλαδή χαμηλή θερμοκρασία διάσπασης του και χαμηλή ευφλεκτικότητα, δηλαδή υψηλή θερμοκρασία ανάφλεξης, ο συντελεστής του υλικού έχει την μικρότερη δυνατή τιμή του δηλαδή 0.

- Καθώς η ευφλεκτικότητα του υλικού αυξάνει, ενώ ενεργότητα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, ο συντελεστής του υλικού κυμαίνεται στο εύρος τιμών [0, 10].
- Στην περίπτωση που η ενεργότητα του υλικού αυξάνει, ενώ ευφλεκτικότητα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, ο συντελεστής του υλικού κυμαίνεται στο εύρος τιμών [0, 30].
- Τέλος, όταν η ενεργότητα του υλικού και η ευφλεκτικότητα του υλικού είναι υψηλές, ο συντελεστής MF του υλικού έχει μέγιστη τιμή 40.



Γράφημα 4.12: Επιφάνεια του συντελεστή MF του υλικού.

4.3. Περιγραφή του Ασαφούς Ελεγκτή για τον Προσδιορισμό των ποινών από τους Γενικούς Κινδύνους της Διεργασίας (General Process Hazard Penalties)

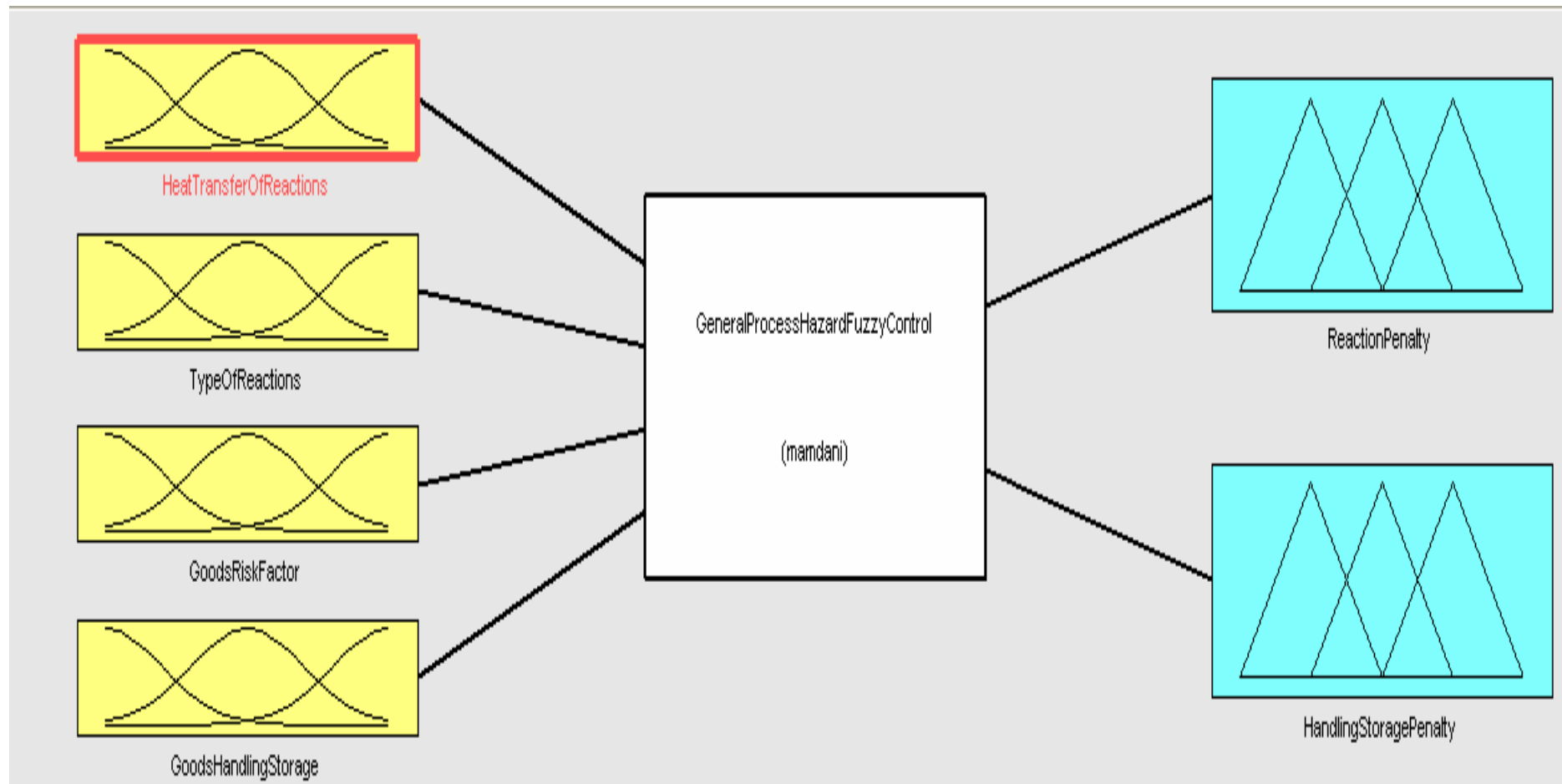
Ο προσδιορισμός των βαθμών ποινής που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας γίνεται με χρήση του ασαφούς ελεγκτή που αναπτύχθηκε στο Fuzzy Toolbox του MatLab με ονομασία GeneralProcessHazardFuzzyControl.fis. Στο Διάγραμμα 4.3 παρουσιάζεται ο ασαφής ελεγκτής προσδιορισμού των βαθμών ποινής που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας και στον Πίνακα 4.5 φαίνονται οι μεταβλητές και τα ασαφή σύνολα εισόδου, εξόδου του ελεγκτή με τα εύροι τιμών τους.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.5 οι κύριες μεταβλητές εισόδου του ελεγκτή για τον προσδιορισμό των βαθμών ποινής προερχόμενοι από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας είναι:

- Ο τύπος της αντίδρασης, που μπορεί να συμβαίνει στη διεργασία.
- Η μεταφορά θερμότητας που προέρχεται από την αντίδραση, που μπορεί να προστίθεται στο περιβάλλον όταν συμβαίνει εξώθερμη αντίδραση, ή να απορροφάται από το περιβάλλον όταν συμβαίνει ενδόθερμη αντίδραση.
- Ο απαιτούμενος χειρισμός των υλικών.
- Και ο δείκτης επικινδυνότητας των υλικών (GRF) όπως αυτός προσδιορίζεται από τον ελεγκτή GoodsFuzzyControl.fis.

Πίνακας 4.5: Οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου του ασαφούς ελεγκτή προσδιορισμού των βαθμών ποινής από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας (*GeneralProcessHazardFuzzyControl.fis*).

Βαθμοί Ποινής από τους Γενικούς Κινδύνους της Διεργασίας (General Process Hazard Penalties)			
Δεδομένα Εισόδου		Προσδιοριζόμενα Μεγέθη	
Τύπος Δεδομένου	Εύρος Τιμών	Ποινή από	Εύρος Ποινής
Μεταφορά Θερμότητας από Αντίδραση	0 - 1	Την Αντίδραση (Reaction Penalty)	0 – 1,5
Τύπος Αντίδρασης	Ενδόθερμη: -1 Εξώθερμη: +1	Τον Χειρισμό των Υλικών (Handling Storage Penalty)	0 – 0,8
Συντελεστής επικινδυνότητας Υλικών (GRF)	0 - 4		
Απαιτούμενος Χειρισμός των Υλικών	0 - 100		
GPH = RP + HSP			

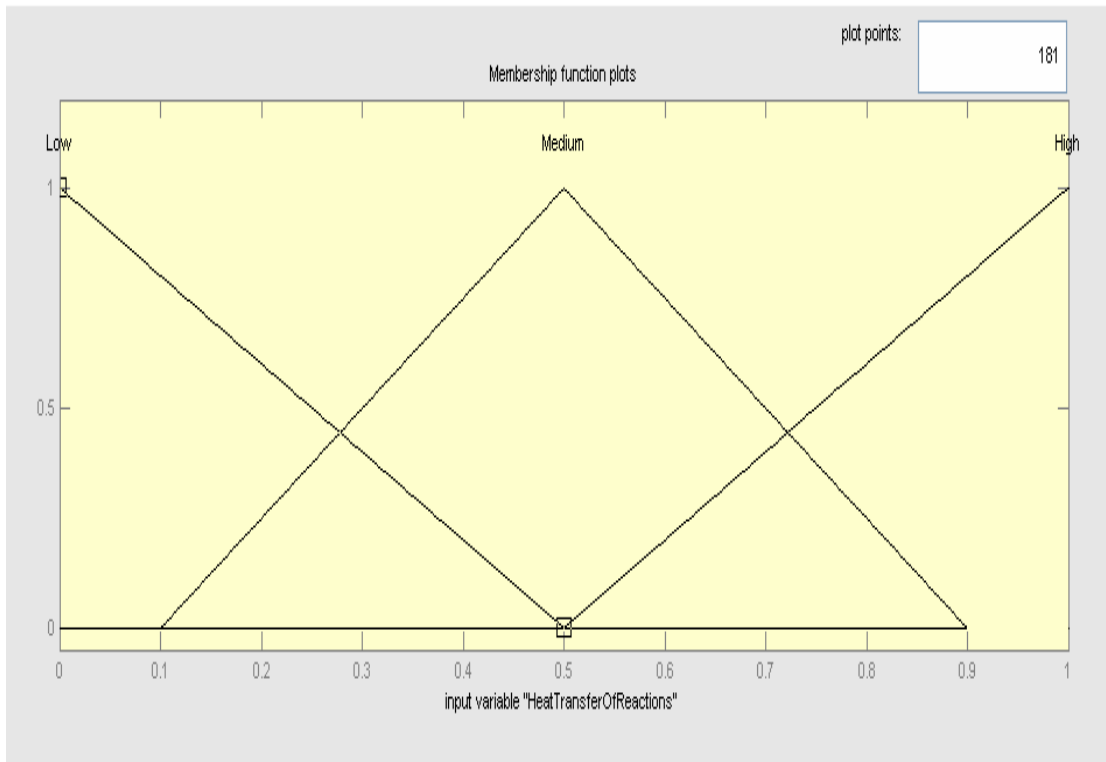


Διάγραμμα 4.3: Δεδομένα Εισόδου και Εξόδου του Ασαφούς Ελεγκτή για τον προσδιορισμό των βαθμών ποινής από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας.

4.3.1. Ασαφή Σύνολα Εισόδου – Εξόδου.

Στον ασαφή ελεγκτή για τον προσδιορισμό των βαθμών ποινής που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους διεργασίας το πρώτο δεδομένο εισόδου για τον ελεγκτή είναι η μεταφορά θερμότητας που προέρχεται από την αντίδραση που τυχόν συμβαίνει. Η ασαφοποίηση αυτού του δεδομένου εισόδου έγινε ως εξής:

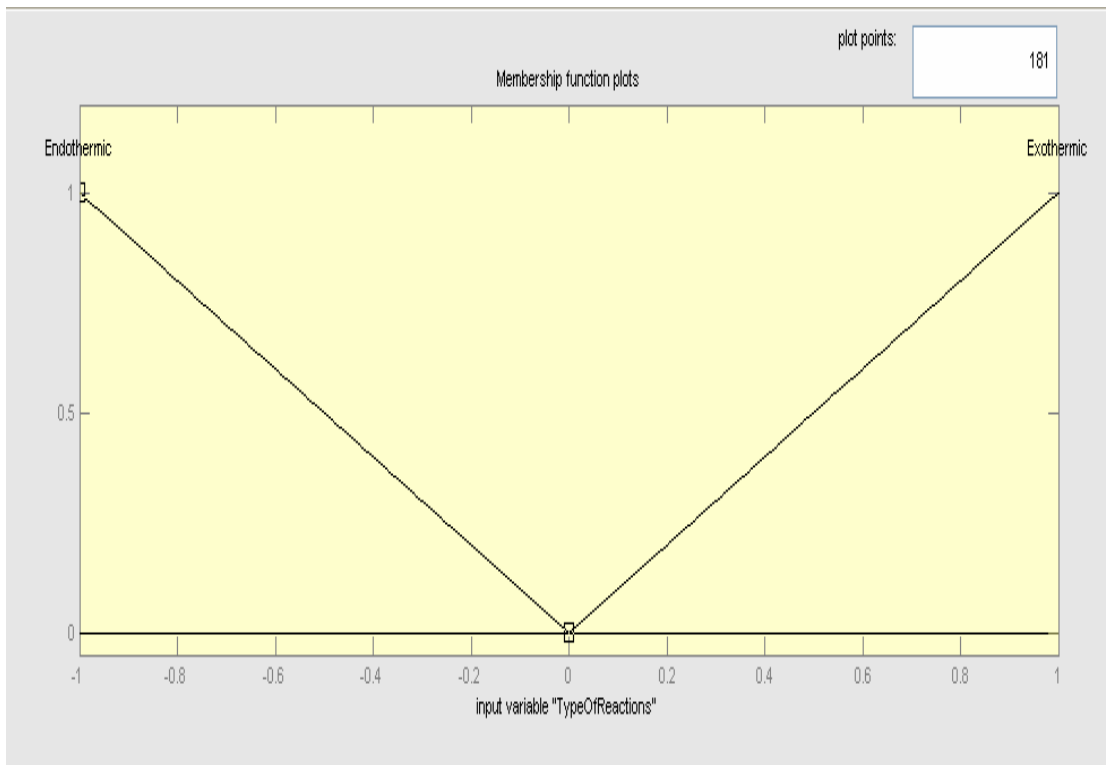
- Περιοχή όπου συμβαίνει μικρή μεταφορά θερμότητας, εδώ αναφέρονται οι αντιδράσεις (εξώθερμες και ενδόθερμες), όπου η ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον είναι μικρή. Για την ασαφή περιγραφή της χαμηλής περιοχής έγινε χρήση η δεξιά πλευρά ενός τριγωνικού ασαφούς αριθμού με εύρος τιμών $[0, 0,5]$.
- Περιοχή όπου συμβαίνει μεσαία μεταφορά θερμότητας, εδώ αναφέρονται οι αντιδράσεις (εξώθερμες και ενδόθερμες), όπου η ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον επηρεάζει την θερμοκρασία γύρο από την διεργασία μεταβάλλοντάς τη ελάχιστα από την αντίστοιχη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Για την ασαφή περιγραφή της μεσαίας περιοχής έγινε χρήση ενός τριγωνικού ασαφούς αριθμού η αριστερή πλευρά του ασαφούς τριγώνου παίρνει τιμές στο εύρος τιμών $[0, 0,5]$, ενώ η δεξιά πλευρά του ασαφούς τριγώνου παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,5, 1]$.
- Περιοχή όπου συμβαίνει έντονη μεταφορά θερμότητας, εδώ αναφέρονται οι αντιδράσεις (εξώθερμες και ενδόθερμες), όπου η ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον είναι μεγάλη. Για την ασαφή περιγραφή της υψηλής περιοχής έγινε χρήση η αριστερή πλευρά ενός τριγωνικού ασαφούς αριθμού με εύρος τιμών $[0,5 1]$.



Γράφημα 4.13: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της μεταφοράς θερμότητας που προέρχεται από την αντίδραση της διεργασίας.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η ασαφοποίηση που έγινε στον τύπο της αντίδρασης. Σημαντικός παράγοντας για την περιγραφή του τύπου είναι η κίνηση της θερμότητας που προέρχεται από την αντίδραση. Έτσι, για ενδόθερμες αντιδράσεις σημειώνεται με αρνητικό πρόσημο η θερμότητα που μεταφέρεται από το περιβάλλον στην διεργασία, ενώ, με θετικό πρόσημο σημειώνεται η θερμότητα που μεταφέρεται από την διεργασία στο περιβάλλον

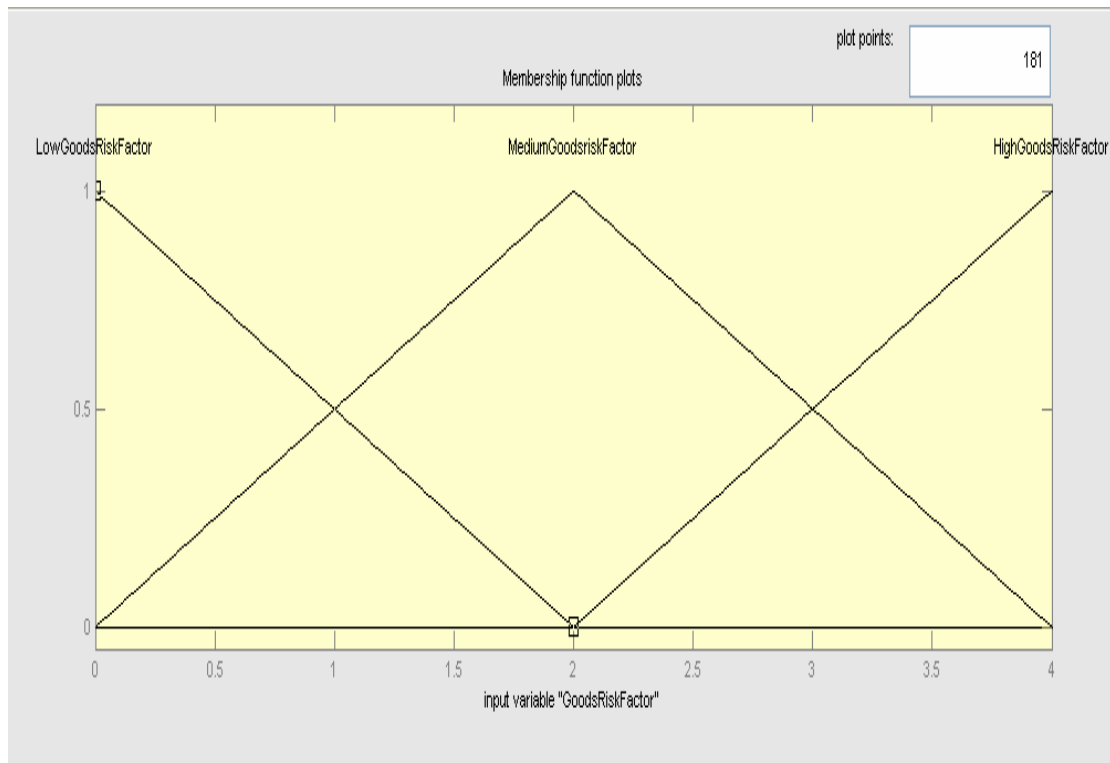
- Για την περιγραφή της ενδόθερμης αντίδρασης γίνεται χρήση η δεξιά πλευρά ενός τριγωνικού ασαφούς αριθμού, με εύρος τιμών στο διάστημα $[-1, 0]$. Η συνήθης τιμή είναι -1 για κάθε ενδόθερμη αντίδραση.
- Για την περιγραφή της εξώθερμης αντίδρασης γίνεται χρήση η αριστερή πλευρά ενός τριγωνικού ασαφούς αριθμού, με εύρος τιμών στο διάστημα $[0, 1]$. Η συνήθης τιμή είναι 1 για κάθε εξώθερμη αντίδραση.



Γράφημα 4.14: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού του τύπου της αντίδρασης που συμβαίνει στη διεργασία.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη διεργασία έχουν αποκτήσει από τον ελεγκτή προσδιορισμού του δείκτη επικινδυνότητας των υλικών, (GoodsFuzzyControl.fis.) τιμή, η οποία χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα άλλα δεδομένα εισόδου για τον προσδιορισμό των ποινών που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους. Έτσι, σύμφωνα με το γράφημα 4.15 έγινε η ασαφοποίηση:

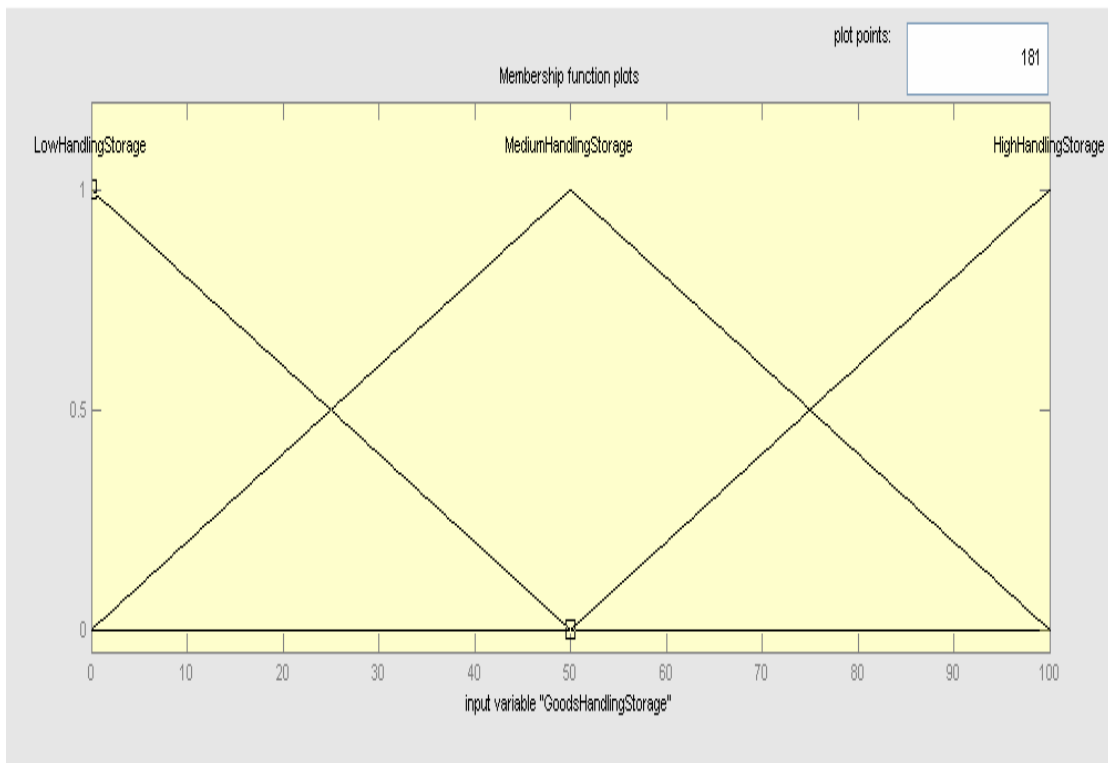
- Με την δεξιά πλευρά ενός ασαφούς τριγώνου ασαφοποιούνται τα υλικά με χαμηλό δείκτη επικινδυνότητας και εύρος τιμών [0, 2].
- Με ασαφές τρίγωνο περιγράφονται και τα υλικά με μεσαία τιμή του δείκτη επικινδυνότητας και εύρος τιμών [0, 4].
- Τέλος, με την αριστερή πλευρά ενός ασαφούς τριγώνου, περιγράφονται τα υλικά που έχουν υψηλό δείκτη επικινδυνότητας και εύρος τιμών [2, 4].



Γράφημα 4.15: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της επικινδυνότητας των υλικών που συμμετέχουν στην διεργασία.

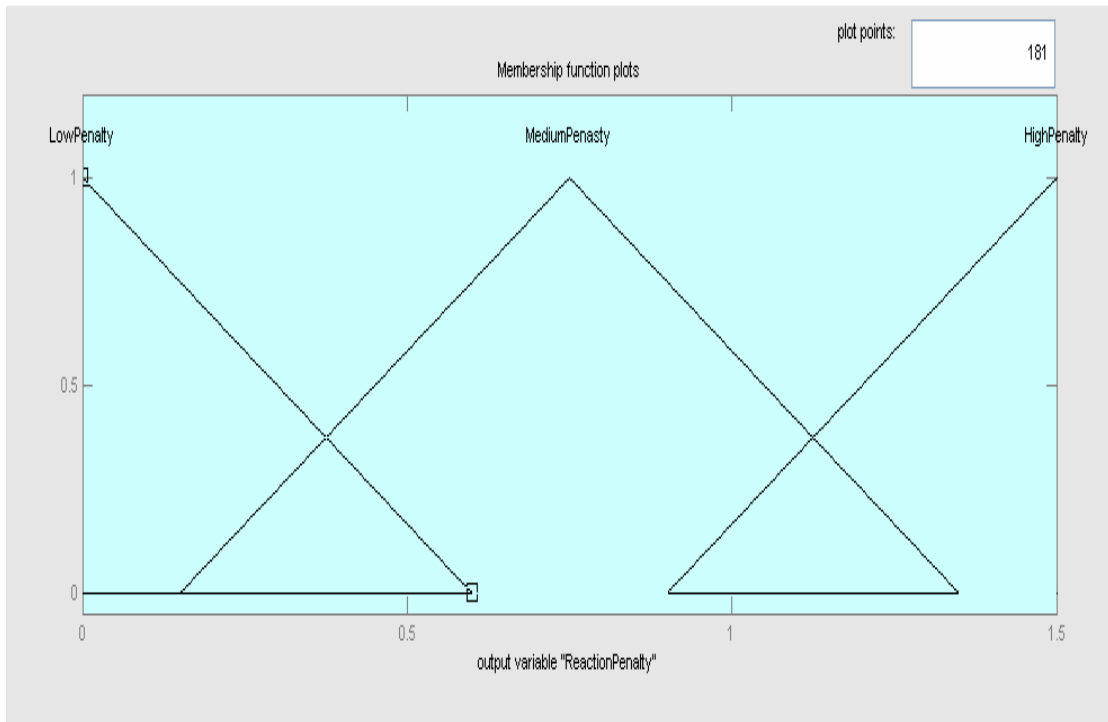
Το επόμενο δεδομένο εισόδου στον ελεγκτή για των προσδιορισμό των ποινών που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας είναι ο απαιτούμενος χειρισμός των υλικών που χρησιμοποιούνται στη διεργασία. Σύμφωνα με το Γράφημα 4.16, η ασαφοποίηση του απαιτούμενου χειρισμού περιγράφεται από τα εξής ασαφή σύνολα:

- Με την δεξιά πλευρά ενός ασαφούς αριθμού, περιγράφεται ο ελάχιστος απαιτούμενος χειρισμός των υλικών. Το εύρος τιμών του ασαφούς αυτού αριθμού είναι $[0, 50]$
- Με ένα ασαφές τριγωνικό αριθμό περιγράφεται ο ενδιάμεσος απαιτούμενος χειρισμός των υλικών. Το εύρος τιμών του ασαφούς τριγώνου είναι $[0, 100]$.
- Τέλος, με την αριστερή πλευρά ενός ασαφούς τριγώνου, περιγράφεται ο υψηλός απαιτούμενος χειρισμός των υλικών. Το εύρος τιμών του ασαφούς αυτού αριθμού είναι $[50, 100]$.

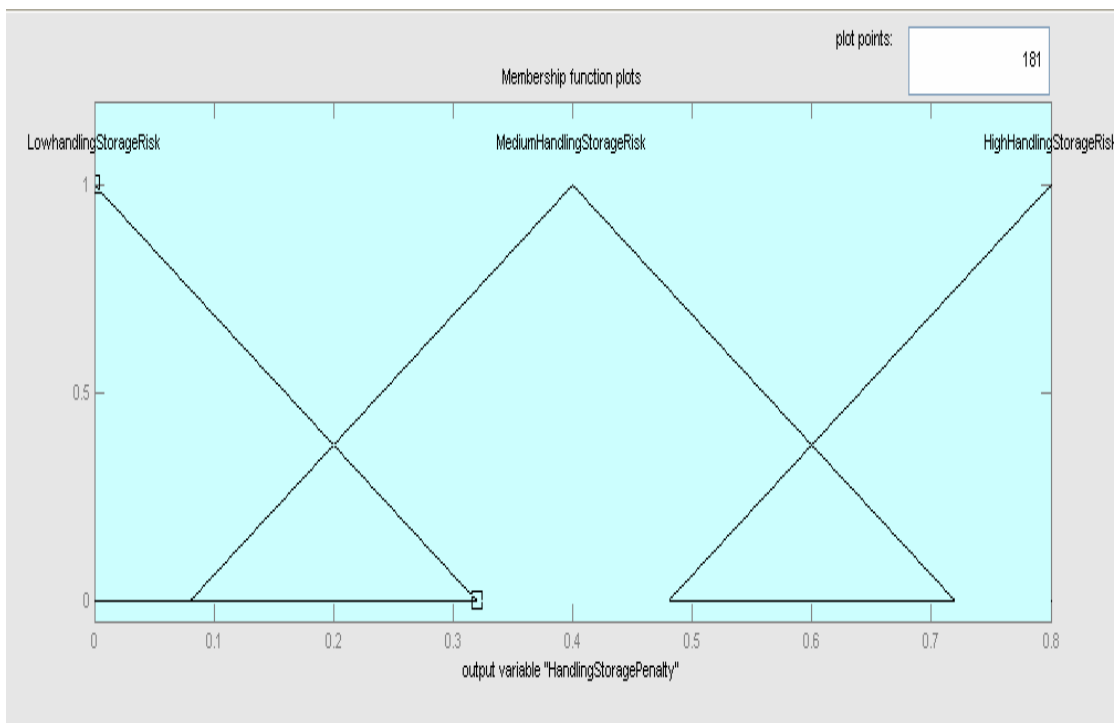


Γράφημα 4.16: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού του απαιτούμενου χειρισμού των υλικών που συμβαίνει στη διεργασία.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα γραφήματα με τα ασαφή σύνολα εξόδου του ελεγκτή για τον προσδιορισμό των ποιών που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας. Η ασαφοποίηση των συνόλων έγινε με χρήση τριγωνικών ασαφών αριθμών. Η αποτελεσματικότητα του ελεγκτή παρουσιάζεται μέσω των επιφανειών ελέγχου, ο σχολιασμός των οποίων ακολουθεί.



Γράφημα 4.17: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της ποινής που προέρχεται από την αντίδραση που τυχόν συμβαίνει στην διεργασία.

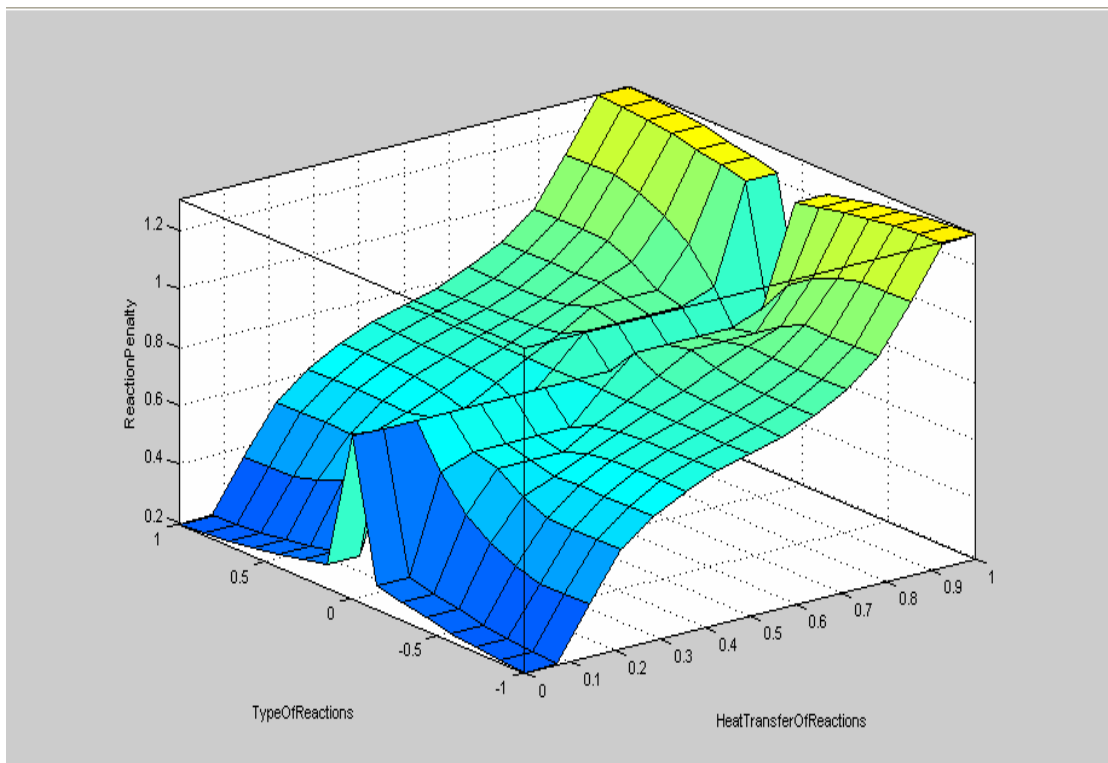


Γράφημα 4.18: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού που προέρχεται από τον απαιτούμενο χειρισμό των υλικών της διεργασίας.

4.3.2. Επιφάνειες Ελέγχου των ποινών που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας.

Το Γράφημα 4.19 παρουσιάζει την επιφάνεια ελέγχου της ποινής που προέρχεται από την αντίδραση που τυχόν συμβαίνει στην διεργασία. Όπως παρατηρείται στο γράφημα, η συνολική επιφάνεια χωρίζεται σε δύο συμμετρικές επιφάνειες που προσδίδουν την ίδια συμπεριφορά στον ελεγκτή. Η ύπαρξη των συμμετρικών επιφανειών οφείλεται στον τύπο της αντίδρασης που λαμβάνει χώρα και που μπορεί να είναι είτε εξώθερμη αντίδραση, είτε ενδόθερμη αντίδραση.

Σε κάθε περίπτωση, ο βαθμός της ποινής εξαρτάται αποκλειστικά από την θερμότητα που εκλύεται (από εξώθερμη), ή απορροφάται (από ενδόθερμη) αντίδραση και ανταλλάσσεται με το περιβάλλον. Το εύρος της ποινής είναι στο διάστημα $[0,2, 1,2]$

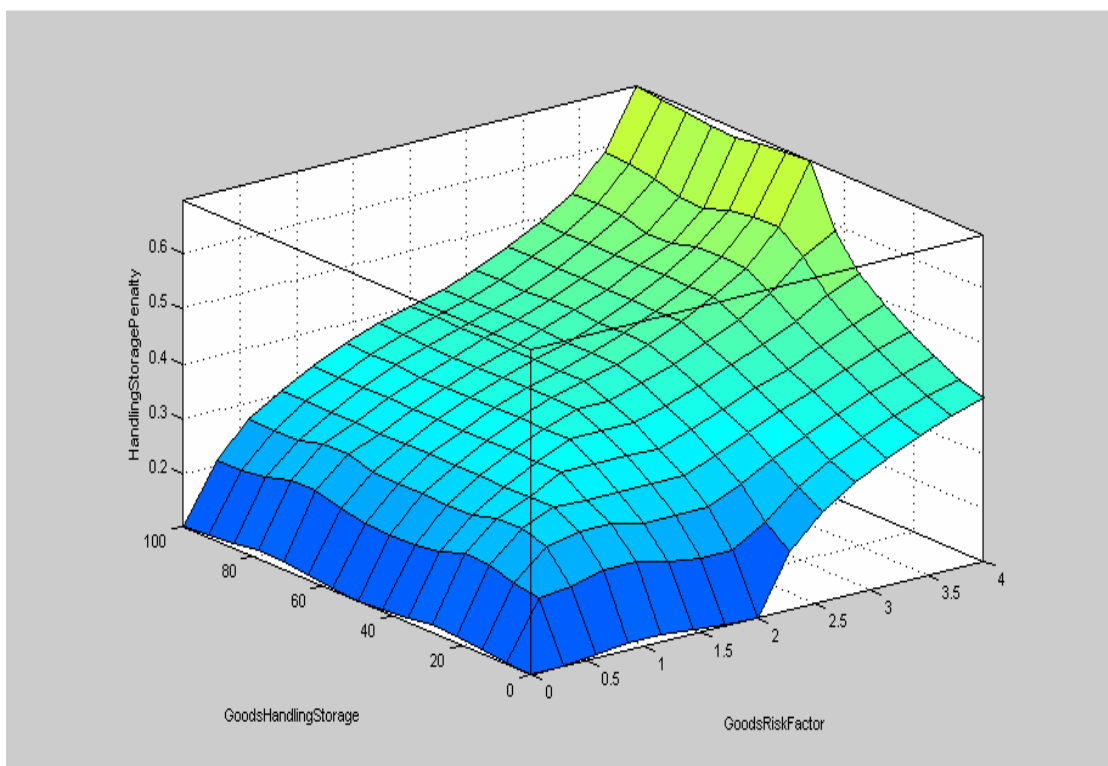


Γράφημα 4.19: Επιφάνεια ελέγχου της ποινής που προέρχεται από την αντίδραση που τυχόν συμβαίνει στην διεργασία.

Το Γράφημα 4.20 παρουσιάζει την επιφάνεια ελέγχου της ποινής που προέρχεται από τον απαιτούμενο χειρισμό των υλικών που συμμετέχουν στην διεργασία. Όπως παρατηρείται

στο γράφημα, η ποινή εξαρτάται από την επικινδυνότητα των υλικών που συμμετέχουν στην διεργασία και από το συνολικό ενδιάμεσο χειρισμό τους.

- Έτσι, υλικά με χαμηλή επικινδυνότητα, στο εύρος τιμών $[0, 2]$ ο βαθμός ποινής που προέρχεται από τον χειρισμό τους βρίσκεται στο διάστημα τιμών $[0, 0,4]$
- Όσο η επικινδυνότητα των υλικών αυξάνει, το διάστημα, όπου παίρνει τιμές η ποινή που προέρχεται από τον χειρισμό των υλικών, είναι $[0,4, 0,7]$.



Γράφημα 4.20: Επιφάνεια ελέγχου της ποινής που προέρχεται από τον απαιτούμενο χειρισμό των υλικών που συμμετέχουν στην διεργασία.

4.4. Περιγραφή του Ασαφούς Ελεγκτή για τον Προσδιορισμό των ποινών από τους Ειδικούς Κινδύνους της Διεργασίας (Special Process Hazard Penalties)

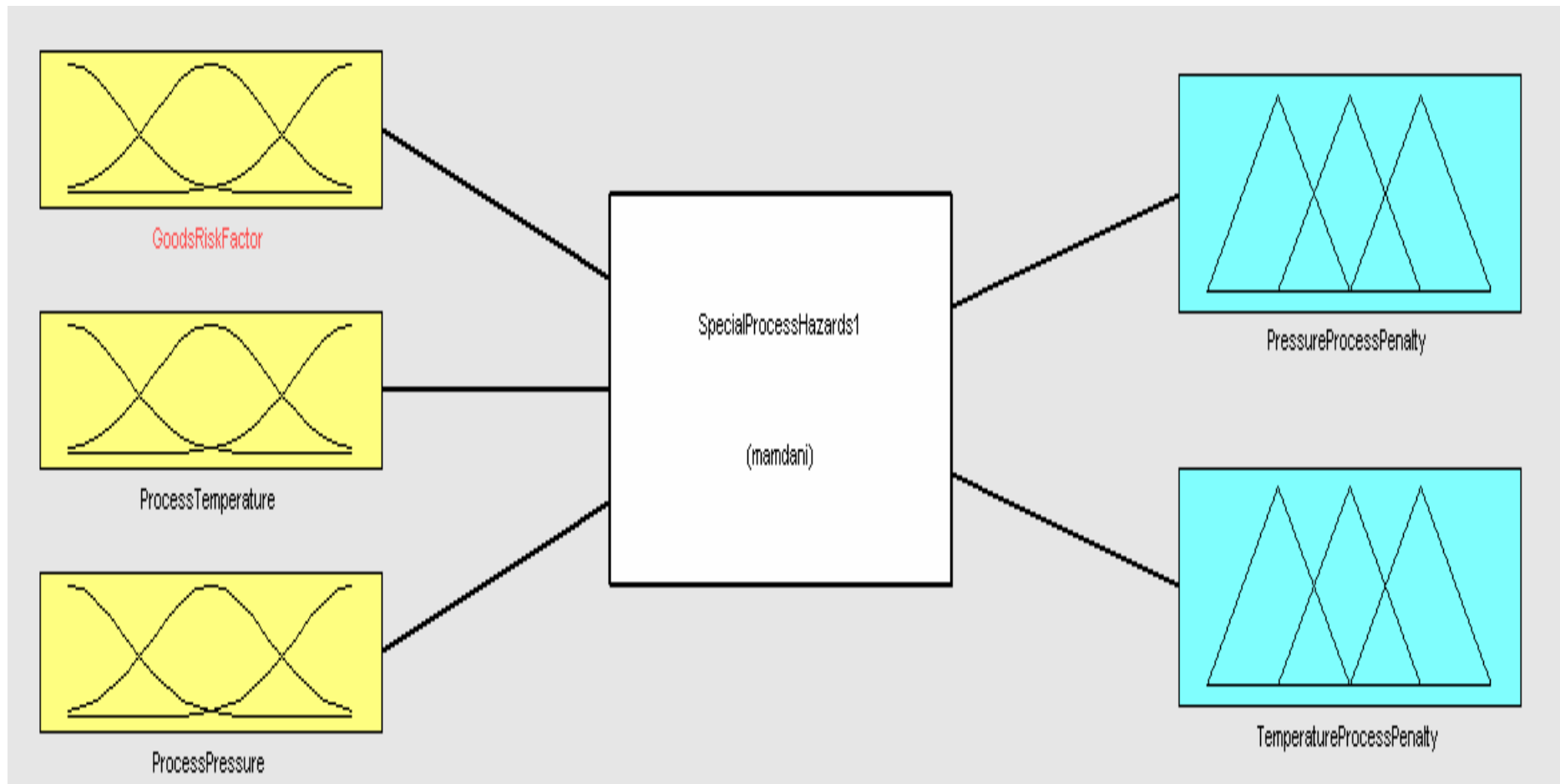
Ο προσδιορισμός των βαθμών ποινής που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας γίνεται με χρήση των ασαφών ελεγκτών που αναπτύχθηκαν στο Fuzzy Toolbox του MatLab με ονομασία SpecialProcessHazard1.fis και SpecialProcessHazard2.fis. Στα Διαγράμματα 4.4.1, 4.4.2 παρουσιάζονται οι ασαφείς ελεγκτές προσδιορισμού των βαθμών ποινής που προέρχονται από τους ειδικούς κινδύνους της διεργασίας και στον Πίνακα 6 φαίνονται οι μεταβλητές και τα ασαφή σύνολα εισόδου, εξόδου των ελεγκτών με τα εύροι τιμών τους.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 6 οι κύριες μεταβλητές εισόδου του ελεγκτή για τον προσδιορισμό των βαθμών ποινής προερχόμενοι από τους ειδικούς κινδύνους της διεργασίας είναι:

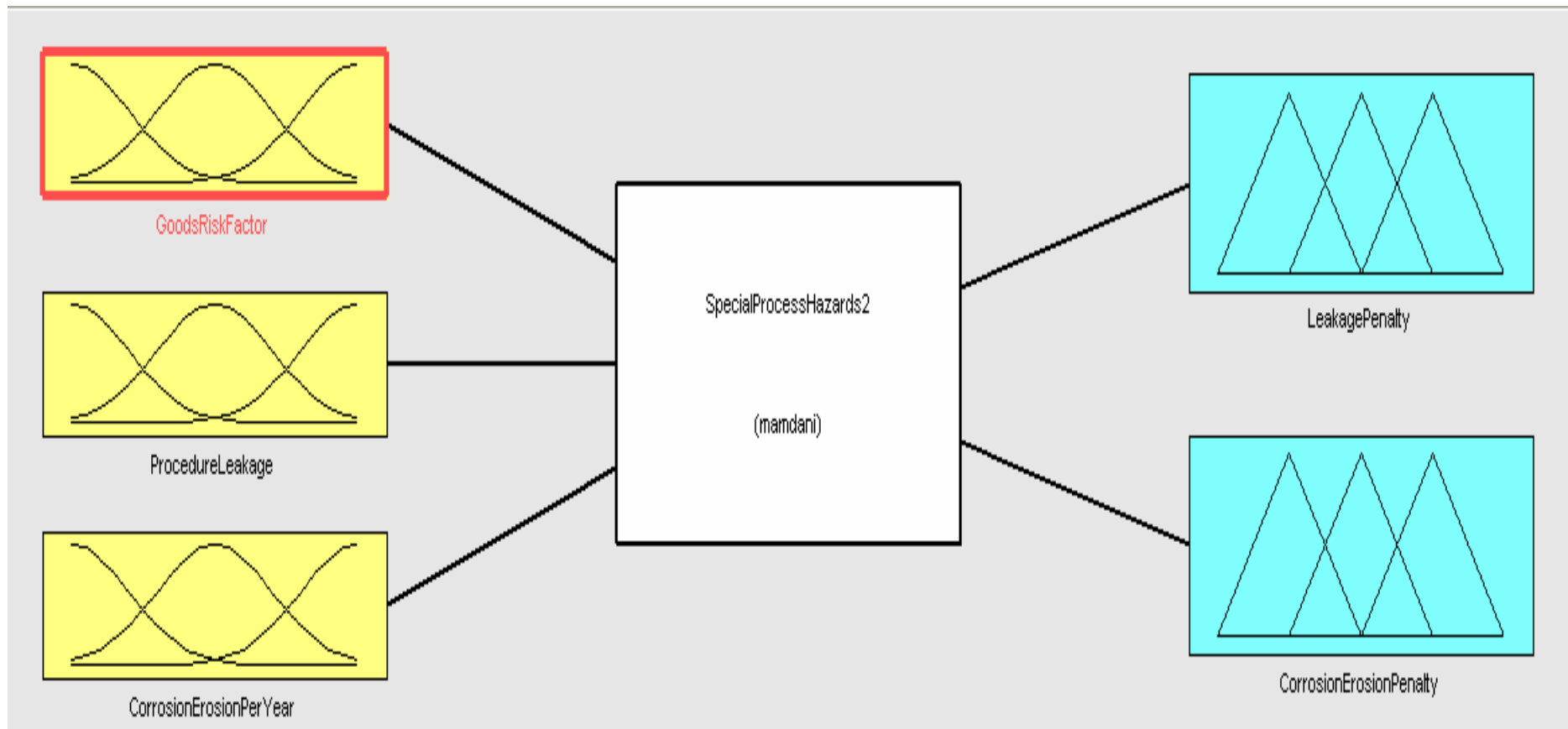
- Και ο δείκτης επικινδυνότητας των υλικών (GRF) όπως αυτός προσδιορίζεται από τον ελεγκτή GoodsFuzzyControl.fis.
- Η θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας.
- Η πίεση λειτουργίας της διεργασίας.
- Η παρατηρούμενη διαρροή των υλικών.
- Η παρατηρούμενη οξείδωση/ διάβρωση της ίδιας της διεργασίας.

Πίνακας 4.6: Μεταβλητές εισόδου και εξόδου για των προσδιορισμό των ποινών από τους ειδικούς κινδύνους της διεργασίας.

Βαθμοί Ποινής από τους Ειδικούς Κινδύνους της Διεργασίας (Special Process Hazard Penalties)			
Δεδομένα Εισόδου		Προσδιοριζόμενα Μεγέθη	
Τύπος Δεδομένου	Εύρος Τιμών	Ποινή από	Εύρος Ποινής
Συντελεστής επικινδυνότητας Υλικών (GRF)	0 - 4	Την Πίεση Λειτουργίας (PPP)	0 - 2
Θερμοκρασία Λειτουργίας της Διεργασίας (°C)	-	Την Θερμοκρασία Λειτουργίας (PTP)	0 - 1
Πίεση Λειτουργίας της Διεργασίας (atm)	-	Την Διαρροή των Υλικών (LP)	0 - 2
Παρατηρούμενη Διαρροή των Υλικών	0 – 100	Την Οξείδωση – Διάβρωση της Διεργασίας (CEP)	0 – 0,6
Παρατηρούμενη Οξείδωση – Διάβρωση (mm/year)	0 - 1	Την Τοξικότητα των Υλικών (TH)	0 - 325
SPH = PPP + PTP + LP + CEP			



Διάγραμμα 4.4.1.: Δεδομένα Εισόδου και Εξόδου του Ασαφούς Ελεγκτή για τον προσδιορισμό των βαθμών ποινής από τους ειδικούς κινδύνους της διεργασίας, (ελεγκτής Special Process Hazard Penalties 1).

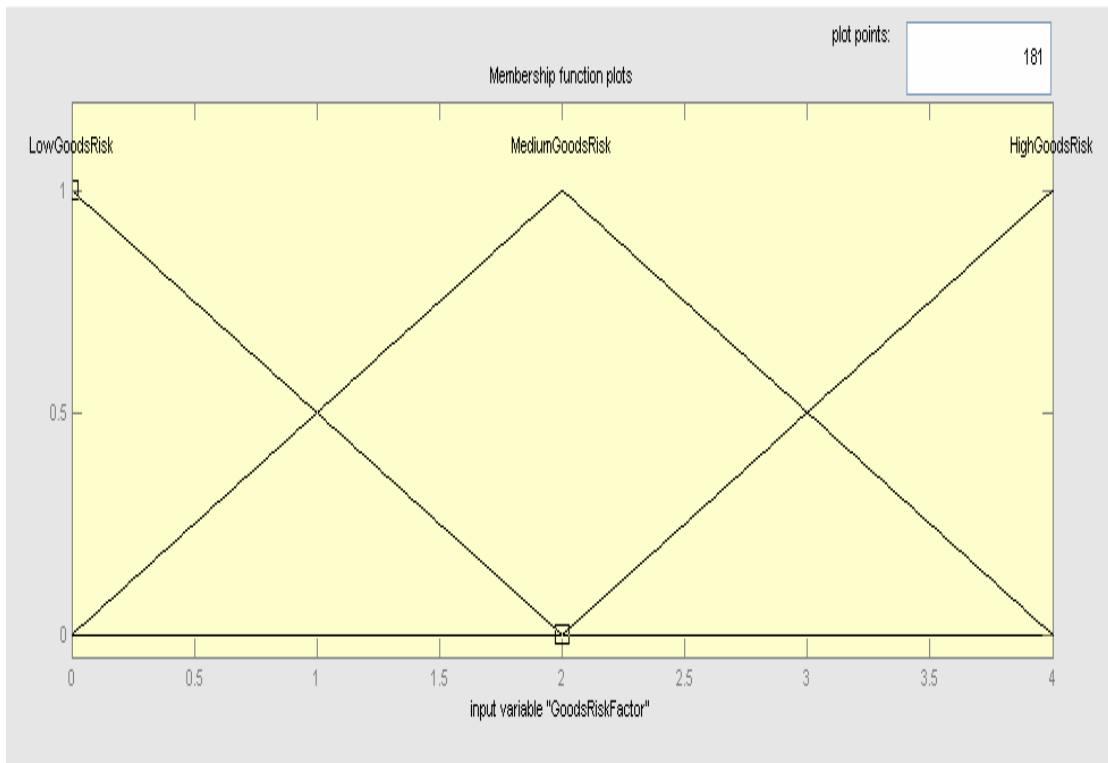


Διάγραμμα 4.4.2.: Δεδομένα Εισόδου και Εξόδου του Ασαφούς Ελεγκτή για τον προσδιορισμό των βαθμών ποινής από τους ειδικούς κινδύνους της διεργασίας (ελεγκτής *Special Process Hazard Penalties 2*).

4.4.1. Ασαφή Σύνολα Εισόδου – Εξόδου.

Όπως και στον ελεγκτή για τον προσδιορισμό των γενικών κινδύνων της διεργασίας, η επικινδυνότητα των υλικών, που χρησιμοποιούνται στη διεργασία, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για τον προσδιορισμό και των ειδικών κινδύνων που διέπουν την διεργασία. Τα υλικά έχουν αποκτήσει από τον ελεγκτή προσδιορισμού του δείκτη επικινδυνότητας των υλικών, (GoodsFuzzyControl.fis.) τιμή, η οποία χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα άλλα δεδομένα εισόδου για τον προσδιορισμό των ποινών που προέρχονται από τους ειδικούς κινδύνους. Έτσι, σύμφωνα με το γράφημα 3.21 έγινε η ασαφοποίηση:

- Με την δεξιά πλευρά ενός ασαφούς τριγώνου ασαφοποιούνται τα υλικά με χαμηλό δείκτη επικινδυνότητας και εύρος τιμών [0, 2].
- Με ασαφές τρίγωνο περιγράφονται και τα υλικά με μεσαία τιμή του δείκτη επικινδυνότητας και εύρος τιμών [0, 4].
- Τέλος, με την αριστερή πλευρά ενός ασαφούς τριγώνου, περιγράφονται τα υλικά που έχουν υψηλό δείκτη επικινδυνότητας και εύρος τιμών [2, 4].



Γράφημα 4.21: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της επικινδυνότητας των υλικών που συμμετέχουν στην διεργασία.

Στην συνέχεια, γίνεται ασαφοποίηση της θερμοκρασίας λειτουργίας της διεργασίας. Η ασαφοποίηση προκύπτει από την σύγκριση της θερμοκρασίας λειτουργίας και της θερμοκρασίας ανάφλεξης των υλικών που συμμετέχουν στην διεργασία. Έτσι όταν η θερμοκρασία της διεργασίας είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία ανάφλεξης των υλικών γίνεται χρήση της Εξίσωσης 4.1, στην αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιείται η Εξίσωση 4.2

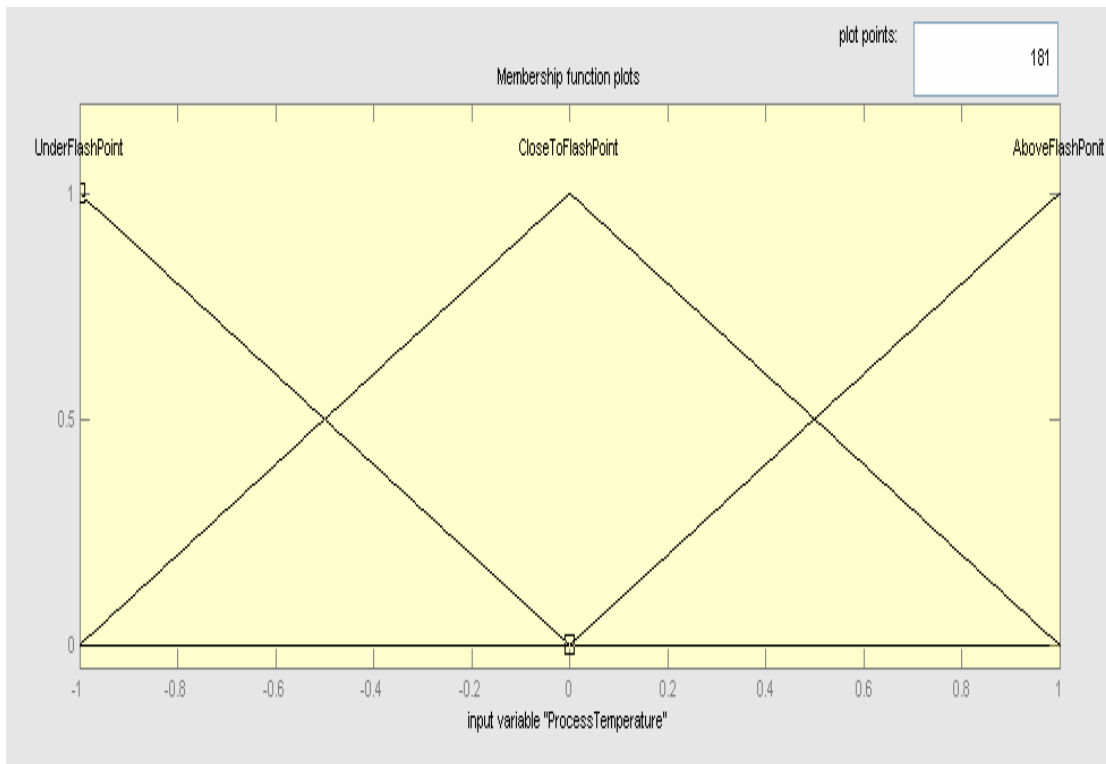
$$\frac{(\text{Θερμοκρασία της Διεργασίας}) - (\text{Θερμοκρασία Ανάφλεξης Υλικών})}{(\text{Θερμοκρασία της Διεργασίας})}$$

(Εξίσωση 4.1)

$$\frac{(\text{Θερμοκρασία της Διεργασίας}) - (\text{Θερμοκρασία Ανάφλεξης Υλικών})}{(\text{Θερμοκρασία Ανάφλεξης Υλικών})}$$

(Εξίσωση 4.2)

- Όταν η θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας είναι μικρότερη της θερμοκρασίας ανάφλεξης των υλικών η ασαφοποίηση γίνεται με τη δεξιά πλευρά ενός ασαφούς τριγώνου με εύρος τιμών $[-1, 0]$. Στην τιμή 0 η θερμοκρασία λειτουργίας και η θερμοκρασία ανάφλεξης ταυτίζονται.
- Η ασαφής περιοχή όπου η θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας και η θερμοκρασία ανάφλεξης των υλικών ταυτίζεται, περιγράφεται με το ασαφές τρίγωνο στο διάστημα τιμών της εξίσωσης 1 μεταξύ $[-1, 1]$.
- Τέλος, όταν η θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας είναι μεγαλύτερη της θερμοκρασίας ανάφλεξης των υλικών η ασαφοποίηση γίνεται με την αριστερή πλευρά ενός ασαφούς τριγώνου στο διάστημα τιμών της εξίσωσης 1 μεταξύ $[0, 1]$.



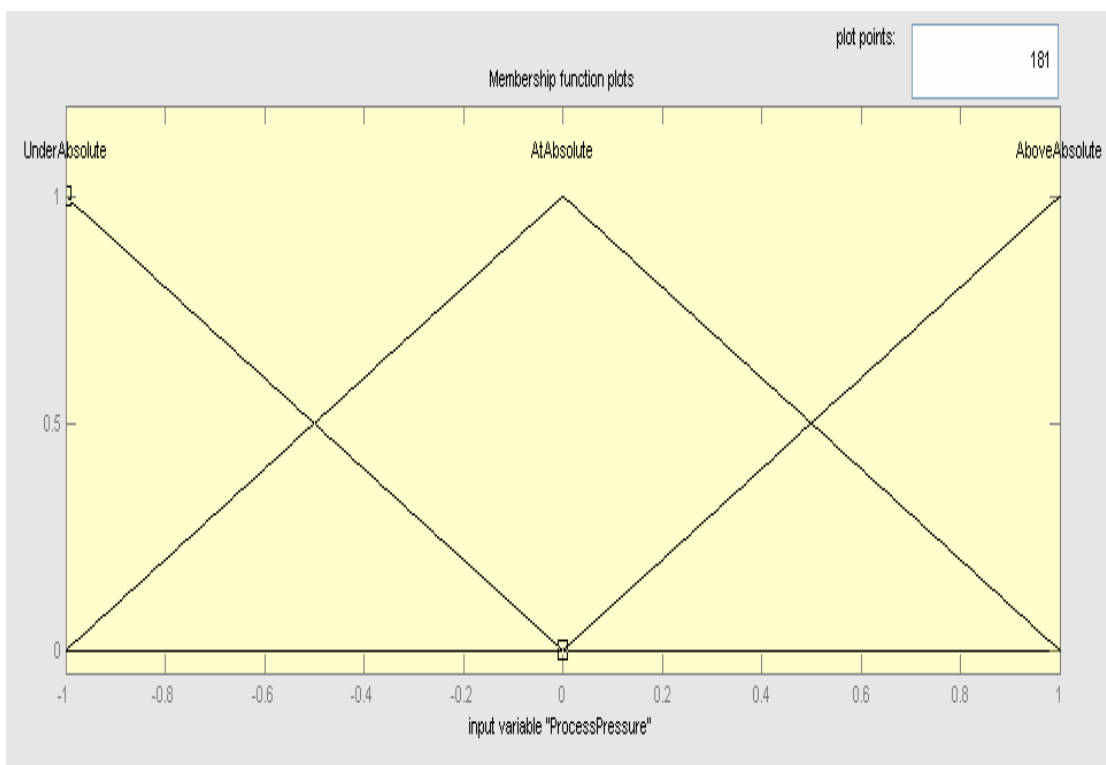
Γράφημα 4.22: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της θερμοκρασίας λειτουργίας της διεργασίας.

Η ασαφοποίηση για τον προσδιορισμό του βαθμού ποινής που προέρχεται από την πίεση λειτουργίας της διεργασίας, γίνεται συγκρίνοντας την πίεση λειτουργίας της διεργασίας με την απόλυτη πίεση σύμφωνα με την Εξίσωση 4.3

$$\frac{(\text{Πίεση της Διεργασίας}) - (1)}{(\text{Πίεση της Διεργασίας})}$$

(Εξίσωση 4.3)

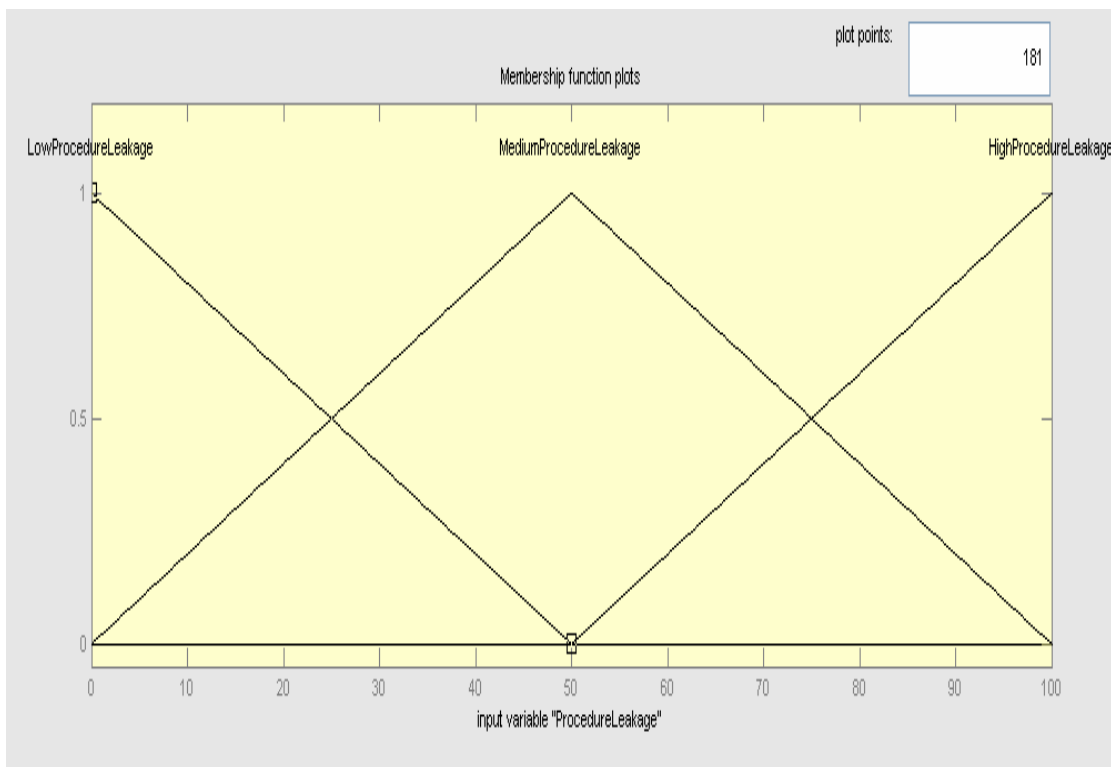
- Η ασαφής περιοχή όπου η πίεση της διεργασίας είναι μικρότερη της απόλυτης, περιγράφεται με την δεξιά πλευρά ενός ασαφούς τριγώνου με εύροι τιμών στο διάστημα $[-1, 0]$.
- Η ασαφής περιοχή όπου η πίεση λειτουργίας της διεργασίας είναι κοντά στην απόλυτη πίεση, περιγράφεται με το ασαφές τρίγωνο στο διάστημα τιμών $[-1, 1]$.
- Η ασαφής περιοχή όπου η πίεση της διεργασίας είναι μεγαλύτερη της απόλυτης, περιγράφεται με την αριστερή πλευρά ενός ασαφούς τριγώνου με εύροι τιμών στο διάστημα $[0, 1]$.



Γράφημα 4.23: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της πίεσης λειτουργίας της διεργασίας.

Στους ειδικούς κινδύνους που εμπεριέχονται σε μία διεργασία είναι και η παρατηρούμενη διαρροή των υλικών από την διεργασία. Η ασαφοποίηση της παρατηρούμενης διαρροής των υλικών γίνεται με τα παρακάτω ασαφή σύνολα:

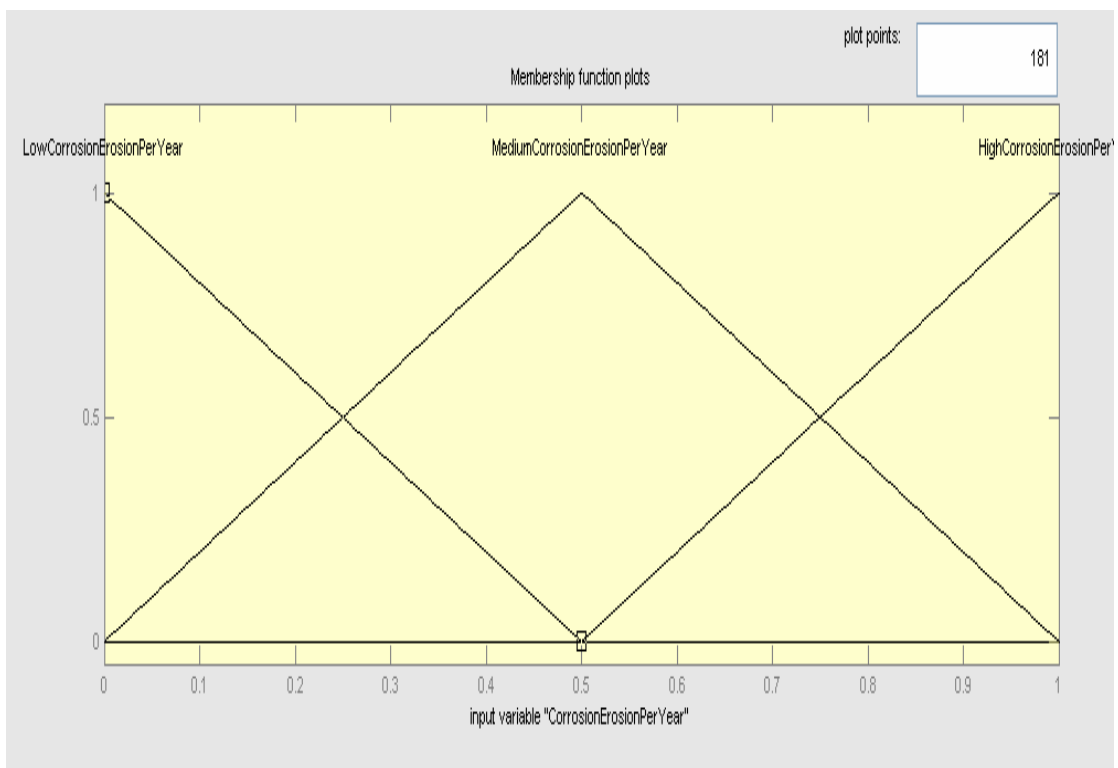
- Όταν η παρατηρούμενη διαρροή των υλικών είναι μικρή, γίνεται χρήση της δεξιάς πλευράς ενός ασαφούς τριγωνικού αριθμού με εύρος τιμών της παρατήρησης στο διάστημα $[0, 50]$.
- Όταν η παρατηρούμενη διαρροή των υλικών είναι εμφανής, γίνεται χρήση ασαφούς τριγωνικού αριθμού με εύρος τιμών της παρατήρησης στο διάστημα $[0, 100]$.
- Όταν η παρατηρούμενη διαρροή των υλικών είναι μεγάλη, γίνεται χρήση της αριστερής πλευράς ενός ασαφούς τριγωνικού αριθμού με εύρος τιμών της παρατήρησης στο διάστημα $[50, 100]$.



Γράφημα 4.24: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της παρατηρούμενης διαρροής των υλικών που συμμετέχουν στην διεργασία.

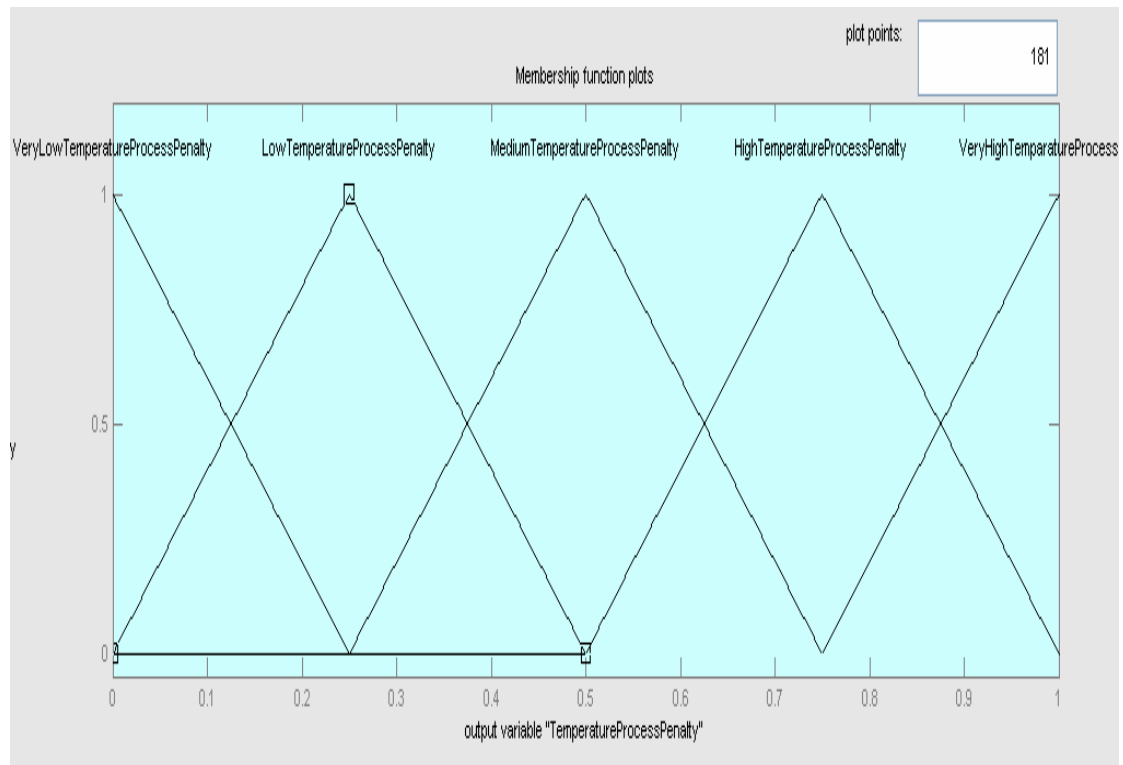
Τα δεδομένα εισόδου για τον προσδιορισμό των βαθμών ποινής, που προέρχονται από τους ειδικούς κινδύνους της διεργασίας ολοκληρώνονται λαμβάνοντας και την οξείδωση/διάβρωση της ίδιας της διεργασίας. Έτσι:

- Όταν η μετρούμενη οξείδωση/ διάβρωση είναι στο διάστημα τιμών μεταξύ $[0, 0,5]$ mm/year, η ασαφοποίηση γίνεται με την δεξιά πλευρά ενός ασαφούς τριγωνικού αριθμού.
- Όταν η μετρούμενη οξείδωση/ διάβρωση είναι στο διάστημα τιμών μεταξύ $[0, 1]$ mm/year, η ασαφοποίηση γίνεται με την χρήση ενός ασαφούς τριγωνικού αριθμού.
- Όταν η μετρούμενη οξείδωση/ διάβρωση είναι στο διάστημα τιμών μεταξύ $[0,5, 1]$ mm/year, η ασαφοποίηση γίνεται με την αριστερή πλευρά ενός ασαφούς τριγωνικού αριθμού.

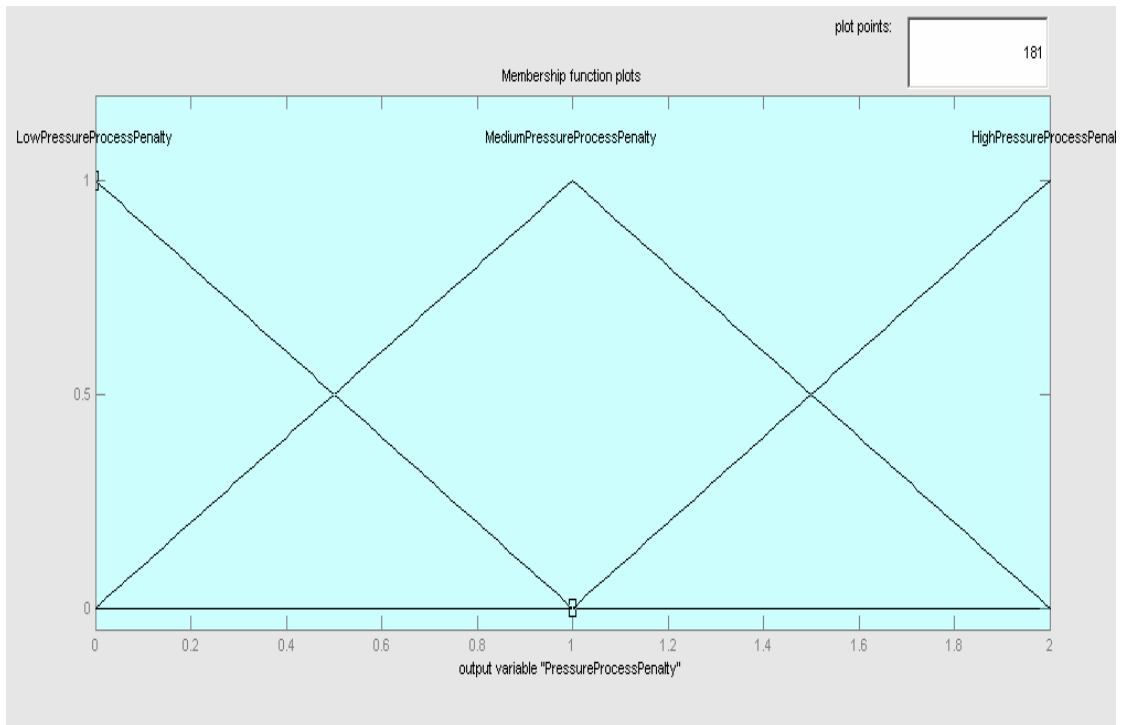


Γράφημα 4.25: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της παρατηρούμενης οξείδωσης/ διάβρωσης της διεργασίας.

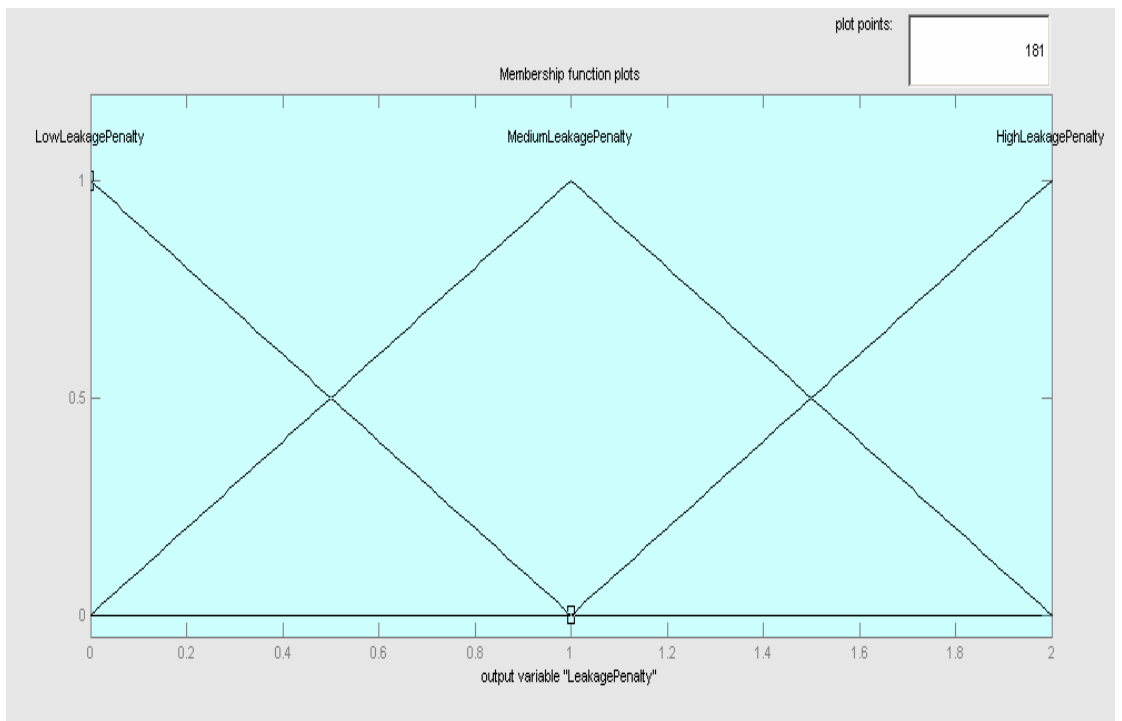
Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα γραφήματα με τα ασαφή σύνολα εξόδου του ελεγκτή για τον προσδιορισμό των ποινών που προέρχονται από τους ειδικούς κινδύνους της διεργασίας. Η ασαφοποίηση των συνόλων έγινε με χρήση τριγωνικών ασαφών αριθμών. Η αποτελεσματικότητα του ελεγκτή παρουσιάζεται μέσω των επιφανειών ελέγχου, ο σχολιασμός των οποίων ακολουθεί.



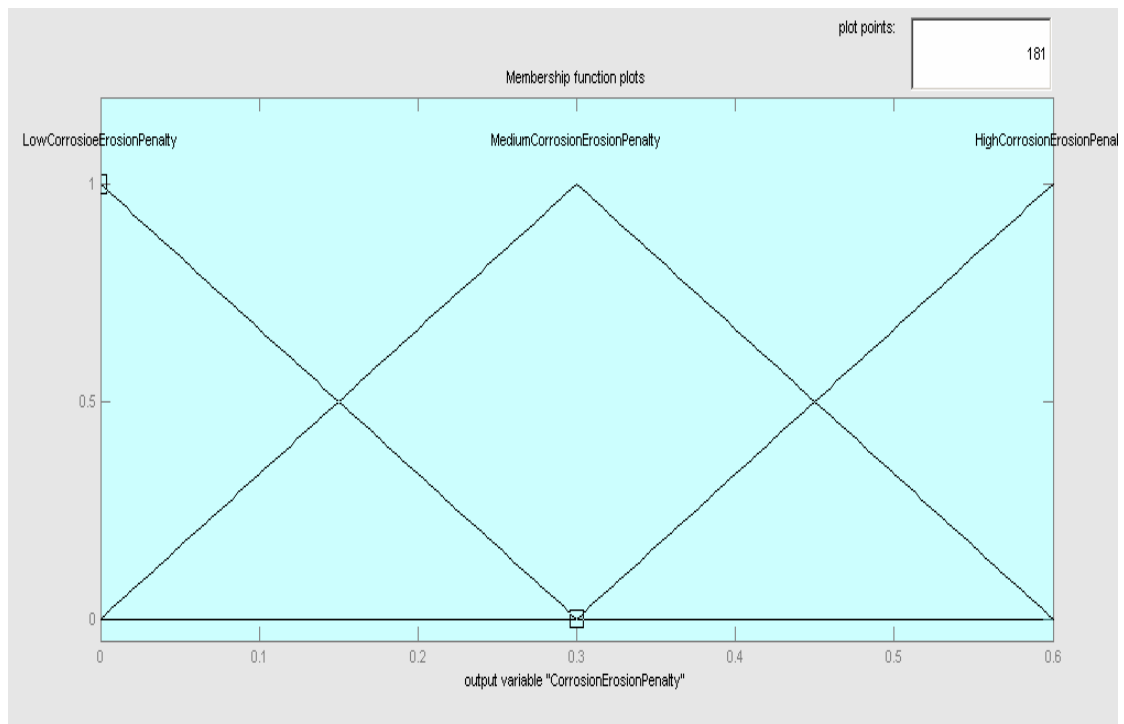
Γράφημα 4.26: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της ποινής που προέρχεται από την θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας.



Γράφημα 4.27: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της ποινής που προέρχεται από την πίεση λειτουργίας της διεργασίας.



Γράφημα 4.28: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της ποινής που προέρχεται από την παρατηρούμενη διαρροή των υλικών της διεργασίας.

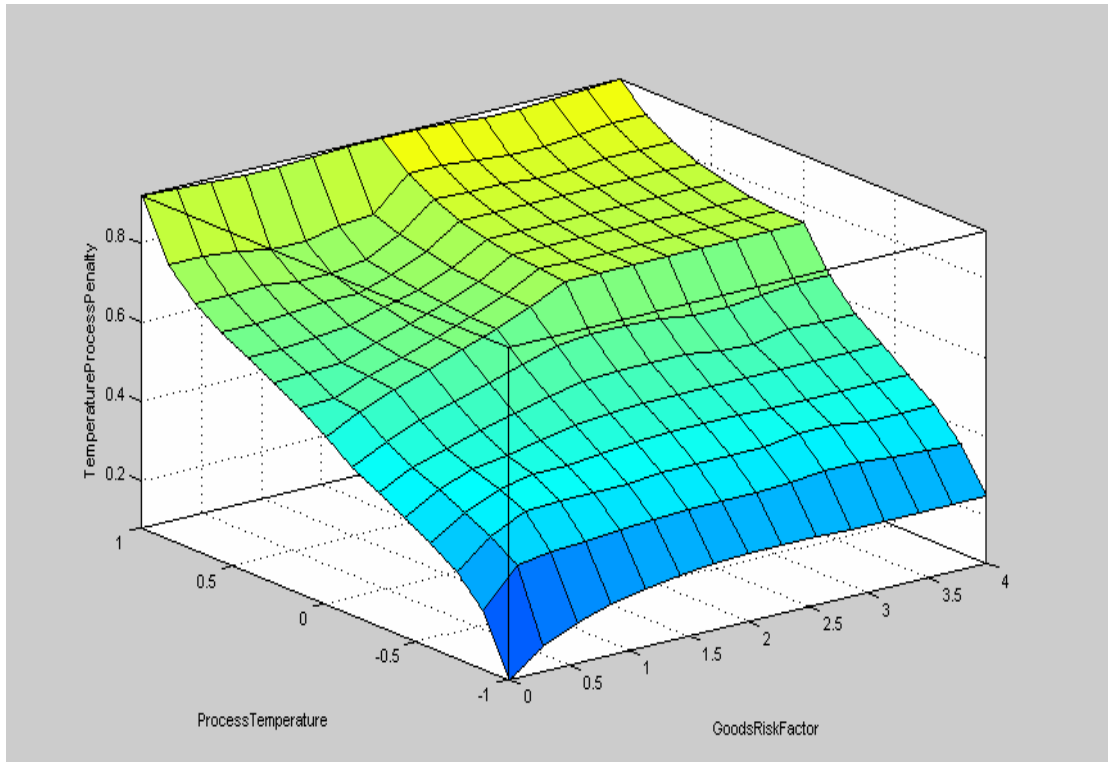


Γράφημα 4.29: Ασαφή σύνολα χαρακτηρισμού της ποινής που προέρχεται από την μετρούμενη οξείδωση/διάβρωση της διεργασίας.

4.4.2. Επιφάνειες Ελέγχου των ποινών που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας.

Στο Γράφημα 4.30 παρουσιάζεται η επιφάνεια προσδιορισμού της ποινής που προέρχεται από την θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας σε σχέση με την επικινδυνότητα των υλικών (τιμή του Δείκτη επικινδυνότητας), που συμμετέχουν στην διεργασία. Από την μελέτη του γραφήματος 4.30 σημειώνονται τα παρακάτω:

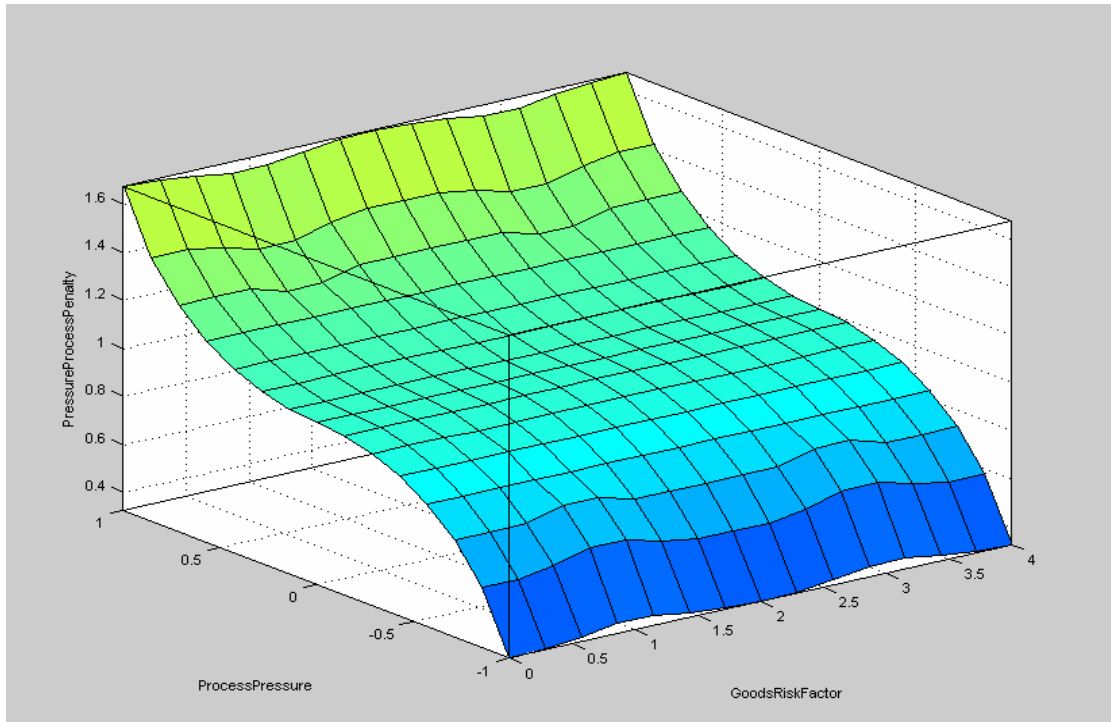
- Όταν η θερμοκρασία ανάφλεξης των υλικών της διεργασίας είναι μικρότερη από την θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας, τότε η τιμή της ποινής βρίσκεται στο διάστημα τιμών $[0, 0,2]$ ανεξάρτητα από την επικινδυνότητα που παρουσιάζουν τα υλικά.
- Καθώς η θερμοκρασία ανάφλεξης των υλικών πλησιάζει την θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας ο βαθμός ποινής αυξάνει και σε συνάρτηση μες την επικινδυνότητα των υλικών κινείται στο διάστημα τιμών μεταξύ $[0,2, 0,7]$ όταν η δύο θερμοκρασίες είναι ίσες.
- Όταν η θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία ανάφλεξης των υλικών ο βαθμός ποινής αυξάνει στο διάστημα $[0,4, 1]$, παίρνοντας την μεγαλύτερη τιμή του ανεξάρτητα από την επικινδυνότητα των υλικών όταν η απόκλιση των δύο θερμοκρασιών είναι πολύ μεγάλη.



Γράφημα 3.30: Επιφάνεια προσδιορισμού της ποινής που προέρχεται από την θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας.

Στο Γράφημα 4.31 παρουσιάζεται η επιφάνεια προσδιορισμού της ποινής που προέρχεται από την απόλυτη πίεση λειτουργίας της διεργασίας σε σχέση με την επικινδυνότητα των υλικών (τιμή του Δείκτη επικινδυνότητας), που συμμετέχουν στην διεργασία. Από την μελέτη του γραφήματος 4.30 σημειώνονται τα παρακάτω:

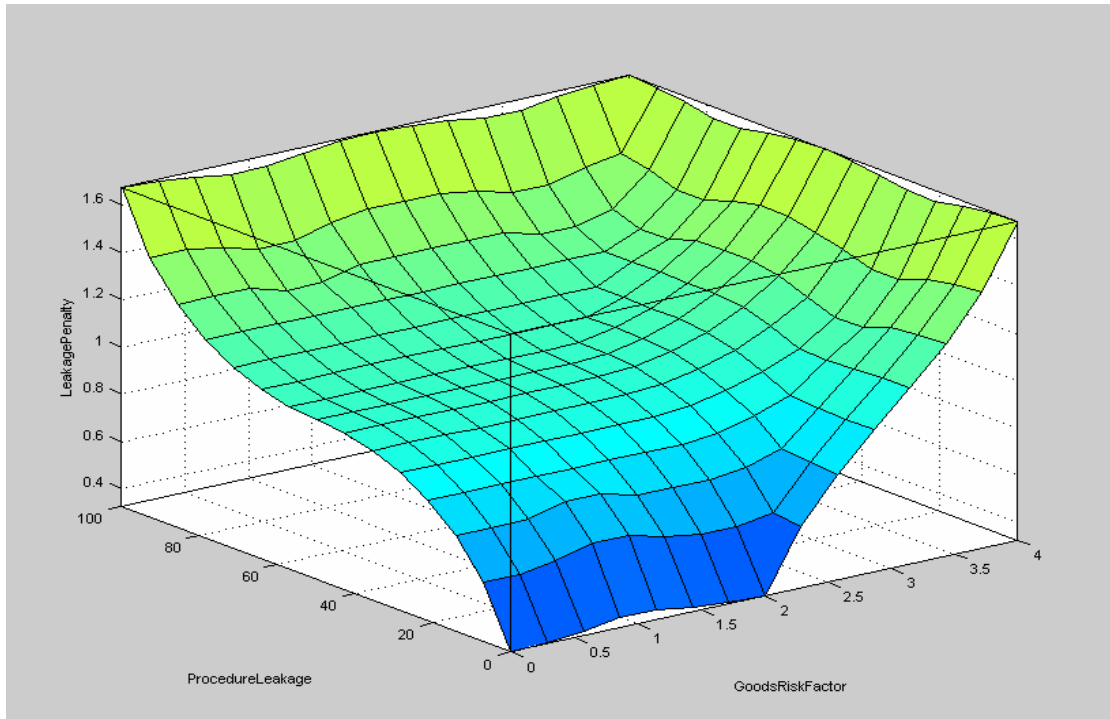
- Όταν η απόλυτη πίεση λειτουργίας της διεργασίας είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση, τότε η τιμή της ποινής βρίσκεται στο διάστημα τιμών $[0, 0,25]$ για τα υλικά που έχουν δείκτη επικινδυνότητας (GRF) έως την τιμή 2. για μεγαλύτερες τιμές του δείκτη επικινδυνότητας η ποινή αυξάνει στο διάστημα τιμών μεταξύ των $[0,25, 1]$.
- Για διεργασίες που λειτουργούν στην ατμοσφαιρική πίεση ο βαθμός ποινής ξεκινάει από την τιμή 0,25 για τα υλικά με μηδενική επικινδυνότητα και αυξάνεται έως την τιμή 1,5 για τα πολύ επικίνδυνα υλικά.
- Όταν η απόλυτη πίεση λειτουργίας της διεργασίας είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική ο βαθμός ποινής αυξάνει σε σχέση με την επικινδυνότητα των υλικών στο διάστημα $[0,5, 1,5]$.



Γράφημα 4.31: Επιφάνεια προσδιορισμού της ποινής που προέρχεται από την πίεση λειτουργίας της διεργασίας.

Στο Γράφημα 4.32 παρουσιάζεται η επιφάνεια προσδιορισμού της ποινής που προέρχεται από την παρατηρούμενη διαρροή των υλικών της διεργασίας σε σχέση με την επικινδυνότητα των υλικών (τιμή του Δείκτη επικινδυνότητας), που συμμετέχουν στην διεργασία. Από την μελέτη του γραφήματος 4.31 σημειώνονται τα παρακάτω:

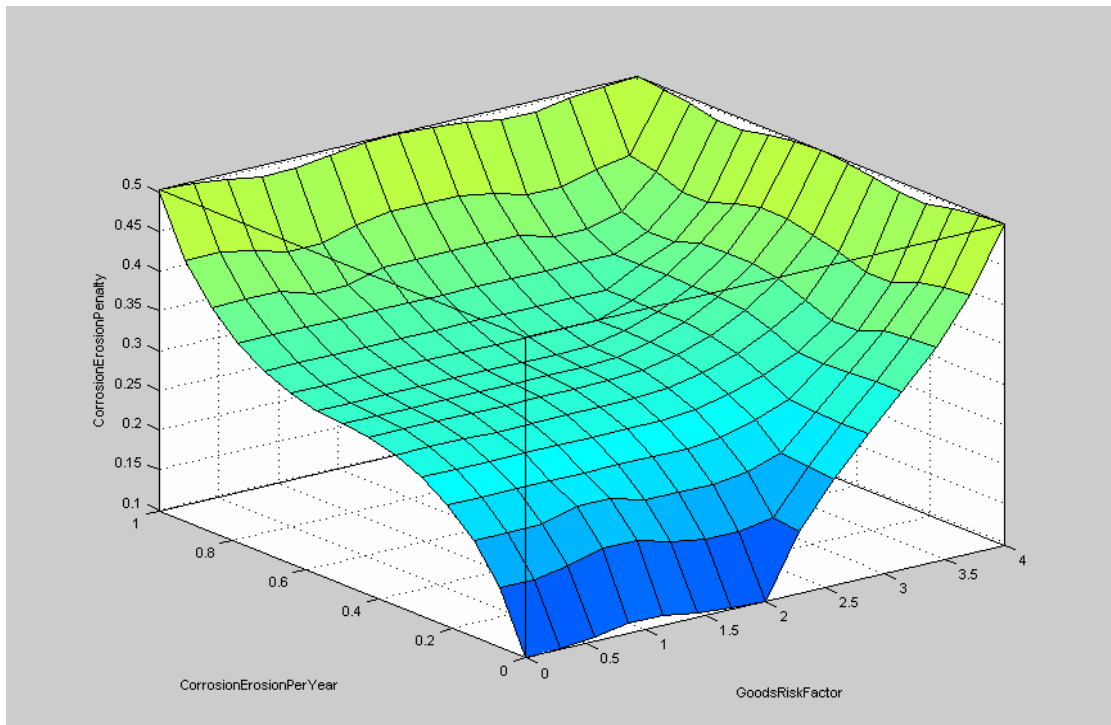
- Όταν η παρατηρούμενη διαρροή των υλικών είναι μικρή και η επικινδυνότητα των υλικών χαμηλή ο βαθμός ποινής παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,2, 0,5]$. Για υλικά με μεγαλύτερη επικινδυνότητα ο βαθμός ποινής βρίσκεται στο διάστημα $[0,5, 1,2]$
- Όταν η διαρροή των υλικών αυξάνει και τα υλικά που διαρρέουν είναι χαμηλής επικινδυνότητας ο βαθμός ποινής παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,5, 1]$. Καθώς αυξάνει η επικινδυνότητα των υλικών αυξάνει και η ποινή, που κινείται στο διάστημα $[1, 1,6]$
- Για τα επικίνδυνα υλικά που διαρρέουν από την διεργασία η ποινή κινείται στο διάστημα $[1,5, 2]$.



Γράφημα 4.32: Επιφάνεια προσδιορισμού της ποινής που προέρχεται από την παρατηρούμενη διαρροή των υλικών της διεργασίας.

Στο Γράφημα 4.33 παρουσιάζεται η επιφάνεια προσδιορισμού της ποινής που προέρχεται από την ετήσια οξείδωση/ διάβρωση της διεργασίας σε σχέση με την επικινδυνότητα των υλικών (τιμή του Δείκτη επικινδυνότητας), που συμμετέχουν στην διεργασία. Από την μελέτη του γραφήματος 4.33 σημειώνονται τα παρακάτω:

- Όταν η παρατηρούμενη οξείδωση/ διάβρωση είναι μικρή και η επικινδυνότητα των υλικών χαμηλή ο βαθμός ποινής παίρνει τιμές στο διάστημα $[0, 0,15]$. Για υλικά με μεγαλύτερη επικινδυνότητα και μικρή ετήσια οξείδωση/ διάβρωση ο βαθμός ποινής έχει τιμή 0,2.
- Όταν η μετρούμενη οξείδωση/ διάβρωση αυξάνει και τα υλικά που διαρρέουν είναι χαμηλής επικινδυνότητας ο βαθμός ποινής παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,1, 0,2]$. Καθώς αυξάνει η επικινδυνότητα των υλικών αυξάνει και η ποινή, που κινείται στο διάστημα $[0,2, 0,35]$
- Όταν στην διεργασία συμμετέχουν υλικά με μεγάλο δείκτη επικινδυνότητας η ποινή από την οξείδωση/ διάβρωση της διεργασίας παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,2, 0,5]$.



Γράφημα 4.33: Επιφάνεια προσδιορισμού της ποινής που προέρχεται από την ετήσια οξείδωση/ διάβρωση της διεργασίας.

4.5. Διαγράμματα Αξιολόγησης Λειτουργίας του Ελεγκτή

Η αξιολόγηση της λειτουργίας του ελεγκτή προσδιορισμού του δείκτη επικινδυνότητας των διεργασιών (Process Hazard Index) έγινε συγκρίνοντας τον δείκτη εκρηκτικότητας (Fire Index) 640 διεργασιών λαμβάνοντας υπόψη:

- Την επικινδυνότητα των υλικών, που συμμετέχουν στην προς αξιολόγηση διεργασία, εκφρασμένη στο εύρος τιμών του συντελεστή αναφλεξιμότητας του υλικού (Flammability Material Factor, MF), όπως περιγράφεται στον πίνακα 2.8.
- Το μέγεθος της διεργασίας, μεταβάλλοντας το επί της εκατό ποσοστό της οριακής συγκέντρωσης του υλικού στις τιμές (20%, 40%, 60%, 80%).
- Την κλάση της ποινής των γενικών κινδύνων της διεργασίας (GRHP), όπως αυτή αναλύεται στον πίνακα 4.8.
- Την κλάση της ποινής των ειδικών κινδύνων της διεργασίας (SRHP), όπως αυτή αναλύεται στον πίνακα 4.8.

Στον πίνακα 4.9 αναφέρονται τα δεδομένα εισόδου των διεργασιών που μελετώνται, ομαδοποιημένα ως προς:

- Το μέγεθος της διεργασίας, (σύμφωνα με το επί της εκατό ποσοστό οριακής συγκέντρωσης των υλικών),
- Τις τιμές του συντελεστή αναφλεξιμότητας των υλικών (Flammability Material Factor, MF),
- Τις τιμές της ποινής που προέρχεται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας, ανά κατηγορία κατάταξης,
- Τις τιμές της ποινής που προέρχεται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας, ανά κατηγορία κατάταξης,

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα σύγκρισης των διεργασιών. Στο κάθε διάγραμμα απεικονίζονται:

- Στον x-άξονα οι 10 διαφορετικές τιμές του συντελεστή αναφλεξιμότητας των υλικών της διεργασίας (Flammability Material Factor, MF).
- Στον y-άξονα οι τιμές του δείκτη επικινδυνότητας της διεργασίας (Process Hazard Index), που προκύπτει από τον ελεγκτή.
- Για τον ίδιο συντελεστή αναφλεξιμότητας των υλικών της διεργασίας (Flammability Material Factor, MF), σε κολόνα, το μέγεθος της διεργασίας, ανάλογα με το επί της εκατό ποσοστό της οριακής συγκέντρωσης των υλικών.
- Η κλάση των ποινών που προέρχονται από τους γενικούς κινδύνους της διεργασίας.
- Η κλάση των ποινών που προέρχονται από τους ειδικούς κινδύνους της διεργασίας.

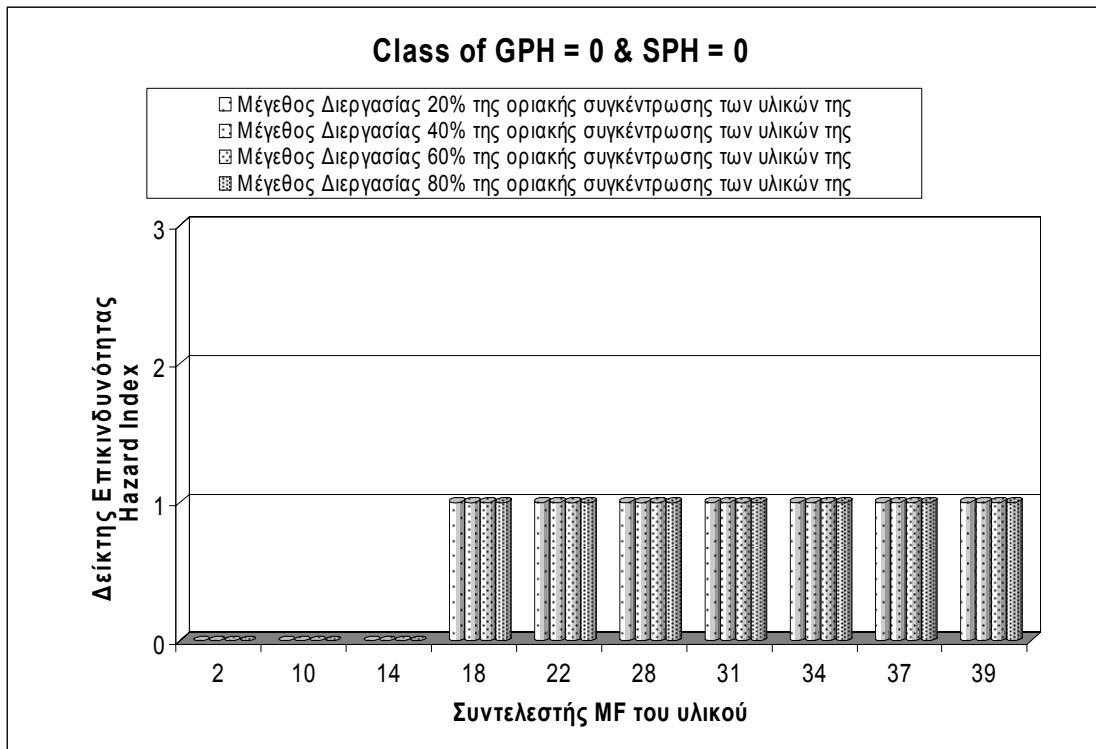
Πίνακας 4.8: Κατηγοριοποίηση των ποινών που προέρχονται από τους γενικούς, ειδικούς κινδύνους της διεργασίας

Κατηγοριοποίηση της Ποινής των Γενικών Κινδύνων	
Κλάση	Εύρος τιμών GPHP
0	[0, 0.575)
1	[0.575, 1.15)
2	[1.15, 1.725)
3	≥ 1.725

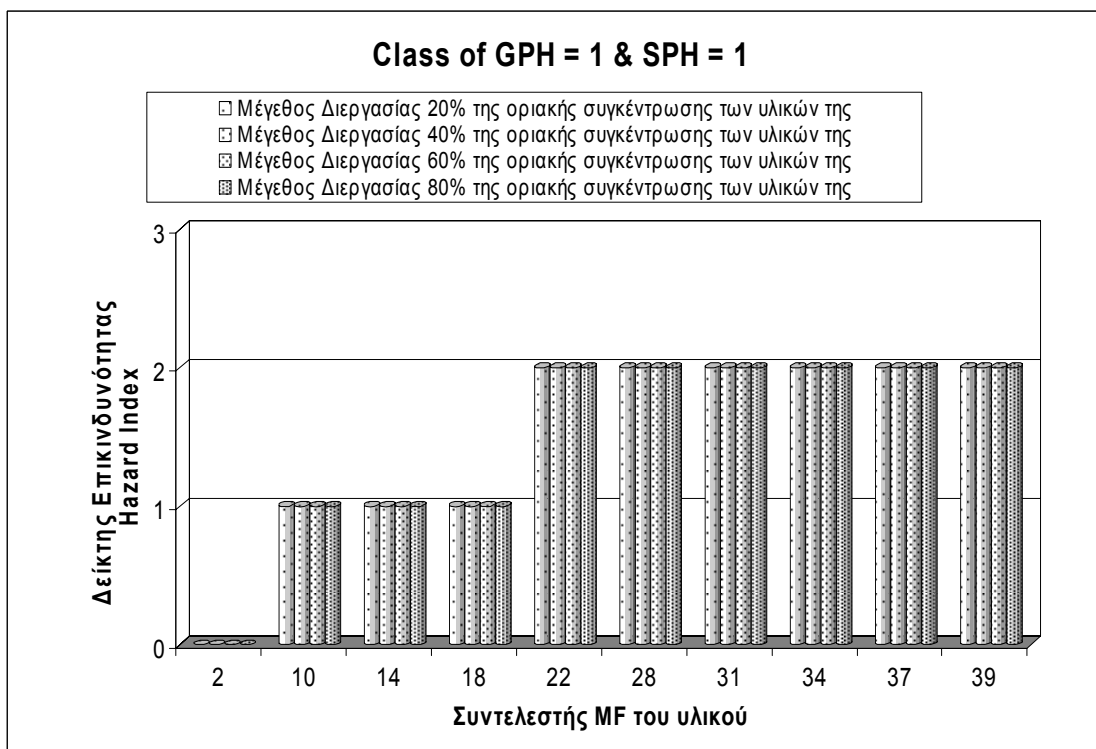
Κατηγοριοποίηση της Ποινής των Ειδικών Κινδύνων	
Κλάση	Εύρος τιμών SPHP
0	[0, 1.3125)
1	[1.3125, 2.625)
2	[2.625, 3.9375)
3	≥ 3.9375

Πίνακας 4.9: Δεδομένα Εισόδου για την Αξιολόγηση Λειτουργίας του Ελεγκτή Προσδιορισμού του Δείκτη Επικινδυνότητας των Διεργασιών (Hazard Index)

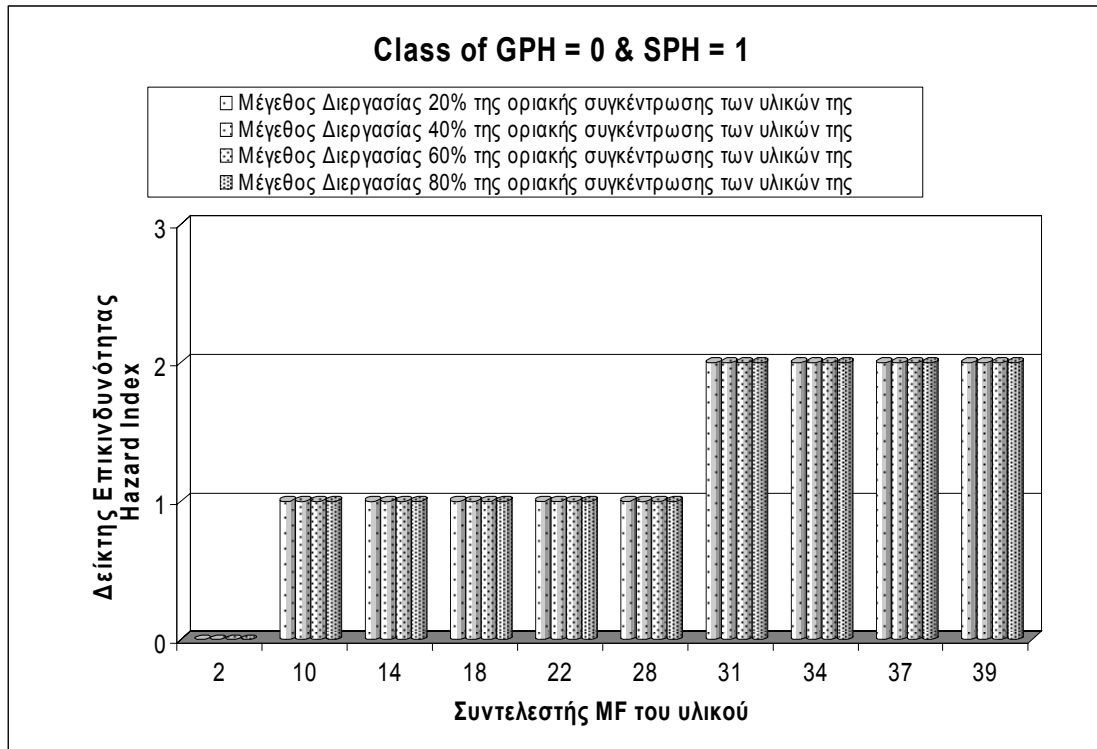
Μέγεθος της Διεργασίας με βάση ποσοστό της οριακή συγκέντρωση του υλικού					20%		40%		60%		80%			
Συντελεστής Αναφλεξιμότητας του Υλικού (MF)					2	10	14	18	22	28	31	34	37	39
Βαθμός Ποινής από τους Γενικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Ειδικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Γενικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Ειδικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Γενικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Ειδικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Γενικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Ειδικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Γενικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Ειδικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Γενικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Ειδικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Γενικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Ειδικούς Κινδύνους	Βαθμός Ποινής από τους Γενικούς Κινδύνους
0,2875	0,65625	0,8625	0,65625	1,4375	0,65625	2,0125	0,65625	2,0125	0,65625	0,65625	0,65625	0,65625	0,65625	0,65625
0,2875	1,96875	0,8625	1,96875	1,4375	1,96875	2,0125	1,96875	2,0125	1,96875	2,0125	1,96875	2,0125	1,96875	1,96875
0,2875	3,28125	0,8625	3,28125	1,4375	3,28125	2,0125	3,28125	2,0125	3,28125	2,0125	3,28125	2,0125	3,28125	3,28125
0,2875	4,59375	0,8625	4,59375	1,4375	4,59375	2,0125	4,59375	2,0125	4,59375	2,0125	4,59375	2,0125	4,59375	4,59375



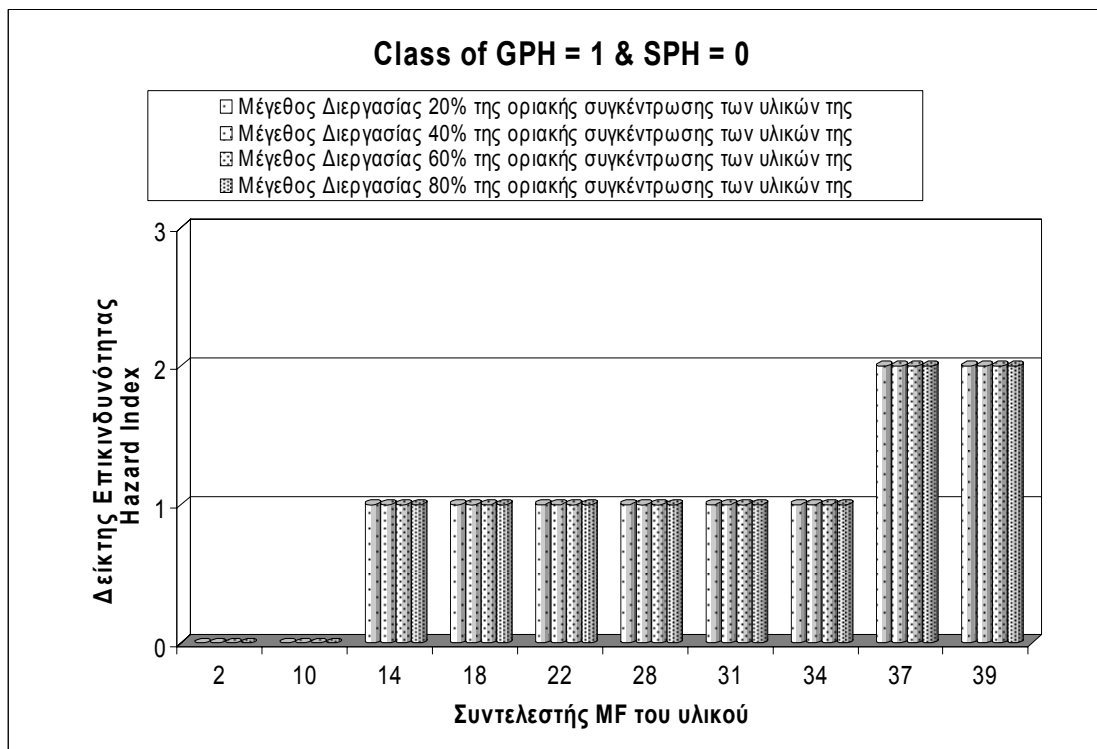
Γράφημα 4.34: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 0, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 0.



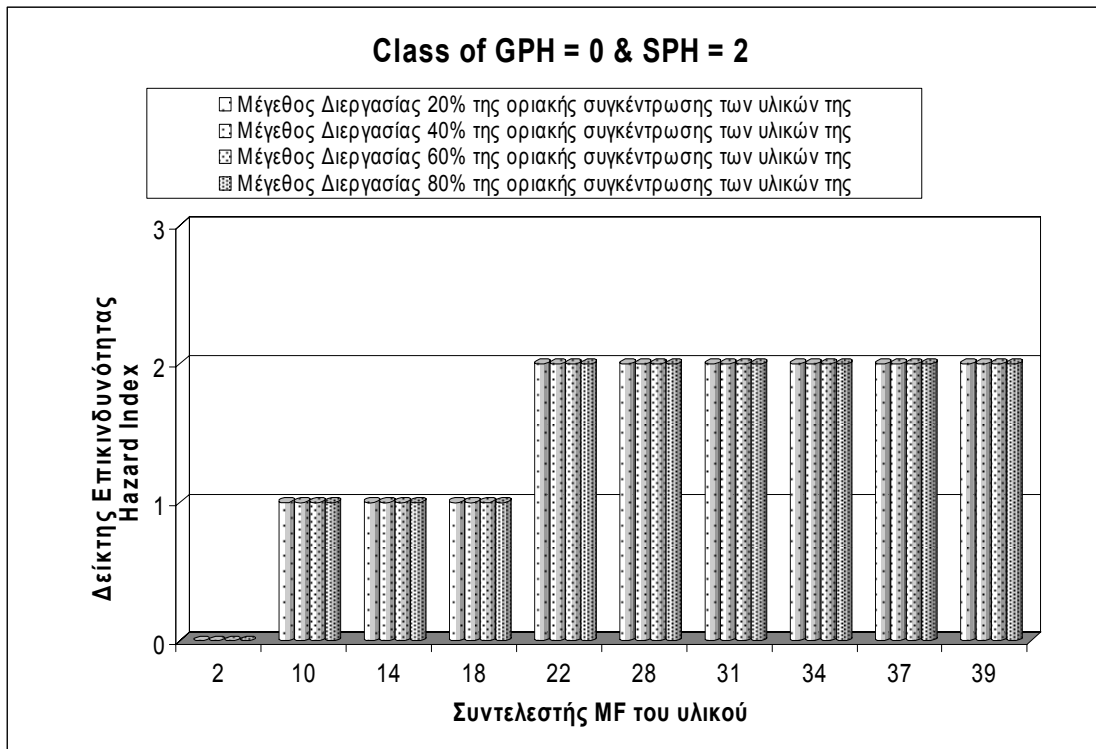
Γράφημα 4.35: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 1, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 1.



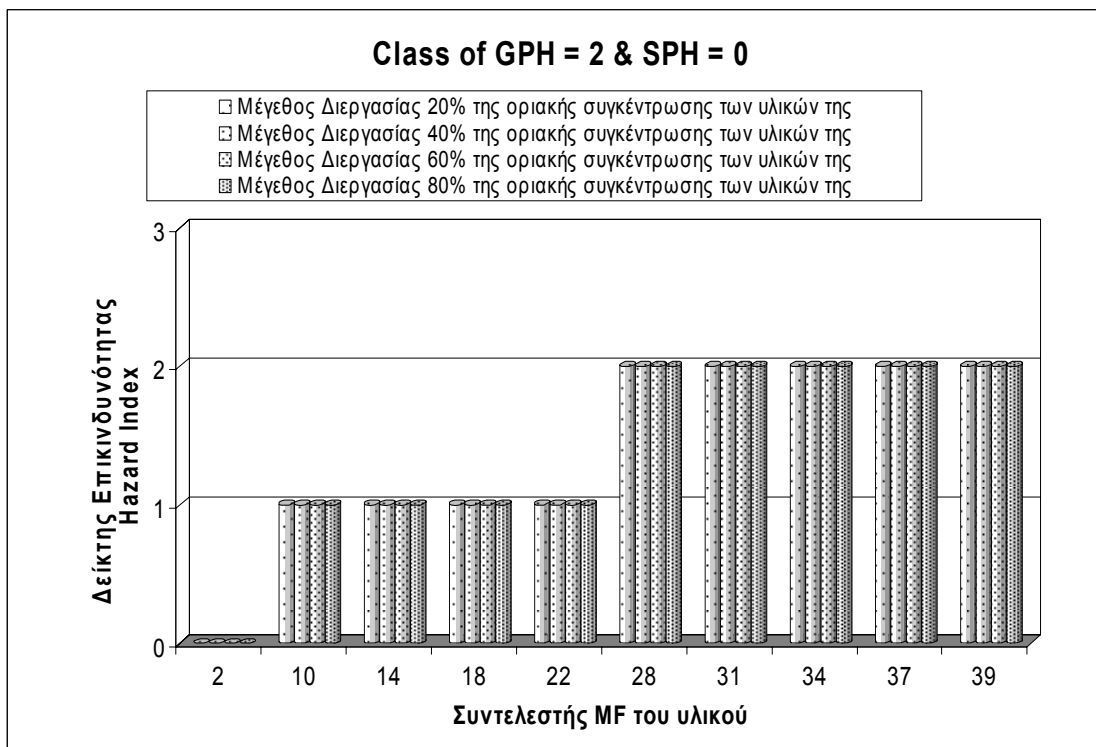
Γράφημα 4.36: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 0, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 1.



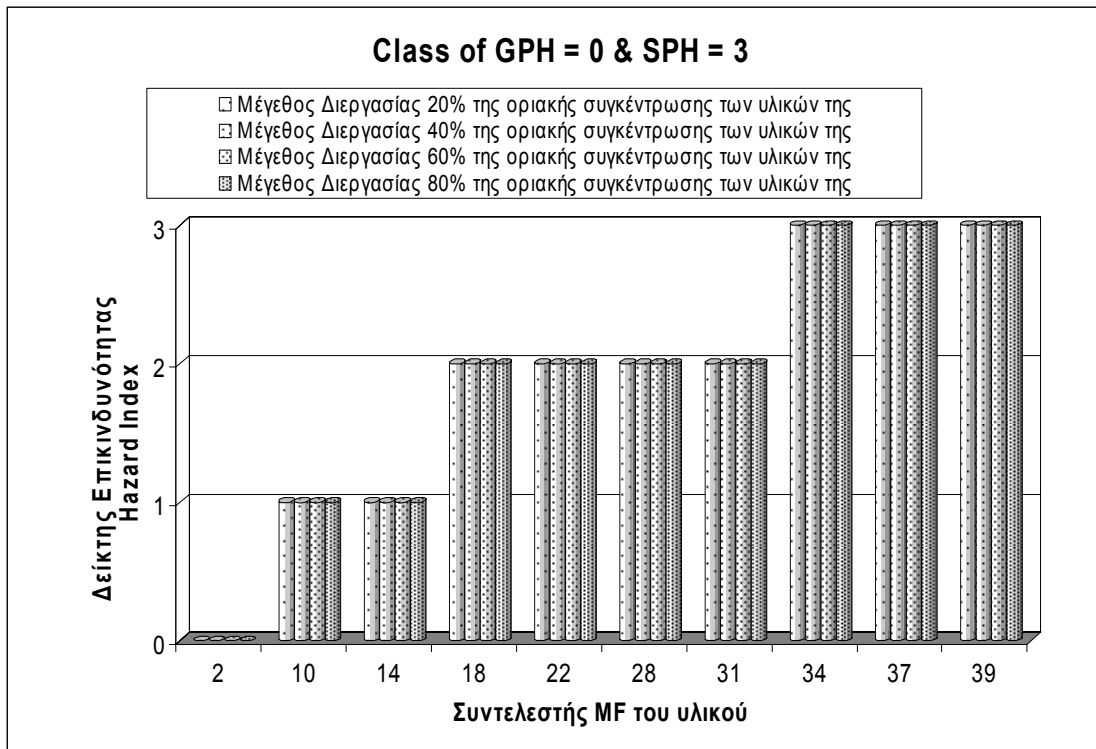
Γράφημα 4.37: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 1, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 0.



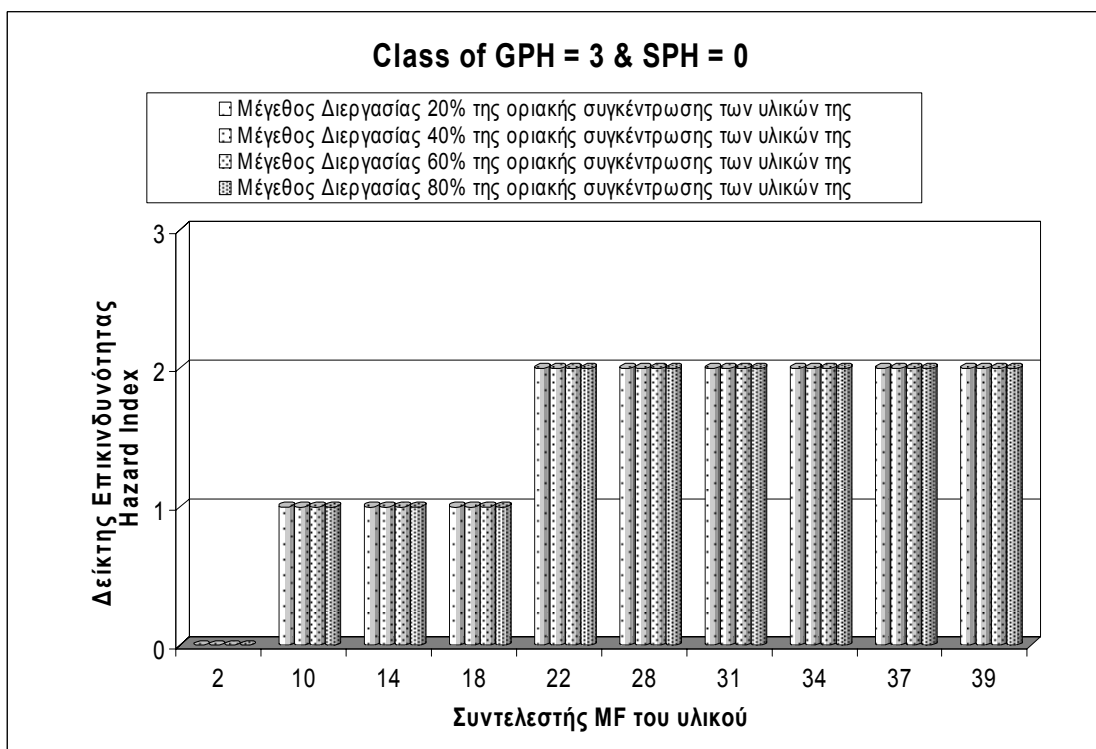
Γράφημα 4.38: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 0, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 2.



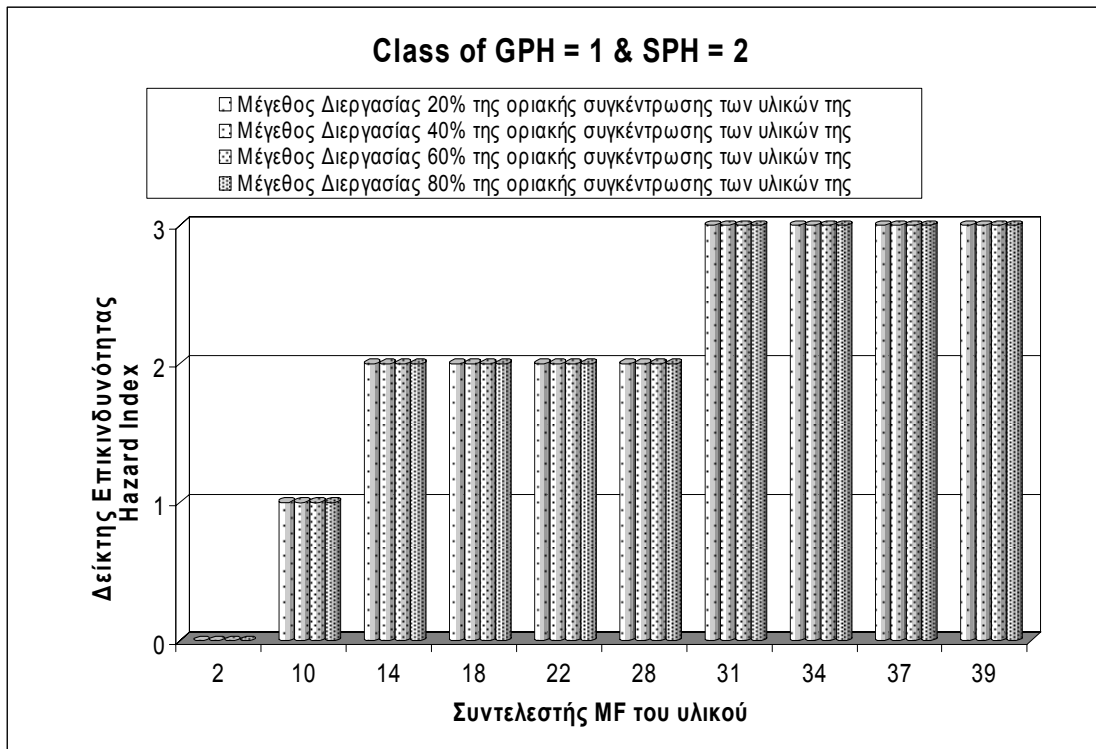
Γράφημα 4.39: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 2, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 0.



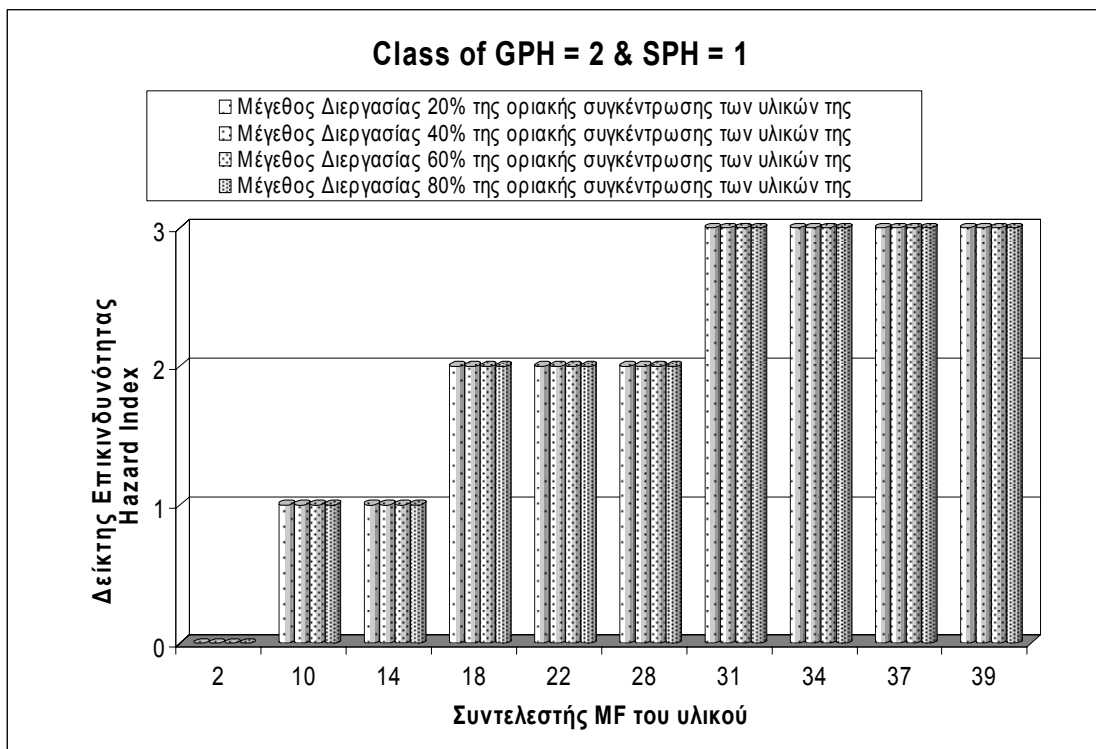
Γράφημα 4.40: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 0, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 3.



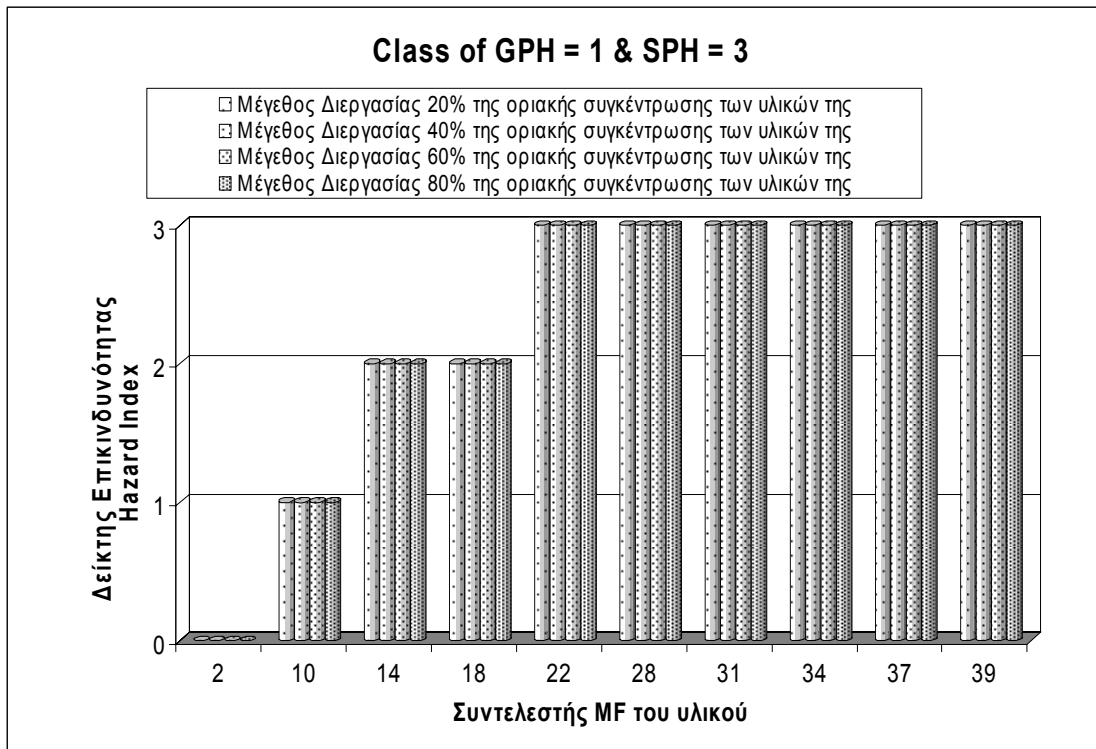
Γράφημα 4.41: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 3, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 0.



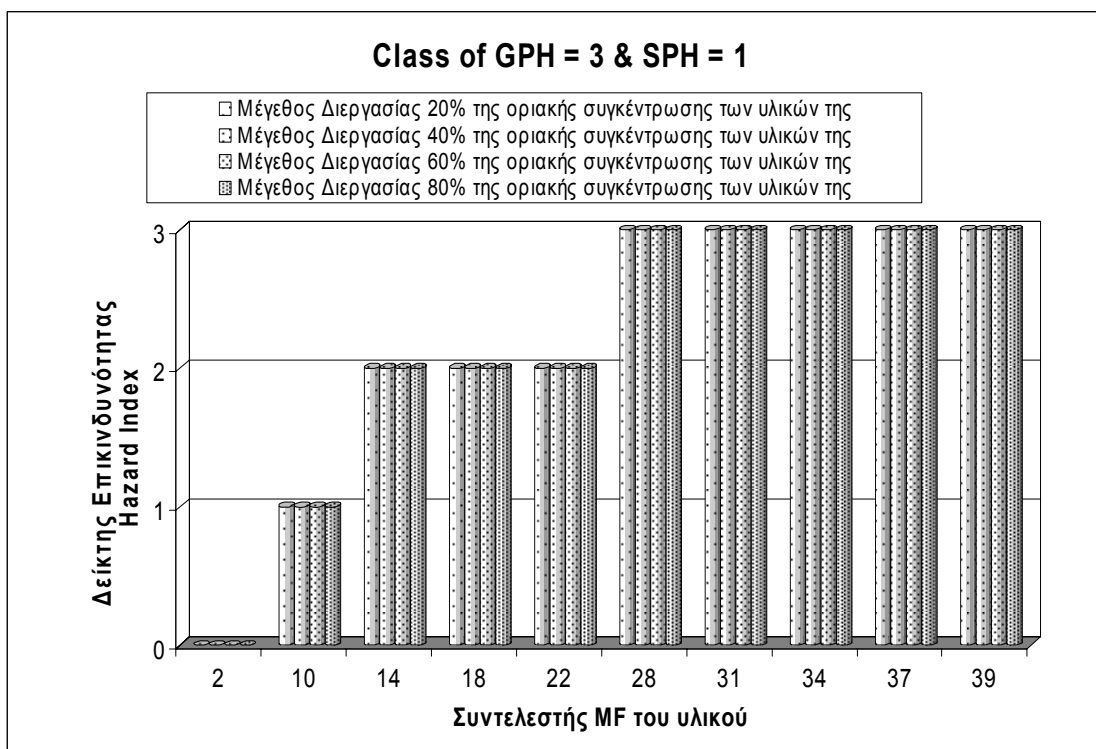
Γράφημα 4.42: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 1, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 2.



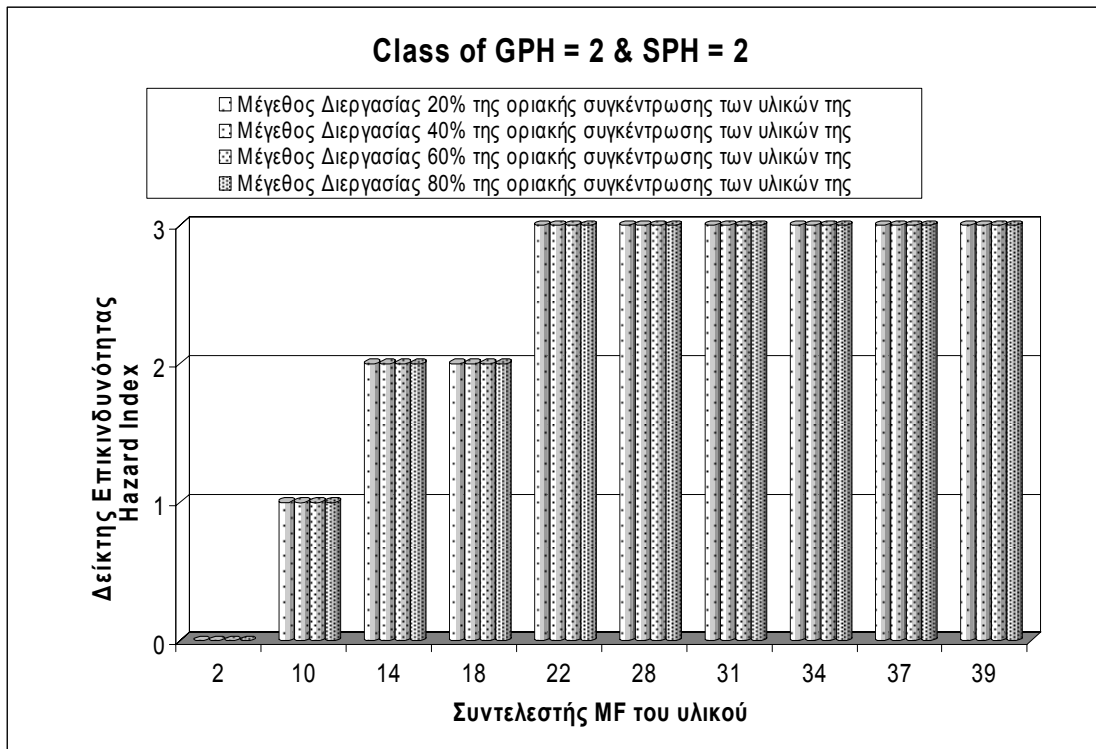
Γράφημα 4.43: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 2, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 1.



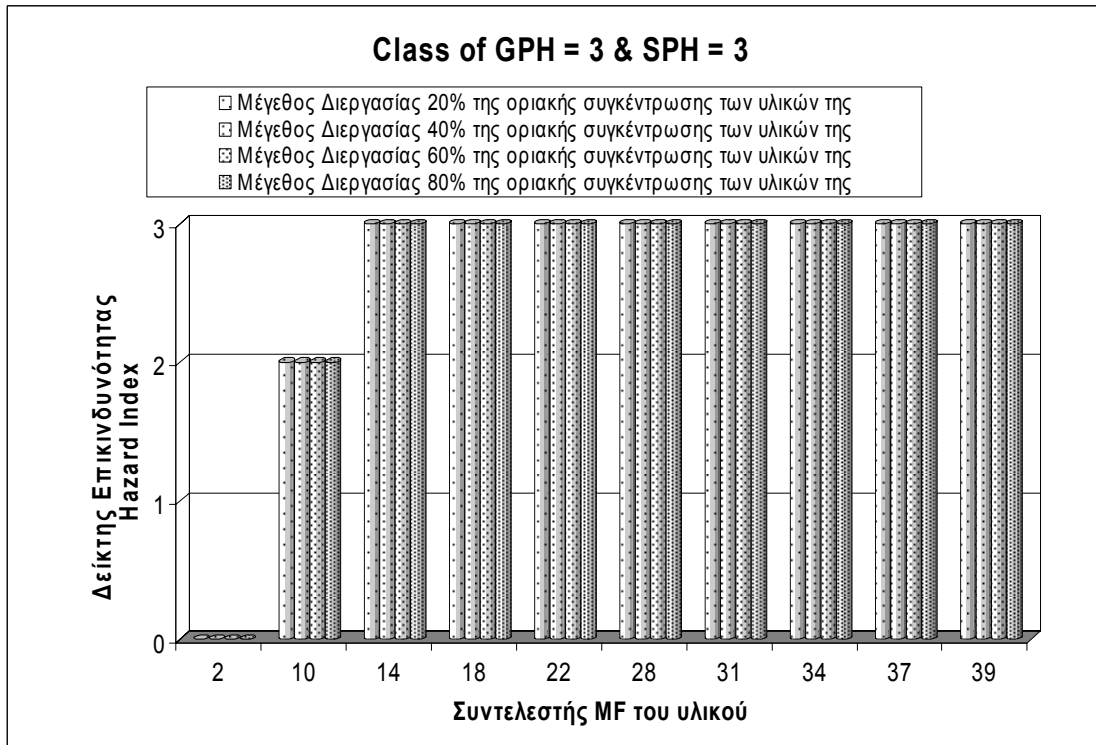
Γράφημα 4.44: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 1, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 3.



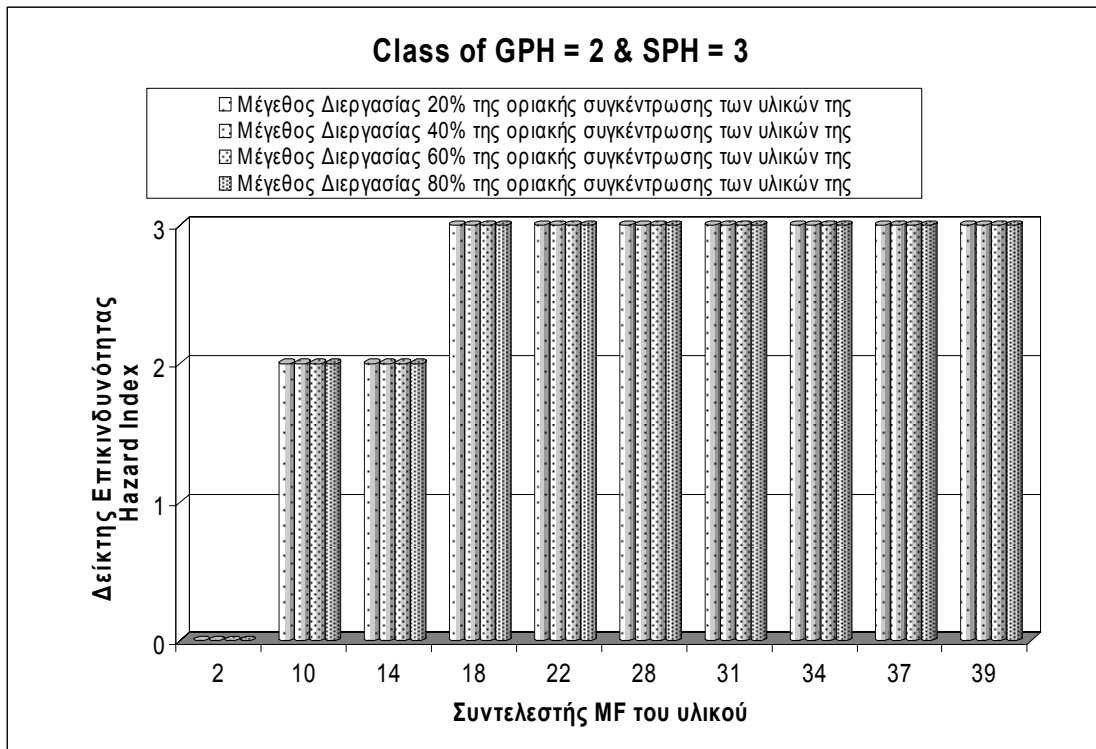
Γράφημα 4.45: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 3, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 1.



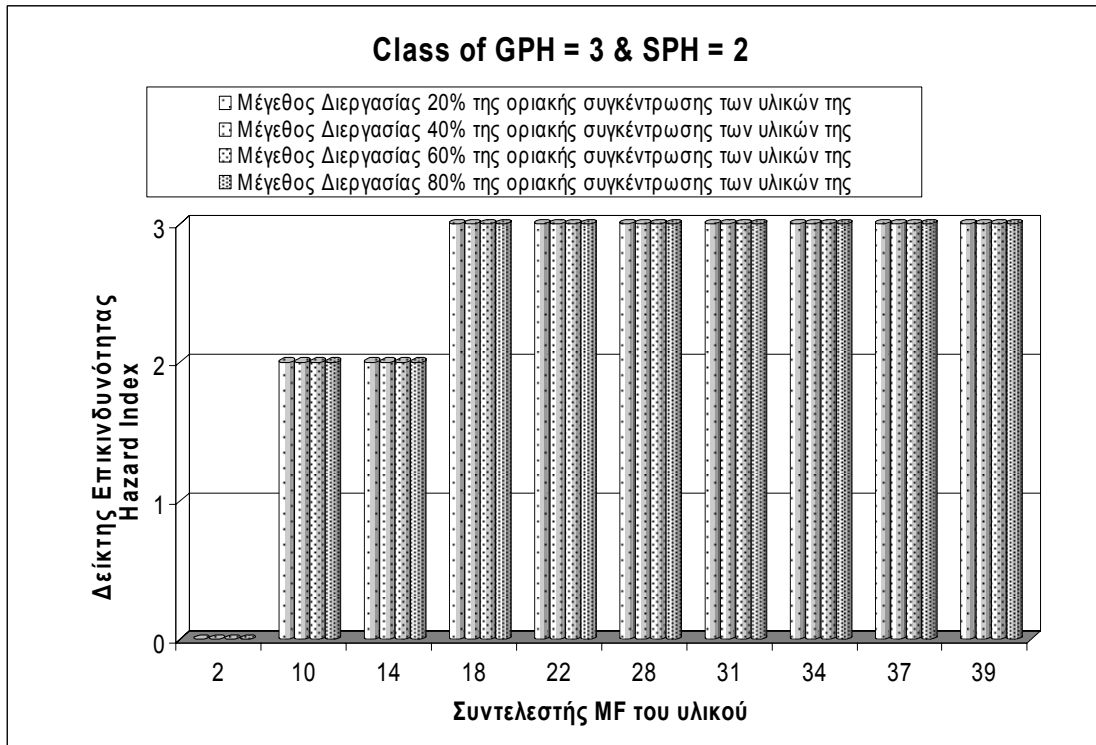
Γράφημα 4.46: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 2, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 2.



Γράφημα 4.47: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 3, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 3.



Γράφημα 4.48: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 2, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 3.



Γράφημα 4.49: Δείκτης Επικινδυνότητας Διεργασιών σε σχέση με τον συντελεστή αναφλεξιμότητας, το μέγεθος της διεργασίας, με κλάση Γενικών Κινδύνων = 3, Κλάση Ειδικών Κινδύνων = 2.

4.5.1 Σχολιασμός Διαγραμμάτων Αξιολόγησης Λειτουργίας του Ελεγκτή Προσδιορισμού του Δείκτη Επικινδυνότητας των Διεργασιών

Από την μελέτη των γραμμάτων αξιολόγησης της λειτουργίας του ελεγκτή, (γραφήματα από 4.34 έως 4.49), για τον προσδιορισμό του δείκτη επικινδυνότητας των διεργασιών (Hazard Index), προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα - σχόλια:

- Το μέγεθος της διεργασίας δεν επηρεάζει τον δείκτη επικινδυνότητας της. Το παραπάνω συμπέρασμα εξάγεται από την παρατήρηση των τιμών του δείκτη επικινδυνότητας ο οποίος έχει την ίδια τιμή για διαφορετική τιμή του συντελεστή αναφλεξιμότητας του υλικού της διεργασίας, ανεξάρτητα από το μέγεθός της, όπως αυτό ορίζεται από το επί της εκατό ποσοστό οριακής συγκέντρωσης των υλικών. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς το μέγεθος της διεργασίας που εκφράζεται από το επί της εκατό ποσοστό της επιτρεπόμενης οριακής συγκέντρωσης του υλικού, χρησιμοποιείται στον ασαφή ελεγκτή (GoodsFuzzyControl.fis) για τον προσδιορισμό του συντελεστή επικινδυνότητας των υλικών.
- Στο γράφημα 4.33, απεικονίζεται ο δείκτης επικινδυνότητας των διεργασιών, όταν οι γενικοί και οι ειδικοί κίνδυνοι είναι μηδενικοί. Η μέγιστη κατηγορία του δείκτη επικινδυνότητας, σε αυτήν την μελέτη περίπτωσης, είναι η 1, η οποία εμφανίζεται όταν η επικινδυνότητα των υλικών είναι μεσαίας και υψηλότερης κλάσης. Έτσι, για διεργασίες όπου δεν υπάρχουν γενικοί κίνδυνοι και οι ειδικοί κίνδυνοι έχουν αντιμετωπιστεί και εξαλειφθεί, αυτές ταξινομούνται ως διεργασίες με ελάχιστο κίνδυνο για την εγκατάσταση που χρησιμοποιούνται.
- Στο γράφημα 4.34, απεικονίζεται ο δείκτης επικινδυνότητας των διεργασιών, όταν οι γενικοί και οι ειδικοί κίνδυνοι είναι και οι δύο στην κλάση 1. Η μέγιστη κατηγορία του δείκτη επικινδυνότητας, σε αυτήν την μελέτη περίπτωσης είναι η 2, η οποία εμφανίζεται όταν η επικινδυνότητα των υλικών είναι μεσαίας και υψηλότερης κλάσης. Για επικινδυνότητα υλικών ελάχιστη, κατηγορίες 0 και 1, προσδίδεται επικινδυνότητα στις διεργασίες κατηγορίας 1. Από την μελέτη του γραφήματος συμπεραίνεται ότι, για διεργασίες όπου έχουν ήπιες συνθήκες λειτουργίας και λαμβάνονται υψηλά μέτρα προστασίας και επίβλεψης τους, ώστε οι ειδικοί κίνδυνοι να είναι ελάχιστη, η επικινδυνότητα αυτών των διεργασιών φτάνει σε μέγιστη κλάση την κλάση 2.

- Στα γραφήματα από 4.36 έως 4.41 εναλλάσσονται οι περιπτώσεις διεργασιών που εμφανίζουν κλάση γενικών κινδύνων 0 σε συνδυασμό με τις κλάσεις των ειδικών κινδύνων 1, 2, 3, και περιπτώσεις με κλάση ειδικών κινδύνων 0 σε συνδυασμό με τις κλάσεις των γενικών κινδύνων 1, 2, 3. Από την μελέτη των γραφημάτων εξάγεται το συμπέρασμα ότι καθώς αυξάνουν οι ειδικοί κίνδυνοι σε μία διεργασία όπου έχει μηδενικούς γενικούς κινδύνους, ο δείκτης επικινδυνότητας ακολουθεί την κλάση των ειδικών κινδύνων καθώς η επικινδυνότητα των υλικών της διεργασίας είναι από μεσαίας κλάσης και πάνω. Στις περιπτώσεις όπου οι ειδικοί κίνδυνοι έχουν αντιμετωπιστεί και οι γενικοί κίνδυνοι των διεργασιών κινούνται στις κλάσεις 1, 2, 3, ο δείκτης επικινδυνότητας των διεργασιών παίρνει μέγιστη τιμή που ανήκει στην κλάση 2, για τις διεργασίες που έχουν υψηλή κλάση επικινδυνότητας των υλικών τους.
- Στα γραφήματα από 4.42 έως 4.45 εναλλάσσονται οι περιπτώσεις διεργασιών που εμφανίζουν κλάση γενικών κινδύνων 1 σε συνδυασμό με τις κλάσεις των ειδικών κινδύνων 2, 3, και περιπτώσεις με κλάση ειδικών κινδύνων 1 σε συνδυασμό με τις κλάσεις των γενικών κινδύνων 2, 3. Από την μελέτη των γραφημάτων εξάγεται το συμπέρασμα ότι καθώς αυξάνουν οι ειδικοί κίνδυνοι σε μία διεργασία όπου έχει ελάχιστους γενικούς κινδύνους, ο δείκτης επικινδυνότητας ακολουθεί την κλάση των ειδικών κινδύνων καθώς η επικινδυνότητα των υλικών της διεργασίας είναι μεσαίας κλάσης. Ενώ για διεργασίες με υψηλή επικινδυνότητα των υλικών που χρησιμοποιούν ο δείκτης επικινδυνότητας αποκτά μέγιστη τιμή και ανήκει στην κλάση 3. Στις περιπτώσεις όπου οι ειδικοί κίνδυνοι έχουν αντιμετωπιστεί σε ικανοποιητικό βαθμό και οι γενικοί κίνδυνοι των διεργασιών κινούνται στις κλάσεις 2, 3, ο δείκτης επικινδυνότητας των διεργασιών παίρνει μέγιστη τιμή που ανήκει στην κλάση 3, για τις διεργασίες που έχουν υψηλή κλάση επικινδυνότητας των υλικών τους.
- Στα γραφήματα από 4.46 έως 4.49 μελετάται η συμπεριφορά του δείκτη επικινδυνότητας των διεργασιών (Process Hazard Index), όταν οι γενικοί κίνδυνοι και οι ειδικοί κίνδυνοι των διεργασιών ανήκουν στις κλάσεις 2 και 3. Από την μελέτη των γραφημάτων εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο δείκτης επικινδυνότητας των διεργασιών αποκτά μέγιστη τιμή που βρίσκεται στην κλάση 3 ακόμα και όταν η επικινδυνότητα των υλικών βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα.

Συνοψίζοντας τη συμπεριφορά του δείκτη επικινδυνότητας των διεργασιών, με βάση την παραπάνω μελέτη περιπτώσεων, γίνεται αντιληπτό ότι σημαντικός παράγοντας που τον

αυξάνει, είναι η τιμή των ειδικών κινδύνων που υπάρχουν στις διεργασίες. Ενώ, η επικινδυνότητα των υλικών που συμμετέχουν στην διεργασία είναι αναγνωρίσιμη και συνήθως αναπόφευκτη, όπως και οι γενικοί κίνδυνοι της διεργασίας, που περιγράφουν τον τρόπο λειτουργίας της, είναι γνωστοί και δύσκολα αλλάζουν, η μείωση του δείκτη επικινδυνότητας της διεργασίας μπορεί να επιτευχθεί εξαλείφοντας τους ειδικούς κινδύνους, που συνήθως συνδέονται με τα υλικά κατασκευής της διεργασίας και την συχνότητα συντήρησή τους.

5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΓΕΙΤΝΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Ένα από τα βασικά σημεία αναφοράς της εγγενούς ασφάλειας είναι η αποφυγή φαινομένων Domino, η αλυσίδα δηλαδή αστοχιών, μεταξύ των διεργασιών που γειτονεύουν σε μία εγκατάσταση. Ιστορικά θα μπορούσαν να αναφερθούν αμέτρητα βιομηχανικά ατύχηματα που αν και ξεκίνησαν σε μία διεργασία που δεν εμπεριείχε ιδιαίτερους κινδύνους, απέβησαν τελικώς, καταστροφικά για την εγκατάσταση που συνέβησαν, εξ' αιτίας του ότι, οι γειτονικές διεργασίες επηρεάστηκαν από το ατύχημα και το εξάπλωσαν σε όλη την εγκατάσταση. [1, 2, 3, 4], [39, 40, 41].

Το πιο σημαντικό ατύχημα που είχε ως αποτέλεσμα την πλήρη καταστροφή της εγκατάστασης λόγω φαινομένου Domino, είναι αυτό που προκλήθηκε στο Mexico City τον Νοέμβριο του 1984, Εικόνες 5.1 και 5.2. Το ατύχημα προκλήθηκε από μεγάλη πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις εγκαταστάσεις υδροποιημένου αερίου (LPG) της πόλης και τις εκρήξεις που ακολούθησαν. Χαρακτηριστικό ήταν το φαινόμενο Domino που παρατηρήθηκε καθώς και η πολύ μικρή διάρκεια που εξελίχθηκε και ολοκληρώθηκε (περίπου 10 min). Το γεγονός της μικρής διάρκειας μέσα στην οποία εξελίχθηκε το ατύχημα, απαγόρευσε κάθε προστατευτική ενέργεια και ανάγκασε τις αρχές να περιοριστούν μόνο σε μέτρα πρόληψης των πληγέντων. Οι συνέπειες ήταν πολύ σοβαρές καθώς πέθαναν περισσότεροι από 500 άνθρωποι και περισσότεροι από 7000 τραυματίστηκαν. Μετά το ατύχημα αναγνωρίστηκε η σημασία των «πολλαπλασιαστικών αποτελεσμάτων» (Domino effects) και δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στη μελέτη τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη νέα οδηγία Seveso II υπάρχει ιδιαίτερη αναφορά στο φαινόμενο Domino, την αλυσίδα δηλαδή των αστοχιών, όταν από κάποια αστοχία προκαλούνται βλάβες και σε γειτονικά συστήματα.

5.1. Προσδιορισμός του Δείκτη Γειτνίασης Δύο Διεργασιών

Στην παρούσα εργασία προτείνεται ο Δείκτης Γειτνίασης των Διεργασιών (Abut Combination Risk Index, ACRIndex), που παίρνει τιμή ανάλογα με τον συνδυασμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (Hazard Index) των γειτονικών διεργασιών. Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει τον Δείκτη Γειτνίασης των Διεργασιών σε σχέση με τον Δείκτη Επικινδυνότητας τους, και το Γράφημα 5.1 περιγράφει την τιμή του Δείκτη γειτνίασης των Διεργασιών σε σχέση με τον συνδυασμό των Δεικτών Επικινδυνότητας των γειτονικών Διεργασιών.



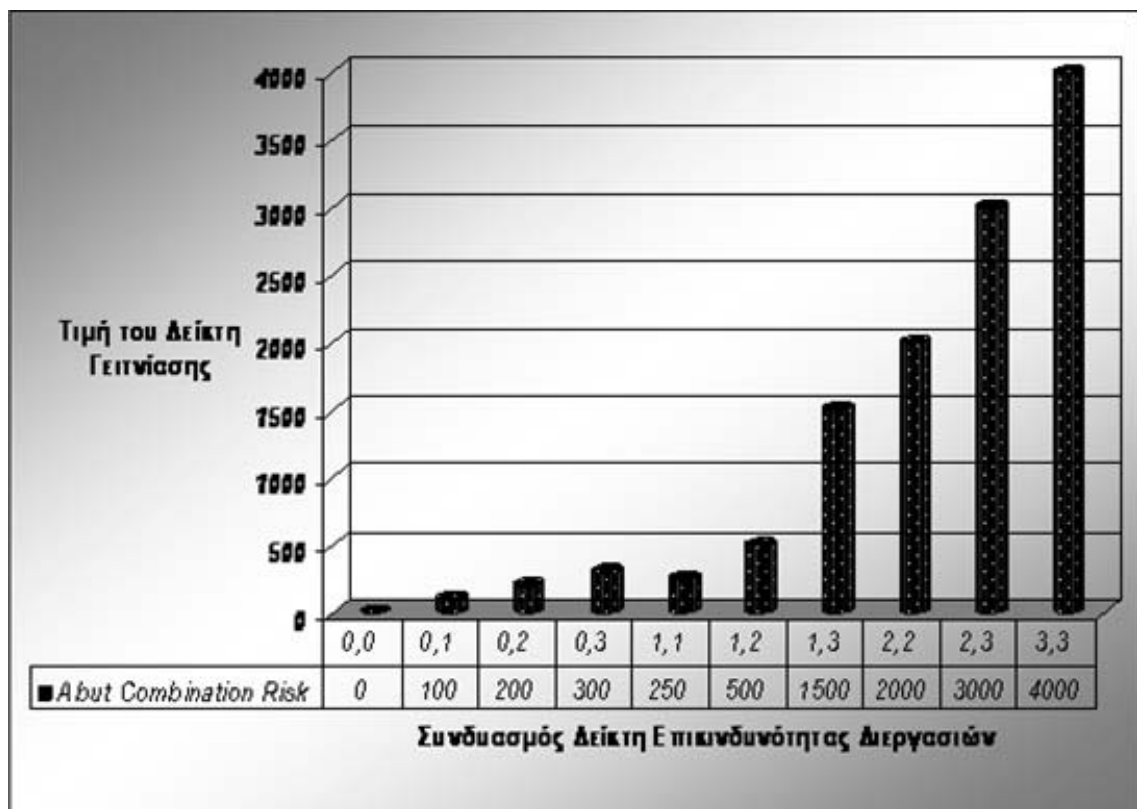
Εικόνα 5.1: Mexico City πριν το ατύχημα , Νοέμβριος 1984



Εικόνα 5.2: Mexico City μετά το ατύχημα , Νοέμβριος 1984.

Πίνακας 5.1: Δείκτης Γειτνίασης των Διεργασιών σε συνδυασμό με τον Δείκτη Επικινδυνότητάς τους.

Συνδυασμός Δείκτη Επικινδυνότητας Γειτονικών Διεργασιών	Δείκτης Γειτνίασης Διεργασιών	
0,0	0	Συνδυασμοί που Ελαχιστοποιούν το Φαινόμενο Domino
0,1	100	
0,2	200	
0,3	300	
1,1	250	
1,2	500	
1,3	1500	Συνδυασμοί που Μεγιστοποιούν το Φαινόμενο Domino
2,2	2000	
2,3	3000	
3,3	4000	



Γράφημα 5.1: Τιμή του Δείκτη Γειτνίασης σε συνδυασμό του Δείκτη Επικινδυνότητας των Γειτονικών Διεργασιών.

Όπως παρατηρείται στον πίνακα 5.1, στην παρούσα εργασία έχουν δοθεί τιμές στον Δείκτη Γειτνίασης των Διεργασιών (ACRIndex):

- Όταν το άθροισμα των Δεικτών Επικινδυνότητας (Hazard Index), των γειτονικών διεργασιών είναι μικρότερο ή ίσο του 3, στο διάστημα $[0, 500]$, και ο συνδυασμός των διεργασιών αυτών θεωρείται ότι ελαχιστοποιεί το φαινόμενο Domino.
- Όταν το άθροισμα των Δεικτών Επικινδυνότητας (Hazard Index), των γειτονικών διεργασιών είναι μεγαλύτερο του 3, στο διάστημα $[1500, 4000]$, ενώ ο συνδυασμός των διεργασιών αυτών, θεωρείται ότι μεγιστοποιεί το φαινόμενο Domino.

Στο γράφημα 5.1 αναπαριστούνται οι τιμές του Δείκτη Γειτνίασης σε σχέση με τον συνδυασμό των Δεικτών επικινδυνότητας των διεργασιών. Όπως παρατηρείται το γράφημα,

- Όταν η μία από τις δύο διεργασίες έχει δείκτη επικινδυνότητας 0, ο Δείκτης Γειτνίασης αυξάνεται κατά 100 μονάδες παίρνοντας μέγιστή τιμή 300 όταν η δεύτερη διεργασία έχει Δείκτη επικινδυνότητας 3.
- Όταν η μία από τις δύο διεργασίες έχει Δείκτη Επικινδυνότητας 1, τότε για να ελαχιστοποιηθεί το φαινόμενο Domino, οι αποδεκτοί συνδυασμοί είναι για Δείκτη Επικινδυνότητας της δεύτερης διεργασίας με τιμές 1 και 2 αυξάνοντας σε σχέση με την διεργασία με μηδενικό Δείκτη Επικινδυνότητας κατά 250 μονάδες.
- Οι υπόλοιποι συνδυασμοί ξεκινούν με τιμή του Δείκτη Γειτνίασης στην τιμή των 1500 μονάδων φτάνοντας στην μέγιστη τιμή του για τον συνδυασμό δυο διεργασιών με Δείκτη Επικινδυνότητας 3 στην τιμή 4000.

5.2. Προσδιορισμός του Δείκτη Γειτνίασης Περισσότερων Των Δύο Διεργασιών

Στη συνέχεια της εργασίας μελετάτε ο προσδιορισμός του Συντελεστή Ασφάλειας (Safety Factor), όταν στην εγκατάσταση υπάρχουν περισσότερες των δύο διεργασίες. Αναζητείται ο συνδυασμός που ελαχιστοποιεί τον φαινόμενο Domino και μεγιστοποιεί την ασφάλεια της εγκατάστασης, χρησιμοποιώντας τον συντελεστή επικινδυνότητας των διεργασιών, όπως αυτός προκύπτει από τον ασαφή ελεγκτή και τον δείκτη γειτνίασης, όπως αυτός ορίστηκε παραπάνω στον πίνακα 5.1.

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ασφάλειας (Safety Factor), για έναν συνδυασμό των διεργασιών, προκύπτει από την εφαρμογή της εξίσωσης 5.1

$$(SF)_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{ij}^C (ACRIndex)_{ij} \quad (\text{Εξίσωση 5.1})$$

Όπου:

n = το σύνολο των διεργασιών της εγκατάστασης,

$(SF)_c$ = είναι ο συντελεστής ασφάλειας του συνδυασμού C,

$(ACRIndex)_{ij}$ = ο δείκτης γειτνίασης της i-διεργασίας με την j-διεργασία, όπως αυτός προκύπτει από τον πίνακα 1 και τον δείκτη επικινδυνότητας των διεργασιών που προσδιορίζονται από τον ασαφή ελεγκτή,

D_{ij}^C = είναι ο πίνακας των αποστάσεων μεταξύ των i, j διεργασιών στον C συνδυασμό.

C = ο συνδυασμός των διεργασιών που μελετάτε.

Για τον προσδιορισμό των συνδυασμών μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω μέθοδοι:

- Για την τοποθέτηση n διεργασιών σε p θέσεις, οι συνδυασμοί που υπάρχουν προκύπτουν από την εφαρμογή της εξίσωσης 5.2, [42]

$$\frac{p!}{n!(p-n)!} \quad (\text{Εξίσωση 5.2})$$

Το παραγοντικό στην περίπτωση αυτή μπορεί να υπολογισθεί από τον προσεγγιστικό τύπο του Stirling, εξίσωση 5.3.

$$n! = \sqrt{2\pi n} \left(\frac{n}{e}\right)^n \quad (\text{Εξίσωση 5.3})$$

- Με επιλεκτική επιλογή συνδυασμών από τους συνολικούς δυνατούς συνδυασμούς
- Με επιλογή συνδυασμών που πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις όπως:
 - Λειτουργικότητας της εγκατάστασης
 - Ευελιξίας της εγκατάστασης
 - Περιορισμένος χώρος εγκατάστασης των διεργασιών.

5.2.1. Εφαρμογή του Δείκτη Γειτνίασης

Στην συνέχεια της μελέτης παρουσιάζεται μία εφαρμογή των παραπάνω θεωρώντας τρεις διεργασίες με Δείκτη επικινδυνότητας (Hazard Index) 3 η κάθε μία, και δυνατότητα τοποθέτησής τους σε έξι θέσεις όπως αυτές ορίζονται από έναν 2x3 πίνακα. Στον παρακάτω 2x3 πίνακα WPA (Work Place Area) παρουσιάζονται οι πιθανές θέσεις τοποθέτησης των διεργασιών.

$$WPA = \begin{bmatrix} wpa_{11} & wpa_{12} & wpa_{13} \\ wpa_{21} & wpa_{22} & wpa_{23} \end{bmatrix}$$

Από την εξίσωση 2 οι συνδυασμοί των διεργασιών που υπάρχουν για τις παραπάνω θέσεις είναι:

$$\frac{6!}{3!(6-3)!} = 20$$

Οι συνδυασμοί που τελικά εξετάζονται είναι 5, οι υπόλοιποι λόγω της φύσης του προβλήματος εντάσσονται σε έναν από τους παραπάνω. Έτσι:

Για τον συνδυασμό C = 1

$$(WPA)_1 = \begin{bmatrix} x & x & x \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(ACRIndex)_{ij} = \begin{bmatrix} 4000 \\ 4000 \\ 4000 \end{bmatrix} = (ACRIndex)_{ji}$$

$$D_{ij}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 100 & 200 \\ 100 & 0 & 100 \\ 200 & 100 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(SF)_1 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 D_{ij}^1 (ACRIndex)_{ij} = 3200000$$

Για τον συνδυασμό C = 2

$$(WPA)_2 = \begin{bmatrix} x & x & 0 \\ x & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(ACRIndex)_{ij} = \begin{bmatrix} 4000 \\ 4000 \\ 4000 \end{bmatrix} = (ACRIndex)_{ji}$$

$$D_{ij}^2 = \begin{bmatrix} 0 & 100 & 100 \\ 100 & 0 & 141.42 \\ 100 & 141.42 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(SF)_2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 D_{ij}^2 (ACRIndex)_{ij} = 2731360$$

Για τον συνδυασμό C = 3

$$(WPA)_3 = \begin{bmatrix} x & x & 0 \\ 0 & 0 & x \end{bmatrix}$$

$$(ACRIndex)_{ij} = \begin{bmatrix} 4000 \\ 4000 \\ 4000 \end{bmatrix} = (ACRIndex)_{ji}$$

$$D_{ij}^3 = \begin{bmatrix} 0 & 100 & 223.61 \\ 100 & 0 & 141.42 \\ 223.61 & 141.42 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(SF)_3 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 D_{ij}^3 (ACRIndex)_{ij} = 3720240$$

Για τον συνδυασμό C = 4

$$(WPA)_4 = \begin{bmatrix} x & 0 & x \\ x & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(ACRIndex)_{ij} = \begin{bmatrix} 4000 \\ 4000 \\ 4000 \end{bmatrix} = (ACRIndex)_{ji}$$

$$D_{ij}^4 = \begin{bmatrix} 0 & 100 & 200 \\ 100 & 0 & 223.61 \\ 223.61 & 200 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(SF)_4 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 D_{ij}^4 (ACRIndex)_{ij} = 4188880$$

Για τον συνδυασμό C = 5

$$(WPA)_5 = \begin{bmatrix} x & 0 & x \\ 0 & x & 0 \end{bmatrix}$$

$$(ACRIndex)_{ij} = \begin{bmatrix} 4000 \\ 4000 \\ 4000 \end{bmatrix} = (ACRIndex)_{ji}$$

$$D_{ij}^5 = \begin{bmatrix} 0 & 141.42 & 200 \\ 200 & 0 & 141.42 \\ 141.42 & 141.42 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(SF)_5 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 D_{ij}^5 (ACRIndex)_{ij} = 3862720$$

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της μελέτης για την τοποθέτηση των διεργασιών στην περιοχή εγκατάστασης, ώστε να μεγιστοποιείται ο συντελεστής ασφάλειας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 5.2. Από την μελέτη του πίνακα 5.2 συμπεραίνεται ότι ο συνδυασμός που μεγιστοποιεί την ασφάλεια είναι ο συνδυασμός 4

Πίνακας 5.2: Συντελεστής Ασφάλειας (Safety Factor).

Συνδυασμός	Συντελεστής Ασφάλειας Συνδυασμού
$(WPA)_1 = \begin{bmatrix} x & x & x \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$(SF)_1 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 D_{ij}^1 (ACRIndex)_{ij} = 3200000$
$(WPA)_2 = \begin{bmatrix} x & x & 0 \\ x & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$(SF)_2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 D_{ij}^2 (ACRIndex)_{ij} = 2731360$
$(WPA)_3 = \begin{bmatrix} x & x & 0 \\ 0 & 0 & x \end{bmatrix}$	$(SF)_3 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 D_{ij}^3 (ACRIndex)_{ij} = 3720240$
$(WPA)_4 = \begin{bmatrix} x & 0 & x \\ x & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$(SF)_4 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 D_{ij}^4 (ACRIndex)_{ij} = 4188880$
$(WPA)_5 = \begin{bmatrix} x & 0 & x \\ 0 & x & 0 \end{bmatrix}$	$(SF)_5 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 D_{ij}^5 (ACRIndex)_{ij} = 3862720$

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ευφυής ελεγκτής που αναπτύχθηκε, στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο "κατάλληλης ανταλλαγής πληροφοριών" ώστε ο μελετητής να λαμβάνει πληροφορίες για:

- Την επικινδυνότητα των υλικών (Goods Risk Factor, GRF), που συμμετέχουν σε κάθε διεργασία, λαμβάνοντας υπόψη την κατάταξη των υλικών σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές, όπως αυτές ορίζονται κατά την NFPA κατηγοριοποίηση.
- Τον Δείκτη επικινδυνότητας της κάθε διεργασίας (Process Hazard Index), που υπάρχει στην εγκατάσταση, διαχωρίζοντας τους κινδύνους που προέρχονται από την φύση της διεργασίας που εκτελείτε (γενικοί κίνδυνοι), και κίνδυνοι που προέρχονται από τον τρόπο λειτουργίας της κάθε διεργασίας με τις ιδιαιτερότητες και τα μέτρα ασφάλειας που λαμβάνονται κατά την λειτουργία της (ειδικοί κίνδυνοι).
- Τον «Δείκτη Γειτνίασης» για κάθε συνδυασμό διεργασιών της εγκατάστασης, (Abut Combination Risk Index, ACRIndex), που παίρνει τιμή ανάλογα με τον συνδυασμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (Hazard Index) των γειτονικών διεργασιών.

Από την μελέτη των γραφημάτων αξιολόγησης της λειτουργίας του ελεγκτή, (γραφήματα από 4.34 έως 4.49), για τον προσδιορισμό του δείκτη επικινδυνότητας των διεργασιών (Process Hazard Index), προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα - σχόλια:

- Το μέγεθος της διεργασίας δεν επηρεάζει τον δείκτη επικινδυνότητας της. Το παραπάνω συμπέρασμα εξάγεται από την παρατήρηση των τιμών του δείκτη επικινδυνότητας ο οποίος έχει την ίδια τιμή για διαφορετική τιμή του συντελεστή αναφλεξιμότητας του υλικού της διεργασίας, ανεξάρτητα από το μέγεθός της, όπως αυτό ορίζεται από το επί της εκατό ποσοστό οριακής συγκέντρωσης των υλικών. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς το μέγεθος της διεργασίας που εκφράζεται από το επί της εκατό ποσοστό της επιτρεπόμενης οριακής συγκέντρωσης του υλικού, χρησιμοποιείται στον ασαφή ελεγκτή (GoodsFuzzyControl.fis) για τον προσδιορισμό του συντελεστή επικινδυνότητας των υλικών.
- Ο ασαφής ελεγκτής εύστοχα προβλέπει ότι, για διεργασίες όπου δεν περιέχουν γενικούς κινδύνους και οι ειδικοί κίνδυνοι έχουν αντιμετωπιστεί και εξαλειφθεί, αυτές

ταξινομούνται ως διεργασίες με ελάχιστο κίνδυνο για την εγκατάσταση που χρησιμοποιούνται.

- Ασφαλής συμπέρασμα εξάγεται από τον ελεγκτή και για διεργασίες όπου έχουν ήπιες συνθήκες λειτουργίας και λαμβάνονται υψηλά μέτρα προστασίας και επίβλεψης τους, ώστε οι ειδικοί κίνδυνοι να είναι ελάχιστη, η επικινδυνότητα αυτών των διεργασιών φτάνει σε μέγιστη κλάση την κλάση 2.
- Ανάλογο συμπέρασμα προκύπτει και στις περιπτώσεις όπου οι ειδικοί κίνδυνοι έχουν αντιμετωπιστεί και οι γενικοί κίνδυνοι των διεργασιών κινούνται στις κλάσεις 1, 2, 3, ο δείκτης επικινδυνότητας των διεργασιών παίρνει μέγιστη τιμή που ανήκει στην κλάση 2, για τις διεργασίες που έχουν υψηλή κλάση επικινδυνότητας των υλικών τους.
- Ενώ για τις περιπτώσεις των διεργασιών στις οποίες οι γενικοί κίνδυνοι και οι ειδικοί κίνδυνοι των διεργασιών ανήκουν στις κλάσεις 2 και 3, δηλαδή η διεργασία εμπεριέχει κινδύνους από την φύση της και οι ειδικοί κίνδυνοι δεν αντιμετωπίζονται, τότε, ο δείκτης επικινδυνότητας των διεργασιών αποκτά μέγιστη τιμή που βρίσκεται στην κλάση 3 ακόμα και όταν η επικινδυνότητα των υλικών βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα.

Συνοψίζοντας τη συμπεριφορά του δείκτη επικινδυνότητας των διεργασιών, με βάση την παραπάνω μελέτη περιπτώσεων, γίνεται αντιληπτό ότι σημαντικός παράγοντας που τον αυξάνει, είναι η τιμή των ειδικών κινδύνων που υπάρχουν στις διεργασίες. Ενώ, η επικινδυνότητα των υλικών που συμμετέχουν στην διεργασία είναι αναγνωρίσιμη και συνήθως αναπόφευκτη, όπως και οι γενικοί κίνδυνοι της διεργασίας, που περιγράφουν τον τρόπο λειτουργίας της, είναι γνωστοί και δύσκολα αλλάζουν. Η μείωση του δείκτη επικινδυνότητας της διεργασίας αποτελεί μονόδρομος για κάθε διεργασία και μπορεί να επιτευχθεί εξαλείφοντας τους ειδικούς κινδύνους, που συνήθως συνδέονται με τα υλικά κατασκευής της διεργασίας, την συχνότητα συντήρησή τους και τα μέτρα ασφάλεια που εφαρμόζονται από της επιχείρηση.

Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι πολύ ενθαρρυντικά. Ο ασαφής έλεγχος που χρησιμοποιήθηκε προσφέρει την δυνατότητα συστηματικής παρακολούθησης των χαρακτηριστικών μεγεθών της εγκατάστασης με δυνατότητα προσθήκης και νέων παραμέτρων που στην παρούσα μελέτη δεν έχουν ληφθεί υπόψη, π.χ. τον αυτοματισμό της διεργασίας, τον απαιτούμενο χρόνο λειτουργίας της, την συχνότητα βλαβών της, ιστορικά στοιχεία ατυχημάτων, οικονομικά χαρακτηριστικά της διεργασίας κ.τ.λ.

Για πρώτη φορά προσδιορίζεται ο Δείκτης Γειτνίασης (ACRIndex), προσφέροντας στον μελετητή πληροφορίες:

- Για την χωροτοποθέτηση των διεργασιών,
- Για τα ενδεδειγμένα μέτρα ασφάλειας που μπορεί να λάβει ώστε να εξαλειφθούν οι πηγές κινδύνου, που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρό ατύχημα στην εγκατάσταση,
- Για τον σχεδιασμό ευέλικτων εγκαταστάσεων με τον ελάχιστο δυνατό εγγενή κίνδυνο,
- Για τα απαιτούμενα μέτρα ασφάλειας και το κόστος που τα συνοδεύει.

Στο κεφάλαιο 4 της παρούσης εργασίας, παρουσιάζεται μία εφαρμογή του ασαφούς ελεγκτή που αναπτύχθηκε, θεωρώντας τρεις διεργασίες με Δείκτη επικινδυνότητας (Hazard Index) 3 η κάθε μία, και δυνατότητα τοποθέτησής τους σε έξι θέσεις όπως αυτές ορίζονται από έναν 2x3 πίνακα. Αποτέλεσμα της παραπάνω εφαρμογής ήταν ο εντοπισμός του βέλτιστου χωροταξικού συνδυασμού των διεργασιών που μεγιστοποιεί την εγγενή ασφάλεια της εγκατάστασης.

Με την παραπάνω εφαρμογή του ασαφούς ελεγκτή γίνεται αντιληπτή η αξία του, και προτείνεται η συνέχιση της μελέτης της συμπεριφοράς του ελεγκτή τόσο σε πραγματικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις όσο και σε ερευνητικές μελέτες πάνω στα ευέλικτα συστήματα διεργασιών (Flexible Manufacture Systems, FMS)._

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Arendt, J.S., Lorenzo D.K. (2000). Evaluating Process Safety In The Chemical Industry A User's Guide To Quantitative Risk Analysis. American Institute Of Chemical Engineers.
- [2] Γεωργιάδου Ε., (2001). Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης. Ελινυαε.
- [3] Kletz, T., (2001). Learning From Accidents. Gulf Professional Publishing.
- [4] Lees P.F., (1996). Loss Prevention In The Process Industries, Vol. 1, 2, 3. Butterworth Heinemann.
- [5] Sanders E.R., (1999). Chemical Process Safety Learning From Case Histories. Butterworth Heinemann.
- [6] Οδηγία 2003/105/Εκ Για Τη Τροποποίηση Της Οδηγίας 96/82/Εκ – Οδηγία Seveso II
- [7] (29 Μαρτίου 2000). Εφημερίς Της Κυβερνήσεως Της Ελληνικής Δημοκρατίας Τεύχος Δεύτερο. **Αρ. Φύλλου 405**, 4619 – 4634.
- [8] Δρίβας, Σ., Ζορμπά Κ., Κουκουλάκη Θ., (2003). Μεθοδολογικός Οδηγός Για Την Εκτίμηση Και Πρόληψη Του Επαγγελματικού Κινδύνου. ΕΛΙΝΥΑΕ.
- [9] Thomson, J.B., (1999). International Co-Operation In Hazardous Materials Accident Prevention. Journal Of Loss Prevention In The Process Industries **12** 217-225.
- [10] Thomson, B., (1999). International co-operation in hazardous materials accident prevention. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. **12** 217–225.
- [11] (1994). National Fire Protection Association (NFPA) Standard 325A, Fire Hazard Properties Of Flammable Liquids, Gases, Solids, Hazardous Chemical Data. NFPA, MA.
- [12] An Ilo Contribution To The International Programme On Chemical Safety Of Unep, Ilo, Who (Ipcs). (1988). Major Hazard Control A Practical Manual. International Labour Office.
- [13] European Federation Of Chemical Engineering. (1990). Risk Analysis In The Process Industries. The Institution Of Chemical Engineers. EFCE Publications Series No 45.
- [14] Perekochikov, I.V., (2005). Safety, Diagnosis, And Repair Methodology Of Complicated System Hazard Analysis By The Use Of The Sharp And Fuzzy Sets. Chemical And Petroleum Engineering, **41** 7-8.
- [15] Hearn, G.L., (2002). Electrostatic Ignition Hazards Arising From Fuel Flow In Plastic Pipelines. Journal Of Loss Prevention In The Process Industries. **15** 105-109.
- [16] Planas-Cuchi, E., (1999). Fire And Explosion Hazards During Filling/Emptying Of Tanks. Journal Of Loss Prevention In The Process Industries. **12** 479-483.
- [17] Kraslawski, A., Nystrom, L., (1995). Fuzzy Index For The Estimation Of Product And Process Toxicity. Chemical Engineering And Processing. **34** 433-437.

- [18] Tsoukalas, L., Uhrig R., (1997) Fuzzy And Neural Approaches In Engineering. John Wiley And Sons Inc.
- [19] Vineyard, M., Amoako-Gyampah, K., Meredith J.R., (1999). Failure Rate Distributions For Flexible Manufacturing Systems: An Empirical Study. European Journal Of Operation Research. **116** 139-155.
- [20] (1994). Dow's Fire And Explosion Index Hazard Classification Guide, Seventh ed. AIChE, N.Y.
- [21] Κινγκ P.E., (2004). Ευφυής Έλεγχος. Τζιόλα
- [22] Mendel, J., (1995). Fuzzy Logic Systems For Engineering: A Tutorial. Proc. IEEE **83** 345-377
- [23] Τζιόννας, Π., (2006). Εισαγωγή Στον Ευφυή Έλεγχο, Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Μαθηματικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [24] MatLab 7.0 Help
- [25] Alberico, D., Boart, J., Brown, M., Gill, J., Mattern, S., Mckinley, A., (1999). Software System Safety Handbook. Joint Services Software Safety Committee.
- [26] Jantzet J., (1991). Fuzzy Control, Lecture Notes In Online Process Control (5354). Electric Power Engineering Dpt, Technical University Of Denmark.
- [27] Macauley-Bell, P., Badiru A.B., (1992). A Fuzzy Linguistics Model For Job Related Injury Risk Assessment. Computers And Industrial Engineering. **23** 209-212.
- [28] Mamdani, E.H., Assilian, S., (1999). An Experiment In Linguistic Synthesis With a Fuzzy Logic Controller. Int. J. Hum.-Comp.Stud. **51** 135-147.
- [29] Dowlatshahi, S., (2001). The role of product safety and liability in concurrent engineering. Computers and Industrial Engineering. **41** 187-209.
- [30] McCauley-Bell, P., Badiru, A., (1992). A Fuzzy Linguistics Model For Job Related Injury Risk Assessment. Computers and Industrial Engineering, **23** 209-212.
- [31] Vaidhynathan, R., Venkatasubramanian, V., (1996). A semi-quantitative reasoning methodology for filtering and ranking HAZOP results in HAZOPExpert. Reliability Engineering and System Safety. **53** 185-203.
- [32] Guimaraes, A., Lapa, C.M.F., (2006). Hazard and operability study using approximate reasoning in Light-water reactors passive systems. Nuclear Engineering and Design. **236** 1256-1263.
- [33] Li, J., Huang, G., Zeng, G., Maqsood, I., Haung, Y., (2007). An integrated fuzzy-stochastic modeling approach for risk assessment of groundwater contamination. Journal of Environmental Management. **82** 173-188.
- [34] Slater, R., (1998). Safety Critical System Analysis. Camegie Mellon University. **18-849b** 1-9.

- [35] Ruiz, D., Canton, J., Nouguaes, J.M., Esquna, A., Puigjaner, L., (2001). On-line fault diagnosis system support for reactive scheduling in multipurpose batch chemical plants. *Computers and Chemical Engineering*. **25** 829-837.
- [36] Gentile, M., Rogers, W.J., Mannan M.S., (2003). Development Of a Fuzzy Logic Based Inherent Safety Index. *Institution of Chemical Engineers*. **81B** 444-460.
- [37] Musee, N., Lorenzen, L., Aldrich, C., (2006). An Aggregate Fuzzy Hazardous Index For Composite Wastes. *Journal Of Hazardous Materials*. **A137** 723-733.
- [38] Crowl, A.D., Louvar F.J., (1990). *Chemical Process Safety Fundamentals With Applications*. Prentice Hall.
- [39] Marlair, G.M., Kordek, M.A., (2005). Safety And Security Issues Relating To Low Capacity Of An-Based Fertilizers. *Journal Of Hazardous Materials*. **A123** 13-28.
- [40] Robert, W.J., Steven W.R., Stephen D.U. (2003). *Essential Practices For Managing Chemical Reactivity Hazards*. American Institute Of Chemical Engineers.
- [41] Talawar, M.B., Agrawal, A.P., Anniyapan, M., Wani, D.S., Bansode, M.K., Gore, G.M., (2006). Primary Explosives: Electrostatic Discharge Initiation, Additive Effect And Its Relation To Thermal And Explosive Characteristics. *Journal Of Hazardous Materials* **5499** 1-5
- [42] Μανωλόπουλος, Γ., (2004). Ανάλυση Αλγορίθμων, , Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Μαθηματικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.