

Δείκτες Εγγενούς Ασφάλειας Κατά Τον Σχεδιασμό Χημικών Εγκαταστάσεων

Κωνσταντίνος Κωσταράς

Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Καυσίμων και Υδρογονανθράκων (ΕΠΚΥ) του
Ινστιτούτου Τεχνικής Χημικών Διεργασιών (Ι.Τ.ΧΗ.Δ) του Εθνικού Κέντρου Έρευνας
και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (Ε.Κ.Ε.Τ.Α)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι δείκτες επικινδυνότητας που εμφανίζονται στη βιβλιογραφία και οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό τους.

Στη συνέχεια, γίνεται χρήση της γνώσης αυτής και αναπτύσσεται ένας ιεραρχικός ευφυής ελεγκτής ο οποίος προσδιορίζει τον Δείκτη επικινδυνότητας μίας διεργασίας (Process Hazard Index, PHIndex), τον «Δείκτη Γειτνίασης» για κάθε διεργασία της εγκατάστασης, (Abut Combination Risk Index, ACRIndex), που παίρνει τιμή ανάλογα με τον συνδυασμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (PHIndex) των γειτονικών διεργασιών και τον δείκτη ασφάλειας της εγκατάστασης (Safety Index), ανάλογα με τον χωροταξικό σχεδιασμό της εγκατάστασης.

Ο ελεγκτής που αναπτύχθηκε προσφέρει στον μελετητή πληροφορίες τόσο για τον χωροταξικό σχεδιασμό των διεργασιών, όσο και για τα ενδεδειγμένα μέτρα ασφάλειας που μπορεί να λάβει για την εξάλειψη των πηγών κινδύνου της εγκατάστασης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχεδιασμός χημικών εγκαταστάσεων είναι μία πολύπλοκη διαδικασία, η οποία ξεκινά με την σύλληψη της αρχικής «ιδέας», αναγνωρίζοντας μια συγκεκριμένη κοινωνική ανάγκη ή την ανάγκη επίλυσης ενός συγκεκριμένου προβλήματος, και περνώντας από συγκεκριμένα στάδια ολοκληρώνεται τελικά με την έναρξη της παραγωγής. Ένα από τα βασικότερα στάδια κατά τον σχεδιασμό των χημικών εγκαταστάσεων είναι η χωροταξική διάταξη των διεργασιών που τις απαρτίζουν ούτως ώστε να μεγιστοποιείται η εγγενής ασφάλεια τόσο της εγκατάστασης αυτής καθαυτής, όσο και του περιβάλλοντος χώρου. Για την μεγιστοποίηση της εγγενούς ασφάλειας ο σχεδιαστής μηχανικός καλείται να εφαρμόσει οδηγίες οι οποίες κατηγοριοποιούν την επικινδυνότητα των πρώτων υλών που εμπλέκονται στην διεργασία, το είδος της διεργασίας, και, συνολικά, ολόκληρη την εγκατάσταση, λαμβάνοντας υπόψη τα πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα που προκύπτουν σε περίπτωση ατυχήματος σύμφωνα με το φαινόμενο DOMINO. Η πιο πρόσφατη τέτοια οδηγία είναι η οδηγία SEVESO II. [1, 2, 3, 4, 5]

Στην παρούσα εργασία οι απαιτήσεις της οδηγίας SEVESO II υλοποιούνται με την δημιουργία ενός ιεραρχικού ευφυούς ελεγκτή.

Ο ελεγκτής που αναπτύχθηκε, αποτελεί ένα εργαλείο "κατάλληλης ανταλλαγής πληροφοριών" για τη συνεκτίμηση των κινδύνων μεγάλου ατυχήματος που προκύπτουν μεταξύ γειτονικών μονάδων, προσδιορίζοντας:

Τον Δείκτη επικινδυνότητας μίας διεργασίας (Process Hazard Index, PHIndex).

Τον «Δείκτη Γειννίασης» για κάθε διεργασία της εγκατάστασης, (Abut Combination Risk Index, ACRIIndex), που παίρνει τιμή ανάλογα με τον συνδυασμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (PHIndex) των γειτονικών διεργασιών.

Τον δείκτη ασφάλειας της εγκατάστασης (Safety Index), ανάλογα με τον χωροταξικό σχεδιασμό της εγκατάστασης.

Για τον προσδιορισμό των παραπάνω δεικτών, αναπτύχθηκε ένας ιεραρχικός ευφυής 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) κατηγοριοποίηση, καθώς και οι οριακές ποσότητες τους, όπως αναφέρονται στην οδηγία SEVESO II.

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).

Η εφαρμογή ανταποκρίνεται και στον Σχεδιασμό Χρήσεων Γης. Σύμφωνα με το άρθρο 12 της SEVESO II [6,7]. Ο ελεγκτής που αναπτύχθηκε προσφέρει στον μελετητή πληροφορίες τόσο για τον χωροταξικό σχεδιασμό των διεργασιών, όσο και για τα ενδεδειγμένα μέτρα ασφάλειας που μπορεί να λάβει για την εξάλειψη των πηγών κινδύνου της εγκατάστασης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΓΓΕΝΟΥΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας μια χημικής εγκατάστασης, στα αρχικά στάδια σχεδιασμού, είναι μείζονος σημασίας παράμετρος που επιρεάζει τόσο τον χρόνο ολοκλήρωσης της εγκατάστασης, όσο και τα κόστη κατασκευής της. Οι σχεδιαστές, μηχανικοί, αδυνατούν να χρησιμοποιήσουν μεθοδολογίες προσδιορισμού της επικινδυνότητας όπως είναι η ανάλυση κινδύνου λειτουργικότητας (HAZOP), η μέθοδος αστοχίας και συνέπειας (FMEA: Failure Mode and Effects Analysis), η μέθοδος λογικών διαγραμμάτων (Master Logic Diagrams), τα δέντρα σφαλμάτων (Fault Trees), τα δέντρα γεγονότων (Event Trees) και αυτό γιατί τα δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή τους είναι πολλά και στην παρούσα φάση του σχεδιασμού είναι ελλιπή. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα έχουν αναπτυχθεί μεθοδολογίες που προσδιορίζουν δείκτες επικινδυνότητας της εγκατάστασης, αναφερόμενοι κυρίως στην εγγενή ασφάλεια της εγκατάστασης. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι δείκτες αυτοί όπως υπάρχουν στην βιβλιογραφία, με την αντίστοιχη αναφορά σε αυτή. Οι δείκτες που προσδιορίζονται εξυπηρετούν κυρίως έναν από τους παρακάτω στόχους:

- Την αρχική αποτίμηση της ασφάλειας της εγκατάστασης που σχεδιάζεται (ISI, ISI2, INSET, EHS).
- Τον προσδιορισμό της πιο επικίνδυνης διεργασίας της εγκατάστασης, με σκοπό την περαιτέρω διερεύνησή της (RPE, Metrc, HIRA-FEDI,, HIRA-TDI, Dow F&EI, Dow CEI).
- Τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας με χρήση αλγορίθμων με στόχο την μαθηματική βελτιστοποίηση της (HIRA).

Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό των δεικτών, μπορούν να καταταχθούν σε κατηγορίες. Η αναλυτική αναφορά παραμέτρων, των κατηγοριών και στοιχείων που χρησιμοποιούνται σε κάθε δείκτη είναι εκτός του στόχου αυτού του συγγράμματος, μια σύνοψη των κατηγοριών και των στοιχείων που τις απαρτίζουν, όπως παρουσιάζονται στον Koller et al [8], αναπτύσσεται παρακάτω.

Συντομογραφία	Ονομασία Μεθόδου	Βιβλιογραφική Αναφορά
Dow F&EI	Dow Fire & Explosion Index	9
Dow CEI	Dow Chemical Exposure Index	10
EHS	Environment Health & Safety Index	11
HHS	Health Hazard Score	12
HIRA	Hazard Identification & Ranking	13
HIRA-TDI	Toxicity Damage Index	13
HIRA-FEDI	Fire Explosion Damage Index	13
INSET	Inherent Safety Evaluation Toolkit	14
ISI2	Inherent Safety Index	15
ISI	Inherent Safety Index	16
Metrik	Method for Risk Classification	17
RFM	Risk Factor Model	18
Schering	Concept for Solvent Selection	19
RPE	Method for Risk Potential Evaluation	20

Πίνακας 1: Δείκτες Επικινδυνότητας που βρέθηκαν στην βιβλιογραφία

Φορέας Που Ανέπτυξε τον Δείκτη

Οι δείκτες που βρέθηκαν στην βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί από κυβερνήσεις (RFM, RPE), από ερευνητικά ινστιτούτα (HHS, ISI2, ISI, HIRA-TDI, HIRA-FEDI) και από την βιομηχανία (Schering, INSET, Metrik, Dow CEI, Dow F&EI).

Χαρακτηριστικά Της Κάθε Διεργασίας

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 άμεσα συνδεδεμένο με την εκρηκτικότητα και την τοξικότητά της. Για να μπορέσει να γίνει αυτό απαιτείται να προσδιορισθούν οι κίνδυνοι που αφορούν την διεργασία ανάλογα με το είδος και τον τρόπο λειτουργίας της. Έτσι, οι κίνδυνοι μίας διεργασίας χωρίζονται:

- Στους εγγενείς κινδύνους που προέρχονται από τη φύση της διεργασίας και αναφέρονται ως γενικοί κίνδυνοι της διεργασίας, εδώ εντάσσονται:
 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.
 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.
- Στους ειδικούς κινδύνους που χαρακτηρίζουν μία διεργασία. Σε αυτή την κατηγορία τα στοιχεία που εντάσσονται είναι:
 1. Το μέγεθος της διεργασίας με την δυναμικότητα της.
 2. Οι συνθήκες λειτουργίας της ως προς την πίεση και την θερμοκρασία
 3. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός της διεργασίας με τις παράπλευρες ή τις βοηθητικές διατάξεις.
 4. Δεδομένα ασφάλειας της διεργασίας από την βιβλιογραφία.

Τα παραπάνω στοιχεία, όλα ή μέρος αυτών, χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό των δεικτών είτε με κάποια μαθηματική συνάρτηση, είτε με την δημιουργία κατηγοριών επικινδυνότητας.

Πιθανότητα Ατυχήματος Και Μέγεθος Καταστροφής

Μερικές μέθοδοι προσδιορίζουν το μέγεθος της καταστροφής που μπορεί να προκαλέσει ένα ατύχημα από την διεργασία κάνοντας αναφορά και στα πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα αυτού του γεγονότος (Domino Effects). Έτσι,

προσδιορίζουν τον τρόπο που θα επηρεαστούν οι παράπλευρες διεργασίες, ολόκληρη η εγκατάσταση, αλλά και το μέγεθος της περιβαλλοντικής καταστροφής που μπορεί να προκαλέσουν.

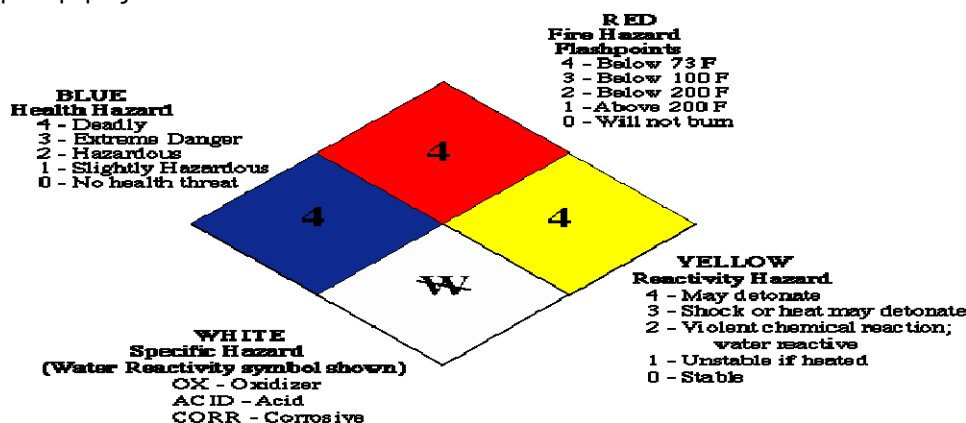
Χαρακτηριστικά Των Υλικών Της Διεργασίας

Τα υλικά που αποτελούν την πρώτη ύλη, τα ενδιάμεσα προϊόντα και τα τελικά προϊόντα αποτελούν στοιχεία που προσδιορίζουν την επικινδυνότητα μιας διεργασίας. Τα κύρια χαρακτηριστικά των υλικών που λαμβάνονται υπόψη είναι:

- Η εκρηκτικότητα των υλικών.
- Η τοξικότητα των υλικών.
- Η ενεργότητα των υλικών
- Η διαβρωτικότητα των υλικών.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την διαφυγή των υλικών στο περιβάλλον.

Τα χαρακτηριστικά επικινδυνότητας των υλικών που χρησιμοποιούνται προέρχονται κυρίως από τα δεδομένα που προέρχονται από τον διεθνή οργανισμό για την πυροπροστασία NFPA με την κατηγοριοποίηση που έχει κάνει, αλλά και από τα δεδομένα ασφάλειας των υλικών (MSDS).

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.



Σχήμα 1: Το διαμάντι της NFPA

Συνοψίζοντας την επικινδυνότητα κατά NFPA των υλικών ξεχωρίζουμε αρχικά μια χρωματική ταξινόμηση στο διαμάντι (Σχήμα 1), έτσι:

- Ο μπλε 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:

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

Επιπτώσεις Στην Ανθρώπινη Υγεία

Κάποιοι δείκτες που αναπτύχθηκαν, προσδιορίζουν και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Η διαφοροποίησή τους είναι στο αν αναφέρονται σε μακροχρόνιες (ISI, ISI2, Schering) ή βραχυπρόθεσμες (Metric, Dow CEI, EHS) επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων από τους κινδύνους που εμπεριέχονται στην διεργασία και την έκθεσή τους σε αυτούς.

Αποτελέσματα

Ο κάθε δείκτης που έχει αναπτυχθεί βιβλιογραφικά δίνει πληροφορίες στους σχεδιαστές μηχανικούς για τα:

1. Χαρακτηριστικά Της Κάθε Διεργασίας.
2. Πιθανότητα Ατυχήματος Και Μέγεθος Καταστροφής.
3. Χαρακτηριστικά Των Υλικών Της Διεργασίας.
4. Επιπτώσεις Στην Ανθρώπινη Υγεία.

Στη συνέχεια, της παρούσας μελέτης, γίνεται χρήση της γνώσης αυτής και αναπτύσσεται ένας ιεραρχικός ευφυής ελεγκτής ο οποίος προσδιορίζει τον Δείκτη επικινδυνότητας μίας διεργασίας (Process Hazard Index, PHIndex), τον «Δείκτη Γειτνίασης» για κάθε διεργασία της εγκατάστασης, (Abut Combination Risk Index, ACRIndex), που παίρνει τιμή ανάλογα με τον συνδυασμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (PHIndex) των γειτονικών διεργασιών και τον δείκτη ασφάλειας της εγκατάστασης (Safety Index), ανάλογα με τον χωροταξικό σχεδιασμό της εγκατάστασης.

ΕΥΦΥΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ – ΣΤΑΔΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο όρος "Ευφυής Έλεγχος" φγη 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. [21, 22, 23, 24].

Δημιουργός της θεωρίας του ευφυούς ελέγχου είναι ο Lotfi A.Zadeh του πανεπιστημίου Berkeley της Καλιφόρνια, όπου στα μέσα του 1960 εφηύρε 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. Έτσι για 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 . Οι τύποι συναρτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για την περιγραφή ασαφών αριθμών είναι: α) η τριγωνική συνάρτηση και β) η τραπεζοειδής συνάρτηση

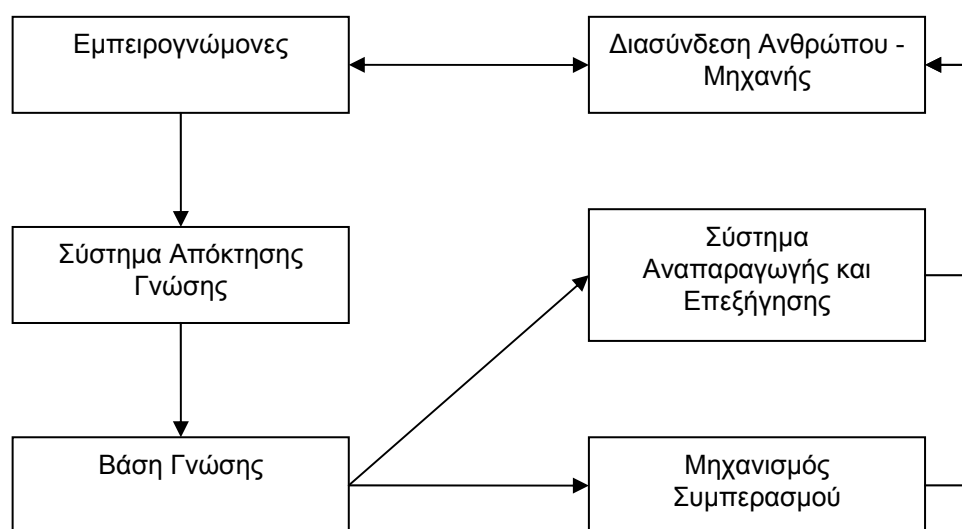
Για τον έλεγχο διεργασιών με ασαφείς ελεγκτές απαιτείται ένα σύνολο γλωσσικών κανόνων. Οι κανόνες αυτοί είναι όμοιοι με αυτούς με τους οποίους εκπαιδεύονται και στην συνέχεια εφαρμόζουν οι χειριστές διεργασιών στην πράξη. Το σύνολο των κανόνων αποτελεί τη βάση γνώσης (rule base) του ελεγκτή. Φυσικό είναι 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 «ΕΑΝ» (αίτιο) «ΤΟΤΕ» (αποτέλεσμα) ή ΕΑΝ Α ΤΟΤΕ Β. Η αποτύπωση της γνώσης γίνεται με ασαφής συνεπαγωγές και μηχανισμούς συμπερασμού. Στην παρούσα μελέτη ο ελεγκτής αναπτύχθηκε με την συνεπαγωγή και τον μηχανισμό συμπερασμού του Mamdani

Τέλος, ο ελεγκτής ολοκληρώνεται με την αποσαφοποίηση των ασαφών αριθμών ελέγχου, η μέθοδος αποσαφοποίησης που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη αυτή, είναι η μέθοδος του κέντρου βάρους.

Τα βήματα υλοποίησης ενός ευφυούς ελεγκτή φαίνονται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. Τα βήματα υλοποίησης ενός ευφυούς ελεγκτή

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ

Η έννοια της επικινδυνότητας αποτελεί μια σύνθεση των εννοιών: της ανεπιθύμητης συνέπειας και της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει την πραγματοποίηση αυτής της ανεπιθύμητης συνέπειας. Για τον προσδιορισμό ενός δείκτη ασφάλειας μιας εγκατάστασης έχουν προταθεί βιβλιογραφικά αρκετές μεθοδολογίες, η ποιά γνωστή μεθοδολογία είναι αυτή που προτάθηκε από την Dow Chemicals το 1964 [25, 26]

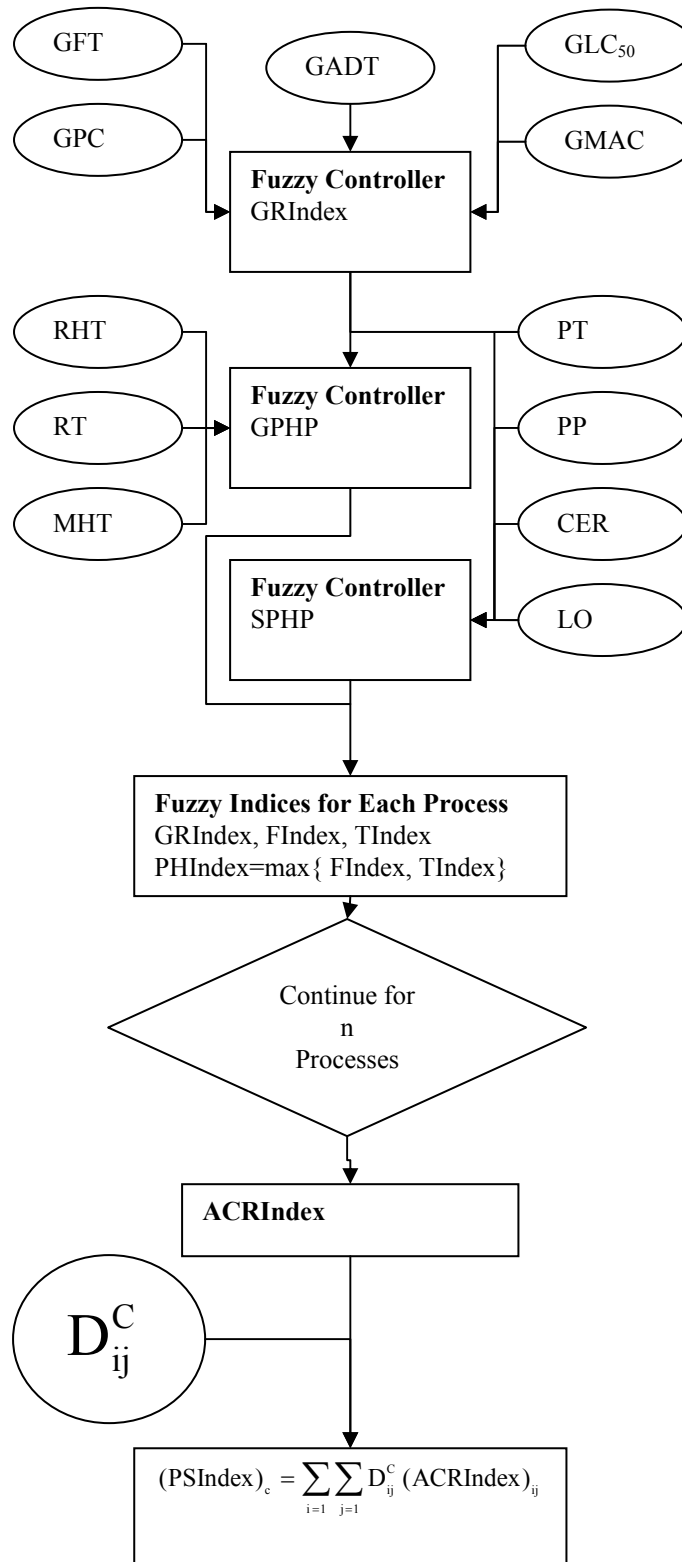
Η μεθοδολογία που προτάθηκε από την Dow Chemicals αλλά και οι οδηγίες που παρατήθηκαν στην οδηγία SEVESO II, είναι η βάση που χρησιμοποιήθηκε στην για τη δημιουργία του ελεγκτή, ο οποίος αποτελεί ένα εργαλείο "κατάλληλης ανταλλαγής πληροφοριών" γιατί συνεκτιμά τον κίνδυνο εμφάνισης μεγάλου ατυχήματος μεταξύ γειτονικών μονάδων, προσδιορίζοντας:

- Τον Δείκτη επικινδυνότητας μίας διεργασίας (Process Hazard Index, PHIndex).
- Τον «Δείκτη Γειννίας» για κάθε διεργασία της εγκατάστασης, (Abut Combination Risk Index, ACRIndex), που παίρνει τιμή ανάλογα με τον συνδυασμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (PHIndex) των γειτονικών διεργασιών.
- Τον δείκτη ασφάλειας της εγκατάστασης (Safety Index), ανάλογα με τον χωροταξικό σχεδιασμό της εγκατάστασης.

Για τον προσδιορισμό των παραπάνω δεικτών, αναπτύχθηκε ένας ιεραρχικός ευφυής ελεγκτής που συνεκτιμά την αβεβαιότητα που υπάρχει στην διεργασία αλλά και την πιθανότητα να προξενηθεί ατύχημα στην διεργασία και λαμβάνει υπόψη:

Συντομογραφία	Περιγραφή	Έυρος Τιμών
Δεδομένα Εισόδου		
GFP	Θερμοκρασία ανάφλεξης υλικών (°C)	23 -93
GADT	Θερμοκρασία διάσπασης υλικών (°C)	557 – 807
GLC ₅₀	Θανάσιμη συγκέντρωση 50 ων υλικών (ppm)	1000 – 10000
GPC	% επιτρεπόμενη συγκέντρωση των υλικών σύμφωνα με την οδηγία SEVESO II	0 – 100
GMAC	Ελάχιστη αποδεκτή συγκέντρωση των υλικών (ppm)	
RHT	Βαθμός μεταφοράς θερμότητας από αντίδραση	0 – 1
RT	Τύπος αντίδρασης (ενδόθερμη – εξώθερμη)	-1 or 1
MHT	% βαθμός χειρισμού των υλικών	0 – 100
PT	Θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας (°C)	
PP	Πίεση λειτουργίας της διεργασίας (atm)	
CER	% ρυθμός οξείδωσης ή διάβρωσης των υλικών της διεργασίας	0 – 100
LO	Βαθμός διαρροής των υλικών από την διεργασία	0 – 1
D _{ij} ^c	Η ευθεία απόσταση μεταξύ της i th -διεργασίας και της j th -διεργασίας του C συνδυασμού	
Δεδομένα Εξόδου		
GFRF	Συντελεστής εκρηκτικότητας των υλικών	0 – 4
GRRF	Συντελεστής ενεργότητας των υλικών	0 – 4
GVRF	Συντελεστής τοξικότητας των υλικών	0 – 4
FMF	Δείκτης ευφλεκτικότητας	0 – 40
TMF	Δείκτης τοξικότητας	0 -325
MACP	Ποινή ελάχιστης αποδεκτής συγκέντρωσης των υλικών	50, 75, 125
RP	Ποινή λόγω χημικής αντίδρασης στην διεργασία	0 – 1.5
HSP	Ποινή από ενδιάμεση αποθήκευση-αναμονή των υλικών	0 – 0.8
PPP	Ποινή από την πίεση λειτουργίας της διεργασίας	0 – 2
PTP	Ποινή από την θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας	0 – 1
CEP	Ποινή λόγω διάβρωσης	0 – 0.6
LP	Ποινή λόγω διαρροής	0 – 2
Προσδιοριζόμενα μεγέθη		
GPHP	GPHP = RP + HSP	
SPHP	SPHP = PPP + PTP + CEP + LP	
Δείκτες		
GRIndex	GRIndex = max{GFRF, GRRF, GVRF}	0 – 4
FIndex	FIndex = FMF (1 + GPHP) (1 + SPHP)	0 – 4
TIndex	$TIndex = \frac{TMF - MACP}{100} (1 + GPHP + SPHP)$	0 – 4
PHIndex	PHIndex = max class {FIndex, TIndex}	
ACRIndex	Abut Combination Risk Index	
(PSIndex) _c	$(PSIndex)_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{ij}^c (ACRIndex)_{ij}$	

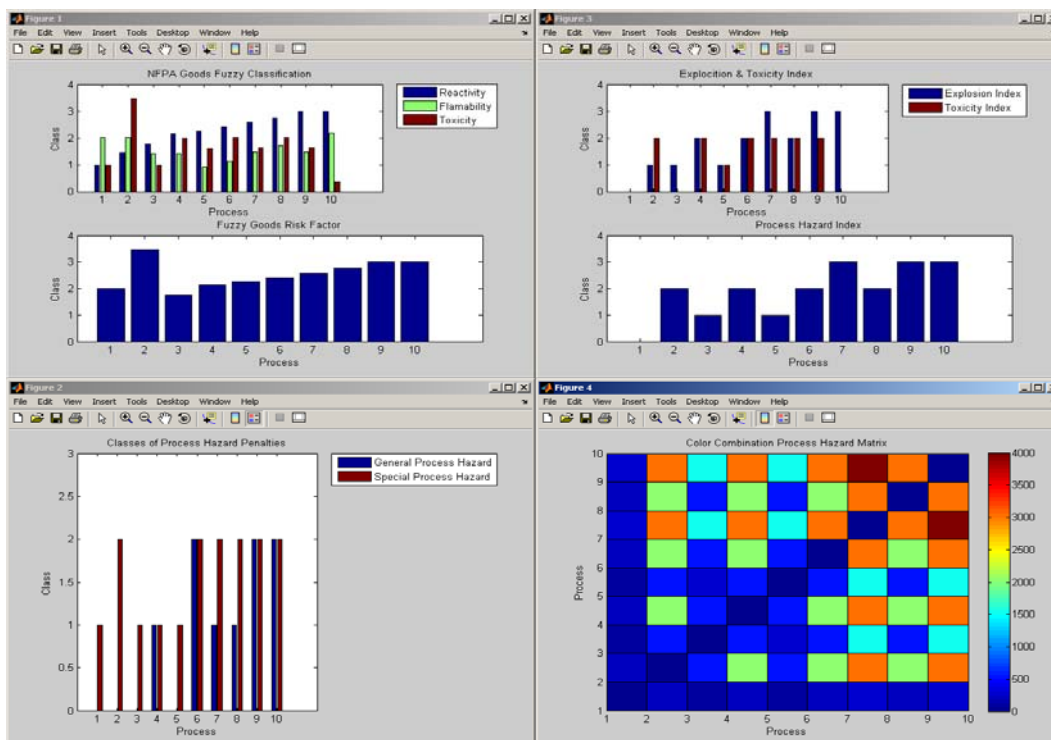
Πίνακας 2: Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για τον ελεγκτή



Διάγραμμα 1: Ο αλγόριθμος λειτουργίας του ευφούς ελεγκτή.

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

Πίνακας 3: Τα αποτελέσματα των ελεγκτών, ο συνδυασμός που μεγιστοποιεί την ασφάλεια είναι ο 4



Διάγραμμα 2: Τα γραφήματα που προκύπτουν από τον ελεγκτή κατά την ολοκλήρωση του προσδιορισμού των δεικτών

- Τα υλικά που συμμετέχουν – επεξεργάζονται από την διεργασία και η επικινδυνότητα που παρουσιάζουν, όπως αυτή κατηγοριοποιείται σύμφωνα με την NFPA (National Fire Protection Association) κατηγοριοποίηση, καθώς και οι οριακές ποσότητες τους, όπως αναφέρονται στην οδηγία SEVESO II.
- 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).

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό των παραπάνω δεικτών και στο διάγραμμα 1 φαίνεται ο αλγόριθμος λειτουργίας του ευφούς ελεγκτή. Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζονται τα γραφήματα που προκύπτουν από τον ελεγκτή κατά την ολοκλήρωση του προσδιορισμού των δεικτών.

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, τα αποτελέσματα της εφαρμογής εμφανίζονται στον πίνακα 2, όπου, όπως προκύπτει από τον ελεγκτή ο συνδιασμός που μεγιστοποιεί την ασφάλεια είναι ο 4, πίνακας 3.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ευφυής ελεγκτής που αναπτύχθηκε, στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, δίνει την δυνατότητα στον μελετητή να λαμβάνει πληροφορίες για: α) την επικινδυνότητα των υλικών (Goods Risk Factor, GRF), που συμμετέχουν σε κάθε διεργασία, β) τον Δείκτη επικινδυνότητας μίας διεργασίας (Process Hazard Index, PHIndex), γ) τον «Δείκτη Γειτνίασης» για κάθε διεργασία της εγκατάστασης, (Abut Combination Risk Index, ACRIndex), που παίρνει τιμή ανάλογα με τον συνδυασμό του Δείκτη Επικινδυνότητας (PHIndex) των γειτονικών διεργασιών, δ) τον δείκτη ασφάλειας της εγκατάστασης (Safety Index), ανάλογα με τον χωροταξικό σχεδιασμό της εγκατάστασης.

Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι πολύ ενθαρρυντικά. Ο ασαφής έλεγχος που χρησιμοποιήθηκε παρέχει συστηματική παρακολούθηση των χαρακτηριστικών μεγεθών της εγκατάστασης προσφέροντας στον μελετητή πληροφορίες:

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

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Arendt, J.S., Lorenzo D.K. Evaluating Process Safety In The Chemical Industry A User's Guide To Quantitative Risk Analysis. American Institute Of Chemical Engineers. (2000)
- [2]. Γεωργιάδου Ε., Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης. ΕΛΙΝΥΑΕ. (2001).
- [3]. Kletz, T., Learning From Accidents. Gulf Professional Publishing. (2001).
- [4]. Lees P.F., Loss Prevention In The Process Industries, Vol. 1, 2, 3. Butterworth Heinemann. (1996).
- [5]. Sanders E.R., Chemical Process Safety Learning From Case Histories. Butterworth Heinemann. (1999).
- [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]. Koller, G. et al, (2001). Comparison of methods suitable for assessing the hazard potential of chemical processes during early design phases. Trans IChemE, Vol 79, Part B, 157-166
- [9]. Dow Chemical, (1994), Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide, AIChE Technical Manual.
- [10]. Dow Chemical, (1988), Chemical Exposure Index (Dow Chemicals, Dow-Center Midland).
- [11]. Koller, G., et al, (2000), Assessing safety, health and environmental impact early during process development. Ind. Eng. Chem. Res, 39:960-972.

- [12]. Sheng, P. and Hertwich, E., (1998), Indices for comparative waste assessment in environmentally-conscious manufacturing. *J. Manufact. Sci. Eng.* 120(2):129-140
- [13]. Khan, F. I. and Abbasi, S. A., (1998) Multivariate hazard identification and ranking system. *Process Safety Progress*, 17(3):157-170.
- [14]. Turney, R., et al, (1997), The INSIDE project on inherent SHE in process development and design-The Toolkit and its application. *ICHEME Symp Ser No* 141,202-216.
- [15]. Heikkila, A.-M., (1999), Inherent safety in process plant design. VTT Publications, 384, (Technical Research Centre of Finland).
- [16]. Edwards, D. W. and Lawrence, D., (1995), Assessing the inherent safety of chemicals process routes. *Loss Prevention and Safety Promotion In Process Industries, 8th Symposium* (Elsevier, Antwerpen), 473-483.
- [17]. Steindach, J. et al, (1998), Methoden zur Bewertung des Gefahrenpotentials von verfahrenstechnischen Anlagen und Verfahren. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*, Fb 820.
- [18]. Smola, T., et al, (1997) Vergleich der Risikofaktorenmodelle in Deutschland nach TRGS 440 und in Österreich nach Piring, *Gefahrstoffe-Reinigung der Luft*, 57:289-293.
- [19]. Mosebach, m., et al, (2000), Konzept zur Losmittelauswahl bei der Optimierung von Wirkstoffsynthesen in der pharmazeutischen Industrie. *Technische Überwachung*, 41(1/2):17-21.
- [20]. Kuhnreich, K., et al, (1998), Ermittlung und Bewertung des Gefahrenpotentials für Beschäftigte in verfahrenstechnischen Anlagen und Lagereinrichtungen, *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*, Fb 794.
- [21]. Tsoukalas, L., Uhrig R., *Fuzzy And Neural Approaches In Engineering*. John Wiley And Sons Inc. (1997).
- [22]. Κινγκ P.E., Ευφυής Έλεγχος. Τζιόλα, (2004).
- [23]. Mendel, J., *Fuzzy Logic Systems For Engineering: A Tutorial*. Proc. IEEE, (1995), 83 345-377
- [24]. Τζιώνας, Π., Εισαγωγή Στον Ευφυή Έλεγχο, Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Μαθηματικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [25]. Thomson, B., (1999). International co-operation in hazardous materials accident prevention. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. (2006), 12 217–225.
- [26]. National Fire Protection Association (NFPA) Standard 325A, Fire Hazard Properties Of Flammable Liquids, Gases, Solids, Hazardous Chemical Data. NFPA, MA. (1994).