



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης
Τομέας: Οργάνωση και Διοίκηση
Εργαστήριο Εργονομίας

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

“ Ανάλυση επικινδυνότητας εργασιών τροφοδοσίας χλωρίου με
συνδυασμό μεθόδων μοντελοποίησης επιχειρησιακών διαδικασιών
και δικτύων Petri ”

Σκούρτης Βασίλειος

Η διατριβή του Σκούρτη Βασίλειου εγκρίνεται από τους κ.κ

Κοντογιάννη Θωμά Αναπληρωτή Καθηγητή (Επιβλέπων)

Μουστάκη Βασίλειο Αναπληρωτή Καθηγητή

Γρηγορούδη Ευάγγελο Επίκουρο Αναπληρωτή Καθηγητή

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κύριο Θωμά Κοντογιάννη, για την υποστήριξη και την πολύτιμη βοήθειά του κατά την εκπόνηση αυτής της διατριβής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Παπαδάκη Γεώργιο για τη σημαντική συνεισφορά του.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές της εξεταστικής επιτροπής, κύριο Μουστάκη και κύριο Γρηγορούδη, για το χρόνο που αφιέρωσαν για την ανάγνωση αυτού του κειμένου καθώς και για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανωτέρους μου στο Ναυτικό που μου επέτρεψαν την παρακολούθηση του μεταπτυχιακού αυτού παράλληλα με την εκπλήρωση της στρατιωτική μου θητείας, χορηγώντας μου μέρες αδείας κατά τις εξεταστικές περιόδους.

Δεν θα μπορούσα να ξεχάσω τις *palioseires* και τη μαμά των μισών εξ' αυτών, οι οποίοι έκαναν πιο διασκεδαστική και κάποιες φορές πιο γευστική αυτή την περίοδο της ζωής μου.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ στην κολώνα στήριξής μου, την οικογένειά μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	8
Κεφάλαιο 1.....	9
1.Εισαγωγή	9
1.1 Γενικά	9
1.2 Σκοπός και σημασία της εργασίας	11
1.3 Δομή της εργασίας	11
Κεφάλαιο 2.....	14
2.Χαρακτηριστικά χλωρίου και προδιαγραφές διαδικασιών τροφοδοσίας	14
2.1 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες χλωρίου.....	14
2.1.1 Γενικά.....	14
2.1.2 Χημικές ιδιότητες και συμπεριφορά του χλωρίου.....	14
2.2 Προδιαγραφές Εξοπλισμού Βυτιοφόρων.....	17
2.2.1 Γενικά.....	17
2.2.2 Γωνιακές βαλβίδες (Angle Valves).....	17
2.2.3 Βαλβίδες υπερχείλισης (Excess Flow Valves).....	17
2.2.4 Συσκευές Ανακούφισης Πίεσης (Pressure Relief Device)	18
2.3 Διαδικασίες πριν τη φόρτωση ή την εκφόρτωση χλωρίου.....	18
2.3.1 Στάθμευση σε συγκεκριμένη περιοχή.....	18
2.3.2 Ασφάλεια και προστασία οχήματος	18
2.3.3 Επιθεώρηση και προετοιμασία οχημάτων πριν από τη φόρτωση	19
2.4 Φόρτωση βυτιοφόρου	20
2.4.1 Γενικά.....	20
2.4.2 Σημεία προσοχής κατά τη φόρτωση.....	20
2.4.3 Φόρτωση σε κλίμακα φορτηγών	21
2.4.4 Πίεση δεξαμενών	22
2.4.5 Διαρροές κατά τη φόρτωση	22
2.4.6 Αποσύνδεση	23
2.4.7 Αποθήκευση χλωρίου στα βυτιοφόρα	23
2.5 Εκφόρτωση βυτιοφόρου	24
2.5.1 Γενικά.....	24
2.5.2 Λίστα ελέγχου επιθεώρησης βυτιοφόρου.....	24
2.5.3 Συνδεσμολογία.....	25
2.5.4 Πίεση στη γραμμή	26
2.5.5 Κλείσιμο βαλβίδας excess flow.....	26
2.5.6 Επίβλεψη της εκφόρτωσης.....	26
2.5.7 Διαρροές κατά την εκφόρτωση και αποσύνδεση.....	26
2.6 Αντιμετώπιση διαρροής χλωρίου.....	27
2.7 Επιπτώσεις του χλωρίου στους ζωντανούς οργανισμούς.....	28
Κεφάλαιο 3.....	29
3.Περιγραφή και ανάλυση διαδικασίας πλήρωσης βυτιοφόρου χλωρίου.....	29
3.1 Περιγραφή πλήρωσης βυτιοφόρου χλωρίου	30
3.2 Ιεραρχική ανάλυση εργασίας	34
3.3 Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών (Fault Tree Analysis)	41
3.3.1 Δέντρο αστοχιών διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου.....	43
Κεφάλαιο 4.....	47
4.Μοντελοποίηση και υλοποίηση των διαδικασιών φόρτωσης και εκφόρτωσης χλωρίου σε δίκτυα Petri	47
4.1 Εισαγωγή	47

4.2 Υλοποίηση σε έγχρωμα δίκτυα Petri	47
4.3 Ανάλυση πρώτου επιπέδου διαδικασίας φόρτωσης.....	47
4.4 Ανάλυση δεύτερου επιπέδου διαδικασίας φόρτωσης.....	51
4.4.1 Arrival.....	51
4.4.2 Preparations for Fueling.....	54
4.4.3 Start Filling Procedure	55
4.4.4 Completion of the Procedure.....	59
4.4.5 Departure.....	60
4.5 Ανάλυση τρίτου επιπέδου διαδικασίας φόρτωσης.....	62
4.5.1 FaultTree.....	62
4.5.2 LeakageHandling.....	67
Κεφάλαιο 5.....	71
5. Πειραματικές μετρήσεις	71
5.1 Εισαγωγή	71
5.2 Απόδοση	71
5.3 Παρακολουθητές (Monitors).....	72
5.3.1 Είδη παρακολουθητών	72
5.3.2 Λειτουργικότητα παρακολουθητών.....	73
5.3.3 Συναρτήσεις παρακολουθητών.....	73
5.4 Χρήση παρακολουθητών στο δίκτυο Petri για τη φόρτωση χλωρίου.....	74
5.5 Διεξαγωγή πειραμάτων.....	75
5.5.1 Προσομοίωση 10 βυτιοφόρων	77
5.5.2 Προσομοίωση 50 βυτιοφόρων	81
5.5.3 Προσομοίωση 100 βυτιοφόρων	83

Σχήματα

<u>Σχήμα 1.1: Μοντέλο διαγράμματος ροής ενεργειών.....</u>	<u>12</u>
<u>Σχήμα 2.1: Περιοδικός Πίνακας.....</u>	<u>15</u>
<u>Σχήμα 3.1: Διάγραμμα φόρτωσης βυτιοφόρου χλωρίου.....</u>	<u>32</u>
<u>Σχήμα 3.2: Τυπική διάταξη βυτιοφόρων οχημάτων.....</u>	<u>33</u>
<u>Σχήμα 3.3: Διάγραμμα εκφόρτωσης βυτιοφόρου χλωρίου.....</u>	<u>33</u>
<u>Σχήμα 3.4: Πρώτο επίπεδο ιεραρχικής ανάλυσης εργασίας για τη διαδικασία πλήρωσης χλωρίου</u>	<u>36</u>
<u>Σχήμα 3.5: Ανάλυση εργασίας για την προετοιμασία του βυτιοφόρου για φόρτωση</u>	<u>37</u>
<u>Σχήμα 3.6: Ανάλυση εργασίας για την έναρξη και την παρακολούθηση της φόρτωσης</u>	<u>38</u>
<u>Σχήμα 3.7: Ανάλυση εργασίας για την ολοκλήρωση έναρξη και την παρακολούθηση της φόρτωσης.....</u>	<u>40</u>
<u>Σχήμα 3.8: Δέντρο αστοχιών (fault tree) φόρτωσης χλωρίου.....</u>	<u>44</u>
<u>Σχήμα 4.1: Πρώτο επίπεδο δικτύου Petri διαδικασίας φόρτωσης.....</u>	<u>48</u>
<u>Σχήμα 4.2: Αφιξη βυτιοφόρου στις εγκαταστάσεις.....</u>	<u>52</u>
<u>Σχήμα 4.3: Προετοιμασίες για τη φόρτωση.....</u>	<u>54</u>
<u>Σχήμα 4.4: Φόρτωση βυτιοφόρου με χλώριο.....</u>	<u>56</u>
<u>Σχήμα 4.5: Ολοκλήρωση της φόρτωσης και αποδέσμευση του βυτιοφόρου.....</u>	<u>58</u>
<u>Σχήμα 4.6: Αναχώρηση βυτιοφόρου.....</u>	<u>61</u>
<u>Σχήμα 4.7: Δίκτυο δέντρου αστοχιών διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου.....</u>	<u>63</u>
<u>Σχήμα 4.8: Δίκτυο Petri για την αντιμετώπιση διαρροής.....</u>	<u>68</u>

Πίνακες

Πίνακας 2.1: Χημική ταυτότητα γλωρίου.....	16
Πίνακας 2.2: Επιπτώσεις γλωρίου στον ανθρώπινο οργανισμό.....	29
Πίνακας 4.1: Declarations δικτύου.....	49
Πίνακας 5. 1: Συναρτήσεις Predicate και Observer write-in-file παρακολουθητή.....	76
Πίνακας 5.2: Δεδομένα πειράματος Α για τη φόρτωση 10 βυτιοφόρων.....	78
Πίνακας 5.3: Αρχείο αναφοράς εξυπηρέτησης 10 βυτιοφόρων πειράματος Α.....	78
Πίνακας 5.4: Δεδομένα πειράματος Β για τη φόρτωση 10 βυτιοφόρων.....	79
Πίνακας 5.5: Αρχείο αναφοράς εξυπηρέτησης 10 βυτιοφόρων πειράματος Β.....	79
Πίνακας 5.6: Δεδομένα πειράματος Γ για τη φόρτωση 10 βυτιοφόρων.....	80
Πίνακας 5.7: Αρχείο αναφοράς εξυπηρέτησης 10 βυτιοφόρων πειράματος Γ.....	80
Πίνακας 5.8: Δεδομένα πειράματος Α για τη φόρτωση 50 βυτιοφόρων.....	81
Πίνακας 5. 9: Δεδομένα πειράματος Β για τη φόρτωση 50 βυτιοφόρων.....	82
Πίνακας 5.10: Δεδομένα πειράματος Γ για τη φόρτωση 50 βυτιοφόρων.....	83
Πίνακας 5.11: Δεδομένα πειράματος Α για τη φόρτωση 100 βυτιοφόρων.....	84
Πίνακας 5.12: Δεδομένα πειράματος Β για τη φόρτωση 100 βυτιοφόρων.....	85
Πίνακας 5.13: Δεδομένα πειράματος Γ για τη φόρτωση 100 βυτιοφόρων.....	86
Πίνακας 5.14: Δεδομένα πειράματος Α για τη φόρτωση 200 βυτιοφόρων.....	87
Πίνακας 5.15: Δεδομένα πειράματος Β για τη φόρτωση 200 βυτιοφόρων.....	88
Πίνακας 5.16: Δεδομένα πειράματος Γ για τη φόρτωση 200 βυτιοφόρων	89

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει τεράστια πρόοδος στη μοντελοποίηση επιχειρησιακών διαδικασιών που χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της διοίκησης επιχειρήσεων. Προς την κατεύθυνση αυτή έχουν αναπτυχθεί πολλές γλώσσες μοντελοποίησης, οι οποίες πλέον δεν στοχεύουν μόνο στην περιγραφή των διαδικασιών αλλά και στη βελτίωσή τους.

Η βελτίωση μίας διαδικασίας γίνεται εφικτή με τη χρήση τεχνικών προσομοίωσης. Μετά την κατασκευή του μοντέλου με μία από τις μεθόδους μοντελοποίησης, αυτό προσομοιώνεται και δίνει κάποια αποτελέσματα. Στη συνέχεια, αναλύοντας τις εξαγόμενες πληροφορίες γίνονται προσπάθειες βελτίωσης των επιλεγμένων διαδικασιών.

Στη διατριβή αυτή γίνεται αρχικά μία ποιοτική μοντελοποίηση των εργασιών με τη μέθοδο της ιεραρχικής ανάλυσης και κατόπιν πραγματοποιείται η προσομοίωση με δίκτυα Petri, προκειμένου να μελετηθούν διάφορα προβλήματα που προκύπτουν από ανθρώπινα λάθη και μηχανικές αστοχίες. Τα δίκτυα Petri προσφέρουν μια κοινή μέθοδο μοντελοποίησης και προσομοίωσης τόσο των ανθρώπινων λαθών όσο και των μηχανικών αστοχιών.

Το μοντέλο ανάλυσης εργασιών και λαθών εφαρμόζεται στην περίπτωση μιας επικίνδυνης κατάστασης που περιλαμβάνει τον ανεφοδιασμό βυτιοφόρων με χλώριο. Συνοπτικά, η εργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια : μοντελοποίηση των εργασιών διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου με τη μέθοδο της ιεραρχικής ανάλυσης, προσομοίωση των εργασιών με δίκτυα Petri και πρόβλεψη και στατιστική καταγραφή πιθανών ατυχημάτων.

Κεφάλαιο 1

1.Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Μια σειρά από σοβαρά ατυχήματα, γνωστά με τον όρο Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης (BAME) που έχουν συμβεί από τις αρχές κιόλας του 20ου αιώνα και μετά, έδειξαν με τον πιο δραματικό τρόπο την ανάγκη για συστηματική ανάλυση και μελέτη των προβλημάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια των εγκαταστάσεων. Ως BAME ορίζεται ένα συμβάν όπως μεγάλη διαρροή, πυρκαγιά ή έκρηξη που προκύπτει από ανεξέλεγκτες εξελίξεις κατά τη λειτουργία οποιασδήποτε εγκατάστασης, το οποίο προκαλεί μεγάλους κινδύνους, άμεσους ή απώτερους, για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, και σχετίζεται με μία ή περισσότερες επικίνδυνες ουσίες.

Ονόματα πόλεων όπως Sevezo (1976), Flixborough (1974), Mexico City (1984), Bhopal (1984), κ.α. έχουν γίνει συνώνυμα με βαρύτατες επιπτώσεις στο περιβάλλον και σε ανθρώπινες ζωές. Στην Ελλάδα έχουν συμβεί αρκετά ατυχήματα με σοβαρές συνέπειες όπως η πυρκαγιά στην Jet Oil στη Θεσσαλονίκη (1987), το ατύχημα στην ΠΕΤΡΟΛΑ (1992), το ατύχημα στην ΕΚΟ στη Θεσσαλονίκη (1998), κ.α. Τα ατυχήματα αυτά συνέβησαν κατά τη χρήση, αποθήκευση ή μεταφορά επικίνδυνων ουσιών (τοξικών, εύφλεκτων, εκρηκτικών) και τα κύρια χαρακτηριστικά τους ήταν οι καταστροφικές συνέπειες από την άποψη των θυμάτων και των υλικών ζημιών, τόσο στην περιοχή γύρω από τον τόπο του ατυχήματος, όσο και μακριά από αυτή. Σοβαρές ήταν επίσης και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Στη διεθνή βιβλιογραφία για τα σοβαρά ατυχήματα, τα ανθρώπινα σφάλματα αποτελούν τις βασικότερες αιτίες πρόκλησης των ατυχημάτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα ατυχήματα συμβαίνουν όταν ένα σφάλμα χειρισμού συμπληρώσει το συνδυαστικό κρίκο σε μία σειρά ανασφαλών εργασιακών παραγόντων. Μετά από αρκετές προσπάθειες διερεύνησης και αναγνώρισης των αιτιών των βιομηχανικών ατυχημάτων, οι ερευνητές έχουν στρέψει την προσοχή τους από τα ανθρώπινα λάθη σε δύο έννοιες οι οποίες είναι λιγότερο γνωστές, τους οργανωτικούς και διαχειριστικούς παράγοντες (organizational and management factors). Οι παράγοντες αυτοί καθοδηγούν και χαρακτηρίζουν τις δραστηριότητες των εργαζομένων, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την καθημερινή λειτουργία ενός

οργανισμού. Η έρευνα έχει δείξει ότι τα σφάλματα χειρισμού και οι αστοχίες του εξοπλισμού οφείλονται κυρίως στις αποφάσεις της διοίκησης και τους οργανωτικούς παράγοντες.

Σε νομοθετικό επίπεδο για το ζήτημα των βιομηχανικών ατυχημάτων, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε το 1982 την Οδηγία 82/501/EC (SEVESO), η οποία έθεσε το νομοθετικό πλαίσιο για τον έλεγχο των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων στα οποία συμμετέχουν επικίνδυνες ουσίες. Στα χρόνια που ακολούθησαν από το 1982 έως το 1992, παρόλο που η SEVESO αποδείχτηκε επιτυχής, στην Ευρώπη συνέβησαν περισσότερα από 130 ατυχήματα μεγάλης έκτασης. Το γεγονός αυτό έδειξε την ανάγκη για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του νομοθετικού πλαισίου όσον αφορά την πρόληψη των μεγάλων ατυχημάτων. Έτσι στις 26/1/1994, η Επιτροπή προχώρησε στην έκδοση μιας πρότασης για την αντικατάσταση της SEVESO από μία νέα Οδηγία, η οποία περιλάμβανε όλες τις βασικές αρχές της προηγούμενης Οδηγίας, ενώ παράλληλα ενσωμάτωνε επιπρόσθετα μέτρα καλής πρακτικής της διαχείρισης επικινδυνότητας, καθώς και διατάξεις για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας εφαρμογής της.

Η πρόταση αυτή μετά από τροποποιήσεις είχε ως αποτέλεσμα το Δεκέμβριο του 1996 να εκδοθεί και από τον Φεβρουάριο του 1997 να τεθεί σε ισχύ η νέα Οδηγία 96/82/EC γνωστή ως SEVESO II, η οποία αντικατέστησε την 82/501/EC. Σύμφωνα με τη SEVESO II, οι εγκαταστάσεις που είναι δυνατόν να περικλείουν κινδύνους ατυχημάτων μεγάλης έκτασης πρέπει να εφαρμόζουν μια πολιτική πρόληψης των κινδύνων αυτών. Η πολιτική αυτή πρέπει να αποβλέπει σε υψηλό επίπεδο προστασίας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος με την αποτελεσματική εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας - ΣΔΑ (Safety Management System - SMS).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι βιομηχανίες που παράγουν και διαχειρίζονται μεγάλες ποσότητες επικινδυνών ουσιών έχουν αναπτύξει Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας (ΣΔΑ) στα πλαίσια των νομοθετικών υποχρεώσεών τους (Οδηγία SEVESO II). Το χλώριο αποτελεί επικίνδυνη ουσία και επομένως μεγάλες ποσότητες επικινδυνών ουσιών διακινούνται και στις εγκαταστάσεις τροφοδοσίας χλωρίου.

1.2 Σκοπός και σημασία της εργασίας

Σκοπός της παρούσης διατριβής είναι η ανάπτυξη και η ανάλυση ενός μοντέλου προσομοίωσης της διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου σε βυτιοφόρα με τη χρήση δικτύων Petri. Μέσω της προσομοίωσης διερευνώνται διάφορα σενάρια και προκύπτουν στατιστικά δεδομένα για τη συχνότητα και το είδος των διαρροών, το μέγεθος και την επικινδυνότητα τους. Επίσης, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργία και την αποδοτικότητα των μέτρων ασφαλείας, των μέτρων προστασίας και των μέτρων αντιμετώπισης.

Θεωρώντας ότι το μοντέλο διαγράμματος ροής ενεργειών που απεικονίζει το ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Ασφαλείας στο σχήμα 1.1 ικανοποιεί τις απαιτήσεις τις SEVESO II για εταιρείες και εγκαταστάσεις τροφοδοσίας χλωρίου, το αντικείμενο της συγκεκριμένης διατριβής σχετίζεται με τις λειτουργίες του τομέα Risk Assessment. Η φυσική σημασία της διατριβής αυτής είναι η διενέργεια των εργασιών της εκτίμησης επικινδυνότητας και της αξιολόγησης της απόδοσης των εγκαταστάσεων, οι οποίες περιέχονται στο μοντέλο διαγράμματος ροής ενεργειών.

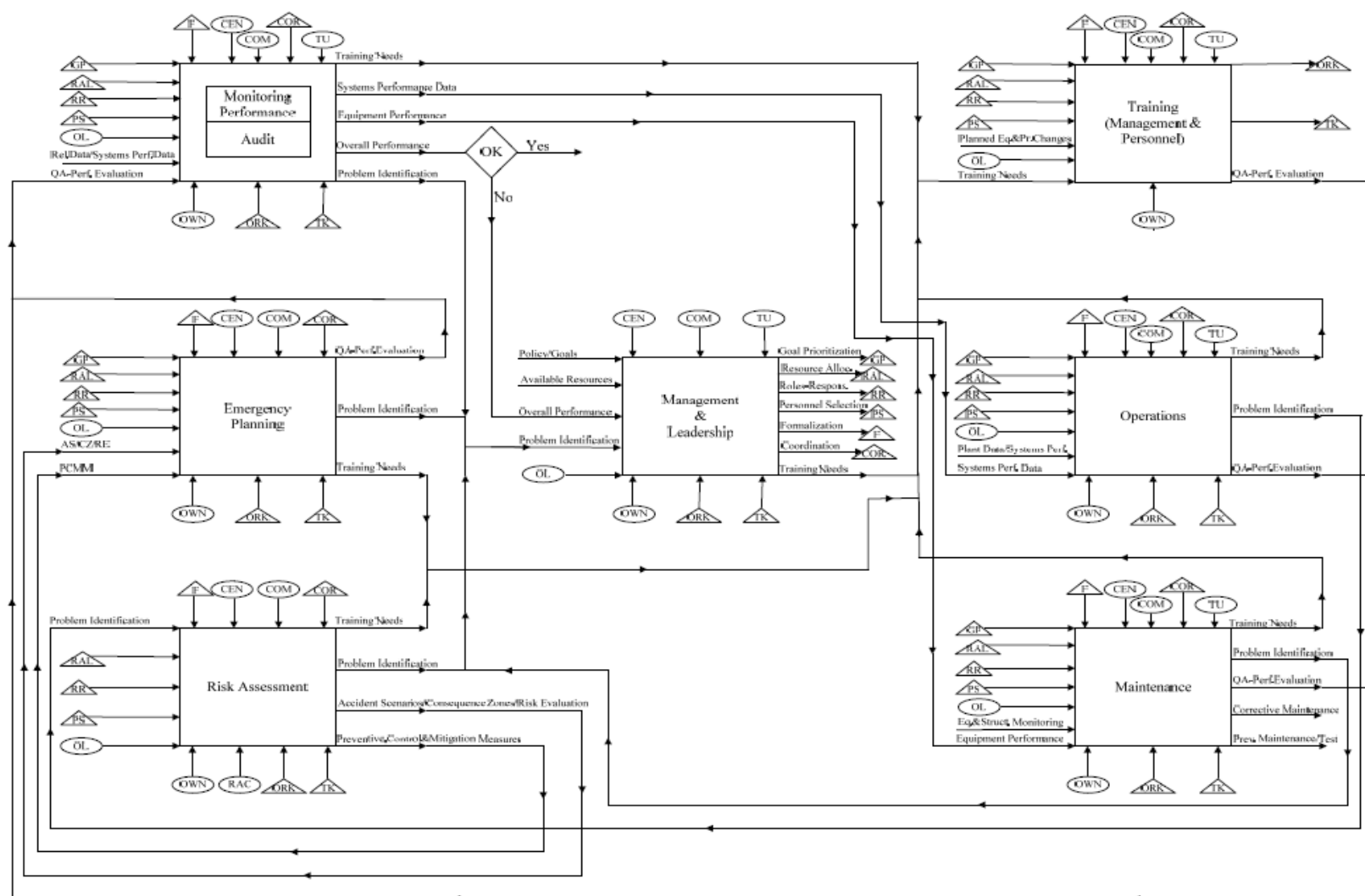
1.3 Δομή της εργασίας

Η ανάλυση της παρούσης διατριβής οργανώνεται σε έξι κεφάλαια ως εξής:

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στα χημικά χαρακτηριστικά και τις χημικές ιδιότητες του χλωρίου. Επίσης, περιγράφονται οι προδιαγραφές των βυτιοφόρων, οι διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης χλωρίου καθώς και τα μέτρα αντιμετώπισης διαρροών χλωρίου.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία φόρτωσης χλωρίου, η οποία μοντελοποιήθηκε εν συνεχεία σε δίκτυα Petri, και παρουσιάζεται η ιεραρχική της ανάλυση. Επιπλέον, περιλαμβάνεται η ανάπτυξη του δέντρου αστοχιών που εξετάζει πιθανά σφάλματα που συμβαίνουν κατά τις διαδικασίες της φόρτωσης και της εκφόρτωσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μοντελοποίηση της διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου σε δίκτυα Petri. Περιέχεται εικονογραφημένο υλικό καθώς και εκτενής περιγραφή όλων των επιπέδων της μοντελοποίησης.



Σχήμα 1.1: Μοντέλο διαγράμματος ροής ενεργειών

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα αποτελέσματα και τις μετρήσεις που προκύπτουν από την προσομοίωση των δικτύων. Από ένα πλήθος πειραμάτων που έλαβαν χώρα, παρουσιάζονται τα πιο αντιπροσωπευτικά παρέχοντας μία γενική και σαφή εικόνα στον αναγνώστη.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία αυτή και προτείνονται μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις, οι οποίες θα συμβάλλουν στη βελτίωση και επέκταση του μοντέλου προσομοίωσης της διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου, αλλά και στην περαιτέρω διερεύνηση παραγόντων για την απόδοση ασφαλείας.

Κεφάλαιο 2

2.Χαρακτηριστικά χλωρίου και προδιαγραφές διαδικασιών τροφοδοσίας

2.1 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες χλωρίου

2.1.1 Γενικά

Το χλώριο είναι το χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 17 και συμβολίζεται με το Cl. Ανήκει στην οικογένεια των αλογόνων και το συναντάμε στην 7^η ομάδα του περιοδικού πίνακα (Σχήμα 2.1). Το ιόν χλωρίου, το οποίο αποτελεί στοιχείο του κοινού αλατιού (NaCl) και άλλων ενώσεων, βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και αποτελεί απαραίτητο συστατικό για τα περισσότερα είδη ζώης, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπινου. Κάτω από κανονικές συνθήκες βρίσκεται σε αέρια κατάσταση έχοντας ανοιχτό πράσινο χρώμα και χαρακτηριστική οσμή.

Στη βιομηχανία και στην καθημερινή μας ζωή το χλώριο αποτελεί σημαντικό προϊόν. Εξαιτίας της ισχυρής οξειδωτικής του δράσης, το χλώριο χρησιμοποιείται ευρέως ως απολυμαντικό σε πισίνες και στα συστήματα ύδρευσης των πόλεων και ως λευκαντικό για τον καθαρισμό υφασμάτων.

Ωστόσο, παρά τη σημασία και τις εφαρμογές του, το χλώριο είναι επιβλαβές για την υγεία. Σε μεγάλες ποσότητες έχει αποπνικτική και δηλητηριώδη δράση για τους περισσότερους ζωντανούς οργανισμούς. Για το λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί διατάξεις και κανονισμοί για τις διαδικασίες τροφοδοσίας, μεταφοράς και αποθήκευσης χλωρίου, ώστε να εκμηδενιστούν πιθανά θανατηφόρα ατυχήματα.

2.1.2 Χημικές ιδιότητες και συμπεριφορά του χλωρίου

Το χλώριο, ως αλογόνο, είναι δραστικό στοιχείο και έχει έντονη τάση να ενώνεται χημικά με πολλές ουσίες. Αντιδρά σχεδόν με όλα τα στοιχεία και πολλές ανόργανες και οργανικές ενώσεις. Υπό υψηλή θερμοκρασία, το χλώριο αντιδρά με τα μέταλλα δίνοντας χλωριούχα άλατα, συνήθως ευδιάλυτα στο νερό. Συνιστάται επομένως η θερμοκρασία να είναι μικρότερη από 100 °C όταν το χλώριο βρίσκεται σε επαφή με μέταλλα. Από τα ανόργανα στοιχεία γενικά, τα μόνα που δεν αντιδρούν απευθείας με το χλώριο είναι το άζωτο και το οξυγόνο.

1 H Hydrogen 1.00794																		2 He Helium 4.003																															
3 Li Lithium 6.941		4 Be Beryllium 9.012182																		5 B Boron 10.811		6 C Carbon 12.0107		7 N Nitrogen 14.00674		8 O Oxygen 15.9994		9 F Fluorine 18.9984032		10 Ne Neon 20.1797																			
11 Na Sodium 22.989770		12 Mg Magnesium 24.3050																		13 Al Aluminum 26.981538		14 Si Silicon 28.0855		15 P Phosphorus 30.973761		16 S Sulfur 32.066		17 Cl Chlorine 35.4527		18 Ar Argon 39.948																			
19 K Potassium 39.0983		20 Ca Calcium 40.078		21 Sc Scandium 44.955910		22 Ti Titanium 47.867		23 V Vanadium 50.9415		24 Cr Chromium 51.9961		25 Mn Manganese 54.938049		26 Fe Iron 55.845		27 Co Cobalt 58.933200		28 Ni Nickel 58.6934		29 Cu Copper 63.546		30 Zn Zinc 65.39		31 Ga Gallium 69.723		32 Ge Germanium 72.61		33 As Arsenic 74.92160		34 Se Selenium 78.96		35 Br Bromine 79.904		36 Kr Krypton 83.80															
37 Rb Rubidium 85.4678		38 Sr Strontium 87.62		39 Y Yttrium 88.90585		40 Zr Zirconium 91.224		41 Nb Niobium 92.90638		42 Mo Molybdenum 95.94		43 Tc Technetium (98)		44 Ru Ruthenium 101.07		45 Rh Rhodium 102.90550		46 Pd Palladium 106.42		47 Ag Silver 107.8682		48 Cd Cadmium 112.411		49 In Indium 114.818		50 Sn Tin 118.710		51 Sb Antimony 121.760		52 Te Tellurium 127.60		53 I Iodine 126.90447		54 Xe Xenon 131.29															
55 Cs Cesium 132.90545		56 Ba Barium 137.327		57 La Lanthanum 138.9055		72 Hf Hafnium 178.49		73 Ta Tantalum 180.9479		74 W Tungsten 183.84		75 Re Rhenium 186.207		76 Os Osmium 190.23		77 Ir Iridium 192.217		78 Pt Platinum 195.078		79 Au Gold 196.96655		80 Hg Mercury 200.59		81 Tl Thallium 204.3833		82 Pb Lead 207.2		83 Bi Bismuth 208.98038		84 Po Polonium (209)		85 At Astatine (210)		86 Rn Radon (222)															
87 Fr Francium (223)		88 Ra Radium (226)		89 Ac Actinium (227)		104 Rf Rutherfordium (261)		105 Db Dubnium (262)		106 Sg Seaborgium (263)		107 Bh Bohrium (262)		108 Hs Hassium (265)		109 Mt Meitnerium (266)		110 (269)		111 (272)		112 (277)																											
																						58 Ce Cerium 140.116		59 Pr Praseodymium 140.90765		60 Nd Neodymium 144.24		61 Pm Promethium (145)		62 Sm Samarium 150.36		63 Eu Europium 151.964		64 Gd Gadolinium 157.25		65 Tb Terbium 158.92534		66 Dy Dysprosium 162.50		67 Ho Holmium 164.93032		68 Er Erbium 167.26		69 Tm Thulium 168.93421		70 Yb Ytterbium 173.04		71 Lu Lutetium 174.967	
																						90 Th Thorium 232.0381		91 Pa Protactinium 231.03588		92 U Uranium 238.0289		93 Np Neptunium (237)		94 Pu Plutonium (244)		95 Am Americium (243)		96 Cm Curium (247)		97 Bk Berkelium (247)		98 Cf Californium (251)		99 Es Einsteinium (252)		100 Fm Fermium (257)		101 Md Mendelevium (258)		102 No Nobelium (259)		103 Lr Lawrencium (262)	

Σχήμα 2.1: Περιοδικός Πίνακας

Όσον αφορά τη χημική συμπεριφορά του χλωρίου πιο ειδικά, θα πρέπει να αναφέρουμε συγκεκριμένες ιδιότητες του χλωρίου που σχετίζονται άμεσα με τις διαδικασίες τροφοδοσίας, μεταφοράς και αποθήκευσης.

- Εξουδετέρωση :

Το χλώριο εξουδετερώνεται με καυστική σόδα (NaOH), ανθρακική σόδα (Na₂CO₃) ή υδράσβεστο (Ca(OH)₂) σχηματίζοντας υποχλωριώδη άλατα. Η ιδιότητα αυτή του χλωρίου χρησιμεύει για τη δέσμευσή του είτε για να μην εκλύεται στην ατμόσφαιρα, είτε για τον περιορισμό της έκλυσής του. Η εξουδετέρωση είναι εξώθερμη με αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας του διαλύματος απορρόφησης, το οποίο θα πρέπει να ψύχεται.

- Αντίδραση με αμμωνία :

Το χλώριο αντιδρά με την αμμωνία ή αμμωνιακές ενώσεις και δίνει χλωριούχο αμμώνιο υπό μορφή λευκού καπνού. Η αντίδραση αυτή με NH₃ χρησιμοποιείται για την ανίχνευση διαφυγής χλωρίου. Επίσης, αναλόγως των συνθηκών, παρουσία περίσσειας ισχυρού οξέος, μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό χλωραμινών μεταξύ των οποίων είναι το τριχλωριούχο άζωτο (σχηματίζεται σε pH<3). Το τριχλωριούχο άζωτο είναι ένα κίτρινο ελαιώδες υγρό, αποτελεί ασταθή ένωση και διασπάται βίαια κάτω από ορισμένες συνθήκες.

- Εκρηκτικότητα :

Το χλώριο δεν είναι εκρηκτικό. Αντιδρά όμως βίαια με τον αιθέρα, την αμμωνία, τους υδρογονάνθρακες, τα λιπαντικά, ρινίσματα μετάλλων και άλλες εύφλεκτες ουσίες. Μείγμα χλωρίου με υδρογόνο είναι εκρηκτικό, όταν η περιεκτικότητα του υδρογόνου είναι 4-95% κατ' όγκον. Το εκρηκτικό μείγμα ενεργοποιείται από πολλούς παράγοντες, όπως σπινθήρα, υψηλή θερμοκρασία, ηλιακό φως ή άλλες πηγές υπεριώδους ακτινοβολίας.

- Ευφλεκτότητα :

Το χλώριο δεν αναφλέγεται, βοηθάει όμως στην καύση όπως το οξυγόνο. Πολλά μέταλλα αναφλέγονται παρουσία χλωρίου, όπως για παράδειγμα ο ανθρακοχάλυβας σε θερμοκρασία 250°C περίπου.

- Διαβρωτικότητα :

Το ξηρό χλώριο δεν έχει διαβρωτικές ικανότητες. Το χλώριο με υγρασία (πάνω από 150 ppm) σχηματίζει υδροχλωρικό και υποχλωριώδες οξύ, που είναι ισχυρά διαβρωτικά για τα περισσότερα μέταλλα μεταξύ των οποίων και ο χάλυβας. Εξαιρέσεις αποτελούν το τιτάνιο, το ταντάλιο, ο άργυρος και η πλατίνα. Για το λόγο αυτό αποφεύγεται η ρίψη νερού στο διαρρέοντα εξοπλισμό, επειδή οι διαβρωτικές συνθήκες που δημιουργούνται τον φθείρουν και η διαρροή μεγαλώνει. Τα πλαστικά υλικά δεν προσβάλλονται από χλώριο με υγρασία.

- Σταθερότητα :

Το χλώριο δεν διασπάται ούτε πολυμερίζεται.

- Αγωγιμότητα :

Το χλώριο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού.

Τέλος, στον πίνακα 2.1 παρατίθενται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του χλωρίου.

Χημικό Σύμβολο	Χημική Οικογένεια	Ατομικός Αριθμός	Κατάσταση η (Κ.Σ)	Σημείο Βρασμού	Σημείο Τήξης	Πυκνότητα
Cl ₂	Αλογόνα	17	Αέριο	-34°C	-101°C	1,467 gr/cm ³

Πίνακας 2.1: Χημική ταυτότητα χλωρίου



2.2 Προδιαγραφές Εξοπλισμού Βυτιοφόρων

2.2.1 Γενικά

Όλα τα βυτιοφόρα χλωρίου πρέπει να είναι εξοπλισμένα και συναρμολογημένα έτσι ώστε να ικανοποιούν τις προδιαγραφές που θέτουν οι αρμόδιες αρχές και οι οργανισμοί για τη μεταφορά χλωρίου σε κάθε χώρα. Ο εξοπλισμός των βυτιοφόρων για την τροφοδοσία του χλωρίου περιλαμβάνει βαλβίδες, φλάντζες και βίδες, τα οποία θα πρέπει να συντηρούνται σύμφωνα με τα εγχειρίδια του κατασκευαστή.

2.2.2 Γωνιακές βαλβίδες (Angle Valves)

Τα περισσότερα βυτιοφόρα χλωρίου είναι εξοπλισμένα με τέσσερις χειροκίνητες γωνιακές βαλβίδες, μεγέθους μίας ίντσας. Οι δύο βαλβίδες στη διαμήκη κεντρική γραμμή της δεξαμενής του βυτιοφόρου είναι για μεταφορά υγρών. Οι δύο βαλβίδες στην εγκάρσια κεντρική γραμμή είναι για τους ατμούς. Κάθε βαλβίδα υγρού είναι εφοδιασμένη με ένα αγωγό εξαγωγής, μεγέθους 1,25 ίντσες, που επεκτείνεται στο κάτω μέρος της δεξαμενής για την εκφόρτωση του περιεχομένου.

2.2.3 Βαλβίδες υπερχείλισης (Excess Flow Valves)

Κάθε αγωγός εξαγωγής είναι εξοπλισμένος με μία βαλβίδα υπερχείλισης. Η βαλβίδα υπερχείλισης διαθέτει ένα πλωτό μπαλάκι(φλοτέρ) ή ένα πώμα, το οποίο εμποδίζει τη ροή όταν ο ρυθμός της ροής ή η διαφορά πίεσης υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή. Ο ρόλος των βαλβίδων αυτών είναι να κλείνουν αυτόματα

εμποδίζοντας ροή χλωρίου προς τα έξω, εάν η γωνιακή βαλβίδα έχει υποστεί βλάβη. Για να ενεργοποιηθούν οι βαλβίδες υπερχειλίσσης θα πρέπει να υπάρχει σημαντική διαφορά πίεσης που θα εξασφαλίζει μεγάλη ροή. Οι βαλβίδες υπερχειλίσσης μπορεί να μην ενεργοποιηθούν με μικρές διαρροές. Τα βυτιοφόρα μπορούν να είναι εφοδιασμένα με βαλβίδες υπερχειλίσσης που έχουν μέγιστο ρυθμό ροής λειτουργίας 7000, 15.000 ή 32.000 λίβρες υγρού χλωρίου ανά ώρα.

2.2.4 Συσκευές Ανακούφισης Πίεσης (Pressure Relief Device)

Τα βυτιοφόρα χλωρίου είναι εξοπλισμένα με μια συσκευή ανακούφισης της πίεσης. Η συσκευή ανακούφισης σε ένα βυτιοφόρο χλωρίου είναι ένας συνδυασμός που αποτελείται από ένα μηχανισμό ακίδας ή δίσκου διάρρηξης με μια ανακουφιστική βαλβίδα.

2.3 Διαδικασίες πριν τη φόρτωση ή την εκφόρτωση χλωρίου

2.3.1 Στάθμευση σε συγκεκριμένη περιοχή

Τα βυτιοφόρα χλωρίου πρέπει να φορτώνονται ή να εκφορτώνονται σε συγκεκριμένη περιοχή. Μια κατάλληλη πλατφόρμα θα πρέπει να εξασφαλίζει την ασφάλη και εύκολη πρόσβαση των οχημάτων. Ειδική προσοχή πρέπει να δίνεται στον φωτισμό της περιοχής. Ακόμη και αν δεν πραγματοποιούνται νυχτερινές επιχειρήσεις, θα πρέπει να έχει εγκατασταθεί κατάλληλος φωτισμός για να διευκολύνει την αντιμετώπιση πιθανών καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Επίσης, θα πρέπει να είναι διαθέσιμος φωτισμός έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση διακοπής της παροχής ενέργειας.

2.3.2 Ασφάλεια και προστασία οχήματος

Ρύθμιση φρένων

Όταν το βυτιοφόρο τοποθετηθεί στην επιθυμητή θέση και πριν αρχίσουν να γίνονται οι συνδέσεις, θα πρέπει να ασφαλιστεί το όχημα θέτοντας το χειρόφρενο και σταθεροποιώντας τις ρόδες. Τα τακάκια των φρένων θα πρέπει να εφαρμόζουν στις ρόδες. Θα πρέπει να γίνεται έλεγχος για να επαληθεύεται ότι τα φρένα είναι σωστά τοποθετημένα και λειτουργούν.

Ασφάλιση περιοχής

Κατά τη διάρκεια της φόρτωσης ή της εκφόρτωσης ενός βυτιοφόρου θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για να αποτραπεί κάποια μετακίνηση ή κρούση με άλλο όχημα. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση αποτρεπτικών σημαδιών και πινακίδων (stop) σε απόσταση από το όχημα. Επίσης, κάθε βυτιοφόρο θα πρέπει να φέρει προειδοποιητικά σήματα και φώτα που θα ενημερώνουν τα άτομα που πλησιάζουν. Οι πινακίδες και ο φωτισμός του οχήματος παραμένουν καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας, έως ότου γίνει η αποσύνδεση όλου του εξοπλισμού και ασφαλιστούν όλες οι βαλβίδες.

2.3.3 Επιθεώρηση και προετοιμασία οχημάτων πριν από τη φόρτωση

Γενικά

Πριν από τη φόρτωση του βυτιοφόρου, πρέπει να πραγματοποιηθεί μία πλειάδα ενεργειών ώστε να εξασφαλιστεί ότι το όχημα καλύπτει όλους τους κανονισμούς και είναι έτοιμο να γεμίσει με χλώριο. Η διαδικασία αυτή της προετοιμασίας περιλαμβάνει αρχικά την επιθεώρηση του οχήματος και μπορεί να συμπληρώνεται από ενέργειες συντήρησης και κάποιες επισκευές.

Συνιστάται να χρησιμοποιείται μία λίστα ελέγχου (checklist) στην επιθεώρηση, όπως και σε όλες τις φάσεις της φόρτωσης χλωρίου. Οι λίστες ελέγχου τεκμηριώνουν ότι έχουν ολοκληρωθεί οι κατάλληλες διαδικασίες φόρτωσης και ασφάλισης και έχουν πραγματοποιηθεί οι κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες εφόσον κρίθηκε απαραίτητο.

Επιθεώρηση Βυτιοφόρου

Ο σκοπός της επιθεώρησης του βυτιοφόρου είναι να προσδιοριστούν όλες οι ατέλειες του οχήματος ή αντικείμενα που παραβαίνουν τους κανονισμούς που σχετίζονται με την προετοιμασία πριν τη φόρτωση του χλωρίου. Η επιθεώρηση των οχημάτων πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον:

- Επιθεώρηση της δεξαμενής, των εξαρτημάτων και των βελτιώσεων και προσαρμογών ασφαλείας για πιθανές ατέλειες ή ζημιές.
- Έλεγχο για να καθοριστεί αν υπάρχει υγρό χλώριο στο βυτίο. Εάν υπάρχει, πρέπει να ακολουθηθούν οι διαδικασίες που ορίζει η επιχείρηση για τέτοιες καταστάσεις.

- Έλεγχο των βαλβίδων και των συναρμολογήσεων.
- Έλεγχο για ύπαρξη κάρτας και εγγραφών ελαττωμάτων.
- Κάποια βυτιοφόρα μπορεί να είναι εξοπλισμένα με συσκευές GPS. Οι συσκευές αυτές θα πρέπει να ελεγχθούν για την ομαλή τους λειτουργία πριν τη φόρτωση.

Εσωτερική επιθεώρηση δεξαμενών

Εσωτερική εξέταση της δεξαμενής μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους, είτε με την εισαγωγή ανθρώπου σε αυτήν είτε χωρίς. Μία επιθεώρηση χωρίς την εισαγωγή ανθρώπου δεν αποτελεί λεπτομερή εξέταση αφού παρέχει περιορισμένη πληροφορία όσον αφορά την εσωτερική επιφάνεια του βυτίου. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται συνήθως για τον έλεγχο της γενικής κατάστασης του βυτίου. Τέτοιοι έλεγχοι λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια αλλαγών βαλβίδων, όπου περνάει πηγή φωτός μέσα από το κενό που δημιουργείται από την αφαιρούμενη βαλβίδα και πραγματοποιείται οπτική εξέταση. Με την είσοδο ανθρώπου στη δεξαμενή διενεργείται πιο αναλυτικός και λεπτομερής έλεγχος του βυτίου. Για να συμβεί τέτοιος έλεγχος θα πρέπει να έχει καθαριστεί η δεξαμενή ώστε μην υπάρχουν υπολείμματα χλωρίου.

2.4 Φόρτωση βυτιοφόρου

2.4.1 Γενικά

Κατά τη φόρτωση ενός βυτιοφόρου με χλώριο, τα θέματα ασφαλείας πρέπει να αποτελούν πρώτη προτεραιότητα για το προσωπικό. Ο εργαζόμενος που αναλαμβάνει τη φόρτωση του βυτιοφόρου πρέπει να ελέγξει κατά πόσο έχουν ολοκληρωθεί σωστά οι διαδικασίες παρκαρίσματος, σύνδεσης και ασφάλισης του βυτιοφόρου πριν ξεκινήσει με τις λειτουργίες γεμίσματος. Το προσωπικό θα πρέπει να φοράει κατάλληλο προστατευτικό εξοπλισμό κατά τη διάρκεια της φόρτωσης ενώ θα πρέπει να είναι διαθέσιμες οι εγκαταστάσεις πλυσίματος ματιών και τα ντους ασφαλείας.

2.4.2 Σημεία προσοχής κατά τη φόρτωση

Πριν αρχίσει η φόρτωση, γίνεται έλεγχος για πιθανές διαρροές χρησιμοποιώντας πίεση στις βαλβίδες και στον υπόλοιπο συναρμολογημένο εξοπλισμό. Εάν ανιχνευθούν διαρροές σε οποιαδήποτε στιγμή της διαδικασίας, η φόρτωση πρέπει να διακοπεί έως ότου γίνουν οι επισκευές.

Οι έλεγχοι διαρροών μπορούν να διεξαχθούν με την προσθήκη μικρής ποσότητας χλωρίου και εισαγωγή ξηρού αέρα ή αζώτου με ελάχιστη πίεση 50 psig. Οι ατμοί που εξέρχονται από ένα πεπιεσμένο μπουκάλι που περιέχει διάλυμα αμμωνίας συγκέντρωσης 10%-30% χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση διαρροών. Εφόσον υπάρχει διαρροή θα δημιουργηθεί ένα άσπρο σύννεφο καπνού. Για να αποφευχθεί η διάβρωση, το διάλυμα αμμωνίας δεν πρέπει να ψεκάζεται άμεσα επάνω στις συνδέσεις. Οποιαδήποτε προσπάθεια ανίχνευσης της πηγής μιας διαρροής θα πρέπει να πραγματοποιείται με πλήρη επίγνωση των πιθανών κινδύνων ενώ θα πρέπει να χρησιμοποιείται και κατάλληλος προστατευτικός εξοπλισμός.

Για να προετοιμαστεί το όχημα για φόρτωση θα πρέπει να βιδωθεί σφιχτά στη βαλβίδα εξόδου της δεξαμενής ένας σπειρωτός συνδετήρας σωλήνα, μήκους δεκαπέντε ιντσών. Οι βόλτες του σπειρώματος θα πρέπει να είναι μην είναι τραχείς, να είναι καθαρές και ντυμένες με κατάλληλο στεγανωτικό υλικό. Η ταινία τεφλόν (T-tape) μπορεί να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό στεγανωτικό υλικό για τις συνδέσεις των σωλήνων στις γωνιακές βαλβίδες (angle valves) των βυτιοφόρων. Εάν η ταινία δεν εφαρμοστεί με ακρίβεια σε αυτές τις συνδέσεις, τότε μπορεί να απορροφηθεί στα εσωτερικά εξαρτήματα των γωνιακών βαλβίδων σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί διαδικασία κενού - υποπίεσης στο βυτίο κατά την προετοιμασία του για τη φόρτωση. Η παρουσία ταινίας στο εσωτερικό των βαλβίδων εμποδίζει την ομαλή λειτουργία τους, με αποτέλεσμα να μην ασφαλίζουν σωστά όταν θα πρέπει να κλείσουν. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην εφαρμογή της ταινίας στη σύνδεση. Τέλος, μία εύκαμπτη μάνικα μεταφοράς θα πρέπει να συνδεθεί μεταξύ του συνδετήρα και των σωληνώσεων για να αντισταθμίσει το χαμήλωμα της δεξαμενής κατά τη διάρκεια της φόρτωσης.

2.4.3 Φόρτωση σε κλίμακα φορτηγών

Τα βυτιοφόρα συνιστάται να φορτώνονται πάνω σε κλίμακα - ζυγαριά φορτηγών. Το βάρος του βυτιοφόρου μαζί με όλα τα υποστηρίγματα και τις συνδέσεις φόρτωσης θα πρέπει να καθοριστεί και να καταγραφεί. Το βάρος αυτό χρησιμοποιείται ως αρχικό βάρος κλίμακας για την πλήρωση. Εφόσον χρειαστεί να διακοπεί η λειτουργία φόρτωσης πριν το βυτιοφόρο γεμίσει πλήρως, θα πρέπει να καθοριστεί και να καταγραφεί το βάρος του εν μέρει φορτωμένου οχήματος, πριν αυτό αποσυνδεθεί, καθώς και να υπολογιστεί η ποσότητα του χλωρίου που φορτώθηκε στο βυτίο. Όταν το όχημα επανασυνδεθεί, το βάρος του συνδεδεμένου οχήματος και του φορτίου

χλωρίου επανεκτιμάται ώστε να εξασφαλιστεί ότι το συνολικό βάρος του φορτίου δεν θα υπερβεί το απαιτούμενο όριο.

2.4.4 Πίεση δεξαμενών

Οι συνθήκες της φόρτωσης και της εισαγωγής αέρα (padding) θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε όταν η θερμοκρασία του χλωρίου αυξηθεί, η πίεση του χλωρίου στη δεξαμενή να μείνει κάτω από το 80% περίπου της πίεσης ενεργοποίησης των συσκευών ανακούφισης. Η τελική πίεση της δεξαμενής όταν το όχημα θα είναι έτοιμο να αναχωρήσει δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές που καθορίζουν οι κανονισμοί. Σε περίπτωση που η πίεση της δεξαμενής είναι υπερβολική όταν έχει ολοκληρωθεί η φόρτωση, τότε η δεξαμενή θα πρέπει να εξαερωθεί σε κάποιο σύστημα αποκατάστασης μέχρι να επιτευχθεί η κατάλληλη πίεση. Τέλος, όταν ολοκληρωθεί ομαλά η φόρτωση θα πρέπει να καταγραφούν οι τελικές τιμές του βάρους και της πίεσης της δεξαμενής.

2.4.5 Διαρροές κατά τη φόρτωση

Διαρροές στις συνδέσεις και τις σωληνώσεις

Τα συστήματα σωληνώσεων χλωρίου πρέπει να εξετάζονται, να επιθεωρούνται και να συντηρούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Εφόσον παρουσιαστεί διαρροή χλωρίου στον εξοπλισμό ή στις σωληνώσεις κατά τη φόρτωση, τότε η μεταφορά χλωρίου πρέπει να σταματήσει αμέσως κλείνοντας την τροφοδοσία χλωρίου στο βυτίο, τις γωνιακές βαλβίδες του βυτίου και τις γραμμές ανακούφισης της πίεσης. Στη συνέχεια μπορούν να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες διορθώσεις. Όταν η διαρροή εντοπιστεί και ο ελαττωματικός εξοπλισμός επισκευαστεί, τότε μπορεί να γίνει επαναφορά στη διαδικασία φόρτωσης.

Διαρροές εξαρτημάτων βυτιοφόρου

Διαρροές γύρω από το σωλήνα γωνιακών βαλβίδων συνήθως μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη σύσφιξη των βιδών (παξιμάδια) της βαλβίδας. Εάν μετά τη σύσφιξη των βιδών δεν σταματήσει η διαρροή, τότε πρέπει να κλείσει η γωνιακή βαλβίδα. Στην περίπτωση που τα διορθωτικά μέτρα δεν φέρουν αποτέλεσμα, μόνο τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι συσκευές κάλυψης των εξαρτημάτων έκτακτης ανάγκης. Εάν η συσκευή ανακούφισης πίεσης πρέπει να καλυφθεί, τότε θα πρέπει να εγκατασταθεί κανονικός έλεγχος της εσωτερικής πίεσης του βυτιοφόρου.

2.4.6 Αποσύνδεση

Μόλις γεμίσει το βυτιοφόρο με την επιθυμητή ποσότητα χλωρίου, πρέπει να κλείσουν αρχικά οι βαλβίδες παροχής υγρού χλωρίου, στη συνέχεια οι γωνιακές βαλβίδες του βυτίου ενώ θα πρέπει να εκκενωθεί και η γραμμή φόρτωσης πριν κλείσουν οι υπόλοιπες βαλβίδες του συστήματος. Η γραμμή φόρτωσης πρέπει στη συνέχεια να εξαερωθεί, να εκκενωθεί και να αποσυνδεθεί. Αυτό πρέπει να γίνει με επιμέλεια ώστε να εξασφαλιστεί ότι η γραμμή έχει καθαριστεί και δεν θα απελευθερωθεί χλώριο με την αποσύνδεση. Επιπλέον, κατά την αποσύνδεση των γραμμών που περιείχαν χλώριο θα πρέπει να χρησιμοποιείται κατάλληλος προστατευτικός εξοπλισμός. Το υγρό χλώριο δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να παγιδευτεί σε γραμμή μεταξύ των βαλβίδων, δεδομένου ότι εξαιρετικά υψηλή πίεση μπορεί να αναπτυχθεί από αύξηση στη θερμοκρασία του χλωρίου. Αυτή η πίεση μπορεί να οδηγήσει στην υδροστατική ρήξη της γραμμής.

Επίσης, θα πρέπει να χρησιμοποιείται επαρκής προστασία για ανάστροφη ροή (back flow) που θα εμποδίζει τη μόλυνση του συστήματος εισαγωγής αέρα (padding system) από χλώριο. Οι άκρες των γραμμών φόρτωσης πρέπει να καλυφθούν ώστε να αποτραπεί η είσοδος υγρασίας.

2.4.7 Αποθήκευση χλωρίου στα βυτιοφόρα

Τα πλήρως φορτωμένα βυτιοφόρα, τα οποία έχουν λάβει τις κατάλληλες προετοιμασίες και είναι έτοιμα για μεταφορά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακίνδυνα για την αποθήκευση χλωρίου για όσο χρονικό διάστημα δεν υπερβαίνει την επόμενη προγραμματισμένη συντήρηση των βαλβίδων (valve service).



2.5 Εκφόρτωση βυτιοφόρου

2.5.1 Γενικά

Τα βυτιοφόρα χλωρίου εκφορτώνονται με αύξηση της πίεσης του αέρα στο χώρο πάνω από το υγρό, σε βαθμό τέτοιο ώστε να αναγκαστεί το υγρό να βγει από τις γωνιακές βαλβίδες και να μεταφερθεί μέσω των σωλήνων εξαγωγής. Αν η πίεση στο βυτιοφόρο δεν είναι επαρκής για να ξεφορτώσει το όχημα κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης, η δεξαμενή μπορεί να γεμίσει με αέρα (padding).

Όπως στη φόρτωση, έτσι και στην εκφόρτωση ενός βυτίου χλωρίου τα θέματα ασφαλείας πρέπει να αποτελούν πρώτη προτεραιότητα για το προσωπικό. Ο εργαζόμενος που αναλαμβάνει τη φόρτωση του βυτιοφόρου πρέπει να ελέγξει κατά πόσο έχουν ολοκληρωθεί σωστά οι διαδικασίες παρκαρίσματος, σύνδεσης και ασφάλισης του βυτιοφόρου πριν ξεκινήσει με τις λειτουργίες μεταφοράς χλωρίου. Το προσωπικό θα πρέπει να φοράει κατάλληλο προστατευτικό εξοπλισμό κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης ενώ θα πρέπει να είναι διαθέσιμες οι εγκαταστάσεις πλυσίματος ματιών και τα ντους ασφαλείας.

2.5.2 Λίστα ελέγχου επιθεώρησης βυτιοφόρου

Μία λίστα ελέγχου πιστοποιεί ότι έχουν ολοκληρωθεί οι κατάλληλες διαδικασίες εκφόρτωσης και ασφάλισης του οχήματος και επομένως θα πρέπει να χρησιμοποιείται μία τέτοια λίστα για την επιθεώρηση των οχημάτων καθώς και για όλη τη διαδικασία εκφόρτωσης. Μία λίστα ελέγχου για τις διαδικασίες που

ακολουθούν το παρκάρισμα και την ασφάλιση ενός βυτιοφόρου θα πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον τα ακόλουθα:

- Έλεγχο του περιεχομένου του βυτιοφόρου για να διαπιστωθεί εάν είναι χλώριο ή όχι.
- Έλεγχο των εξαρτημάτων του εξοπλισμού τροφοδοσίας του βυτιοφόρου για πιθανές ενδείξεις διαρροών.
- Σε περίπτωση που η εκφόρτωση του χλωρίου γίνεται σε κάποια δεξαμενή αποθήκευσης, τότε θα πρέπει να διαπιστωθεί κατά πόσον ο διαθέσιμος χώρος της δεξαμενής είναι ικανοποιητικός για την παραλαβή της ποσότητας του χλωρίου που πρόκειται να μεταφερθεί.
- Έλεγχο της γωνιακής βαλβίδας, πριν αφαιρεθεί το πώμα της, για να διαπιστωθεί ότι αυτή είναι πλήρως κλειστή.

2.5.3 Συνδεσμολογία

Οι γωνιακές βαλβίδες των βυτιοφόρων είναι εξοπλισμένες με ένα πώμα μίας ίντσας που εξασφαλίζει το κλείσιμο της βαλβίδας. Το πώμα αυτό θα πρέπει να είναι αυστηρά στην θέση του όταν το όχημα φθάσει στις εγκαταστάσεις και τοποθετηθεί για εκφόρτωση. Προτού γίνει οποιαδήποτε σύνδεση στο βυτιοφόρο, όλες οι σωληνώσεις θα πρέπει να είναι στεγνές και καθαρές.

Για να προετοιμαστεί το όχημα για εκφόρτωση θα πρέπει να βιδωθεί σφιχτά στη βαλβίδα εξόδου της δεξαμενής ένας σπειρωτός συνδετήρας σωλήνα, μήκους δεκαπέντε ιντσών. Οι βόλτες του σπειρώματος θα πρέπει να είναι μην είναι τραχείς, να είναι καθαρές και ντυμένες με κατάλληλο στεγανωτικό υλικό.

Αφού γίνουν όλες οι συνδέσεις συνιστάται να χορηγηθεί ένα μικρό ποσό χλωρίου στο σύστημα. Στη συνέχεια θα πρέπει να ελεγχθούν για διαρροή με τη χρήση διαλύματος αμμωνίας όλες οι συνδέσεις, η βαλβίδα και η φλάντζα. Εάν βρεθεί διαρροή, θα πρέπει να διορθωθεί πριν εισαχθεί περισσότερο χλώριο στη γραμμή.

Μετά το πέρας των ελέγχων πρέπει να ανοιχθεί η γωνιακή βαλβίδα για την παροχή του χλωρίου. Το άνοιγμα της βαλβίδας θα πρέπει να γίνει αργά έως ότου ανοιχτεί πλήρως, διότι εάν ανοίξει γρήγορα υπάρχει κίνδυνος να κλείσει η βαλβίδα υπερχειλίσσης (excess flow valve) και να σταματήσει η ροή.

2.5.4 Πίεση στη γραμμή

Μεταξύ του βυτιοφόρου και του συστήματος που λαμβάνει το χλώριο θα πρέπει να διατηρείται διαφορική πίεση. Καθώς ανοίγεται αργά η γωνιακή βαλβίδα θα πρέπει να παρατηρείται το μανόμετρο (πιεσόμετρο) που είναι τοποθετημένο στην αρχή της σταθερής σωλήνωσης. Αύξηση της πίεσης δείχνει ότι υπάρχει ροή. Σε αυτό το σημείο η βαλβίδα της γραμμής θα πρέπει να είναι κλειστή. Μόλις το μανόμετρο δείξει σταθερή πίεση, τότε θα πρέπει να ανοιχτεί πλήρως η γωνιακή βαλβίδα. Εν συνεχεία θα πρέπει να ανοιχτεί αργά η βαλβίδα της γραμμής μέχρι να γεμίσει υγρό χλώριο η γραμμή. Η βαλβίδα της γραμμής θα πρέπει να ανοιχτεί τόσο ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ροή, λαμβάνοντας υπόψιν ταυτόχρονα την τιμή ανοχής της βαλβίδας υπερχειλίσης.

2.5.5 Κλείσιμο βαλβίδας excess flow

Εκτός από μερικές εξαιρέσεις, τα περισσότερα οχήματα είναι εξοπλισμένα με βαλβίδες υπερχειλίσης κάτω από τις γωνιακές βαλβίδες. Υπάρχουν φορές που εξαιτίας του γρήγορου ανοίγματος της γωνιακής βαλβίδας ή εξαιτίας της ασυνήθιστα μεγάλης ροής, η βαλβίδα υπερχειλίσης κλείνει. Αν συμβεί κάτι τέτοιο, θα πρέπει να κλείσει η γωνιακή βαλβίδα του οχήματος και να παραμείνει κλειστή έως ότου η μεταλλική σφαίρα (φλοτέρ) επανέλθει στην θέση της. Με την πτώση του φλοτέρ ακούγεται ένας αξιοπρόσεχτος ήχος. Εάν η σφαίρα δεν πέσει, τότε μπορεί να γίνει η σύνδεση στην άλλη βαλβίδα του οχήματος.

2.5.6 Επίβλεψη της εκφόρτωσης

Οι κανονισμοί προβλέπουν ότι το όχημα θα πρέπει να παρακολουθείται από το προσωπικό κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης και για όσο διάστημα παραμένει συνδεδεμένο. Εάν κριθεί απαραίτητο για οποιοδήποτε λόγο να διακοπεί η διαδικασία της εκφόρτωσης, όλες οι βαλβίδες θα πρέπει να κλείσουν, ο εξοπλισμός να αποσυνδεθεί και τα πώματα να τοποθετηθούν στις βαλβίδες του οχήματος.

2.5.7 Διαρροές κατά την εκφόρτωση και αποσύνδεση

Σε περίπτωση διαρροών κατά την εκφόρτωση ακολουθείται η ίδια διαδικασία με την αντιμετώπιση διαρροών κατά τη φόρτωση (παρ 2.4.5) Το ίδιο συμβαίνει και κατά την αποσύνδεση μετά την εκφόρτωση, όπου η διαδικασία είναι παραπλήσια με την αποσύνδεση της φόρτωσης (παρ 2.4.6).

2.6 Αντιμετώπιση διαρροής χλωρίου

Σε περίπτωση διαρροής χλωρίου θα πρέπει να υπάρξει άμεση επέμβαση, διότι με το πέρασ του χρόνου η διαρροή εξαπλώνεται και η κατάσταση επιδεινώνεται. Για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων δίνεται μία λίστα ενεργειών που θα πρέπει να ακολουθηθεί, σύμφωνα με τα μέτρα και τους κανονισμούς ασφαλείας.

1. Απομάκρυνση παρευρισκομένων ατόμων καθώς και κάθε μη αναγκαίου αντικειμένου από την περιοχή της διαρροής.
2. Προσέγγιση του σημείου διαρροής από δύο άτομα, εξοπλισμένα με αναπνευστική μάσκα, λαστιχένια γάντια ανθεκτικά στο χλώριο, κράνος και ρούχα ανθεκτικά στο χλώριο, τα οποία να καλύπτουν όλο το σώμα. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο χρόνο διάρκειας της φιάλης του αέρα.
3. Εντοπισμός της πηγής της διαρροής με διάλυμα αμμωνίας στο νερό. Πλησιάζοντας στη διαρροή ύφασμα, ποτισμένο σε διάλυμα αμμωνίας, παράγεται λευκός καπνός.
4. Σε ανοιχτό χώρο, η κίνηση προς το σημείο της διαρροής και η παραμονή σε αυτό γίνονται ακολουθώντας την κατεύθυνση του ανέμου και όχι αντίθετα σε αυτή.
5. Αποφυγή ρίψης νερού στη διαρροή και γενικά πάνω στο διαρρέοντα εξοπλισμό. Νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε μορφή ψεκασμού σχήματος ομπρέλας για τη διασπορά του νέφους των ατμών χλωρίου που προκαλεί η διαρροή, εφόσον αυτή είναι μεγάλη.
6. Αν η διαρροή δεν είναι από τον κύλινδρο αλλά από τον εξοπλισμό που συνδέεται με αυτόν, αρκεί το κλείσιμο της βάνας του κυλίνδρου.
7. Αν ο κύλινδρος βρίσκεται σε κλειστό χώρο και η διαρροή είναι μεγάλη και δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί εύκολα, τότε ο κύλινδρος πρέπει να μεταφερθεί σε ανοιχτό χώρο ή σε απομακρυσμένο σημείο.
8. Αν η διαρροή είναι στην υγρή φάση, περιστρέφουμε τον κύλινδρο έτσι ώστε το σημείο διαρροής να βρεθεί στην αέρια φάση του κυλίνδρου οπότε η διαρροή μειώνεται σε μεγάλο βαθμό (15 φορές).
9. Σε περίπτωση διαρροής υγρού χλωρίου:
 - Προσπαθούμε να περιορίσουμε την εξάπλωσή του είτε με άμμο ή χώμα είτε δημιουργώντας λακκούβα σκάβοντας

- Αν το χλώριο συσσωρεύεται σε λακκούβα, τη σκεπάζουμε με αφρό πρωτεϊνικής φύσεως ή φύλλο πολυαιθυλενίου για να περιορίσουμε την εξάτμισή του.
 - Εμποδίζουμε το χλώριο να εισέλθει σε υπονόμους.
 - Σε περίπτωση που κάποιο κανάλι μολυνθεί ενημερώνουμε άμεσα τις τοπικές αρχές.
 - Αν βραχούν τα ρούχα μας από χλώριο τότε τα βγάζουμε αμέσως ή τα βρέχουμε με άφθονο νερό.
10. Τα KITS (ειδικές συλλογές εργαλείων) σταματούν τη διαρροή προσωρινά. Στη συνέχεια ο κύλινδρος πρέπει να αδειάζει ελεγχόμενα.
11. Η κίνηση στην περιοχή που απομονώθηκε αποκαθίσταται όταν δεν μυρίζει χλώριο πλέον.
12. Σε περίπτωση πυρκαγιάς κοντά σε κυλίνδρους ή βυτίο:
- Ψύχουμε τους κυλίνδρους/ το βυτίο με νερό ή τα απομακρύνουμε. Η πίεσή τους ανεβαίνει αισθητά με τη θερμοκρασία και υπάρχει περίπτωση να διαρραγούν και να γίνει έκρηξη.
 - Δεν στεκόμαστε μπροστά από τα καλύμματα προστασίας ή το κυκλικό άκρο του βυτίου.

2.7 Επιπτώσεις του χλωρίου στους ζωντανούς οργανισμούς

Το χλώριο είναι ισχυρή τοξική ουσία για τους περισσότερους ζωντανούς οργανισμούς (άνθρωπος, ζώα, φυτά). Οι επιπτώσεις έκθεσής τους σε ατμόσφαιρα χλωρίου διαπιστώθηκε ότι ποικίλουν ανάλογα με τη συγκέντρωση του χλωρίου και το χρόνο έκθεσης. Πειράματα και πραγματικά γεγονότα απέδειξαν ότι το χλώριο προκαλεί στον άνθρωπο και τα ζώα από απλό ερεθισμό έως και θάνατο και στα φυτά από απώλεια του πράσινου χρώματος του φυλλώματος μέχρι νέκρωση.

Ειδικότερα, όσον αφορά τον ανθρώπινο οργανισμό, οι πιο συνηθισμένοι τρόποι προσβολής του από το χλώριο είναι τρεις.

i. Εισπνοή

Το εισπνεόμενο αέριο χλώριο προκαλεί ερεθισμό και βλάβες του αναπνευστικού συστήματος που μπορεί να είναι και θανατηφόρες.

Άμεσα συμπτώματα είναι ο ερεθισμός του αναπνευστικού συστήματος, βήχας και δυσκολία στην αναπνοή. Ακολουθούν πλήρης διέγερση και γενική δυσφορία, φτέρνισμα, ερεθισμός του λαιμού και της μύτης, αυξημένη

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΛΩΡΙΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ	
Συγκέντρωση (ppm)	Αποτέλεσμα
0,3-3,5	Γίνεται αντιληπτό με την οσμή
1	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση για έκθεση επί 8ωρο
4	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση που εισπνέεται για 1 ώρα χωρίς κίνδυνο
15	Ελάχιστη συγκέντρωση που προκαλεί ερεθισμό του λάρυγγα
30	Ελάχιστη συγκέντρωση που προκαλεί βήχα
40-60	Επικίνδυνη περιοχή συγκεντρώσεων έκθεσης μετά από 30 λεπτά
100	Ανυπόφορη συγκέντρωση μετά από 1 λεπτό
400	Θανατηφόρα συγκέντρωση για το 50% των υγιεινών οργανισμών μετά από 30 λεπτά
1000	Συνήθως προκαλεί θάνατο μετά από λίγες εισπνοές

Πίνακας 2.2: Επιπτώσεις χλωρίου στον ανθρώπινο οργανισμό

παραγωγή σάλιου, φαγούρα, εμετός και πνευμονία. Ο θάνατος μπορεί να προκληθεί από την ανεπανόρθωτη βλάβη των πνευμόνων. Οι παραπάνω επιπτώσεις κλιμακώνονται ανάλογα με τη συγκέντρωση και το χρόνο έκθεσης του ανθρώπου σύμφωνα με τον πίνακα 2.2.

ii. Επαφή με τα μάτια

Όταν το χλώριο, είτε σε υγρή είτε σε αέρια κατάσταση, έρθει σε επαφή με τα μάτια προκαλεί ερεθισμό, εγκαύματα μέχρι και μόνιμη βλάβη των ιστών του ματιού και τύφλωση.

iii. Επαφή με το δέρμα

Το υγρό χλώριο σε επαφή με το δέρμα προκαλεί ερεθισμό. Παρατεταμένη επαφή προκαλεί εγκαύματα.

Κεφάλαιο 3

3.Περιγραφή και ανάλυση διαδικασίας πλήρωσης βυτιοφόρου χλωρίου

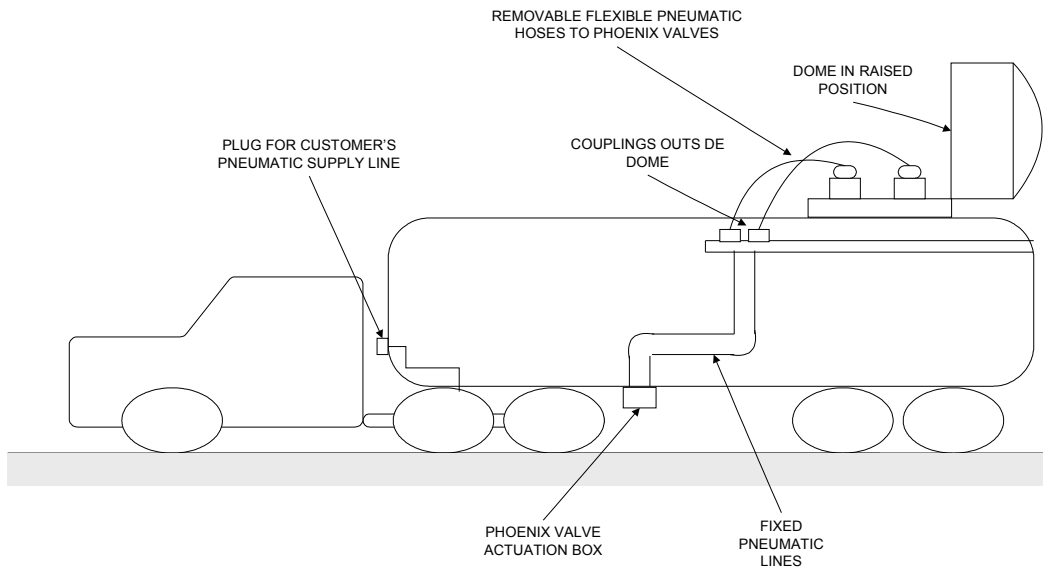
Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι οι διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης χλωρίου είναι πανομοιότυπες, έχουν τους ίδιους κινδύνους και τα ίδια μέτρα προστασίας και αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών. Εξετάζοντας μία εκ των δύο διαδικασιών καλύπτουμε και τις δύο περιπτώσεις. Για το λόγο αυτό θα αναλύσουμε τη διαδικασία της φόρτωσης στο παρόν κεφάλαιο.

3.1 Περιγραφή πλήρωσης βυτιοφόρου χλωρίου

Ένα βυτιοφόρο που είναι φορτωμένο χλώριο αποστέλλεται σε διάφορες χημικές τοποθεσίες γύρω από τη χώρα περίπου τέσσερις φορές ημερησίως. Κάθε βυτιοφόρο, βάρους είκοσι τόνων συνήθως, φθάνοντας στις εγκαταστάσεις σταθμεύει προσωρινά σε κάποιο ειδικό χώρο, γίνεται έλεγχος των εγγράφων του και εν συνεχεία οδηγείται στο χώρο φόρτωσης. Αφού ο οδηγός τοποθετήσει το βυτιοφόρο στον χώρο φόρτωσης, ενεργοποιεί το χειρόφρενο και σβήνει τη μηχανή. Εν συνεχεία παραδίδει την τεκμηρίωση μαζί με τα υπόλοιπα έγγραφα στο φορτωτή και παίρνει ένα αντίγραφο στο γραφείο διανομής.

Ο φορτωτής πραγματοποιεί πολλές εργασίες μόνος του και έχει το λιγότερο 3 χρόνια εργοστασιακή εμπειρία. Μετά από τρία χρόνια δουλειάς σε διάφορες θέσεις λειτουργίας και συντήρησης στο εργοστάσιο ο φορτωτής περνά τους πρώτους δύο μήνες στη φόρτωση χλωρίου με ένα πεπειραμένο εργάτη και του παρέχεται μια εβδομαδιαία εκπαίδευση στην ασφάλεια και τη λειτουργία των διαδικασιών φόρτωσης χλωρίου.

Επάνω στο βυτιοφόρο υπάρχει μία κατασκευή όπου ο εργάτης μπορεί να περπατήσει και στην οποία φυλάσσονται οι διάφορες μάνικες που χρησιμοποιούνται. Τα όργανα ελέγχου και οι βαλβίδες, χειροκίνητες ή αυτόματες, είναι σε ένα επίπεδο πιο ψηλά από την πλατφόρμα. Κατά συνέπεια όταν ο φορτωτής χρησιμοποιεί οποιαδήποτε από τα όργανα ελέγχου ή τις βαλβίδες μπορεί να βλέπει ταυτόχρονα τις συνεκτικές μάνικες, τις βαλβίδες και την κορυφή του φορτηγού.



Η διαδικασία φόρτωσης πραγματοποιείται σε πέντε στάδια:

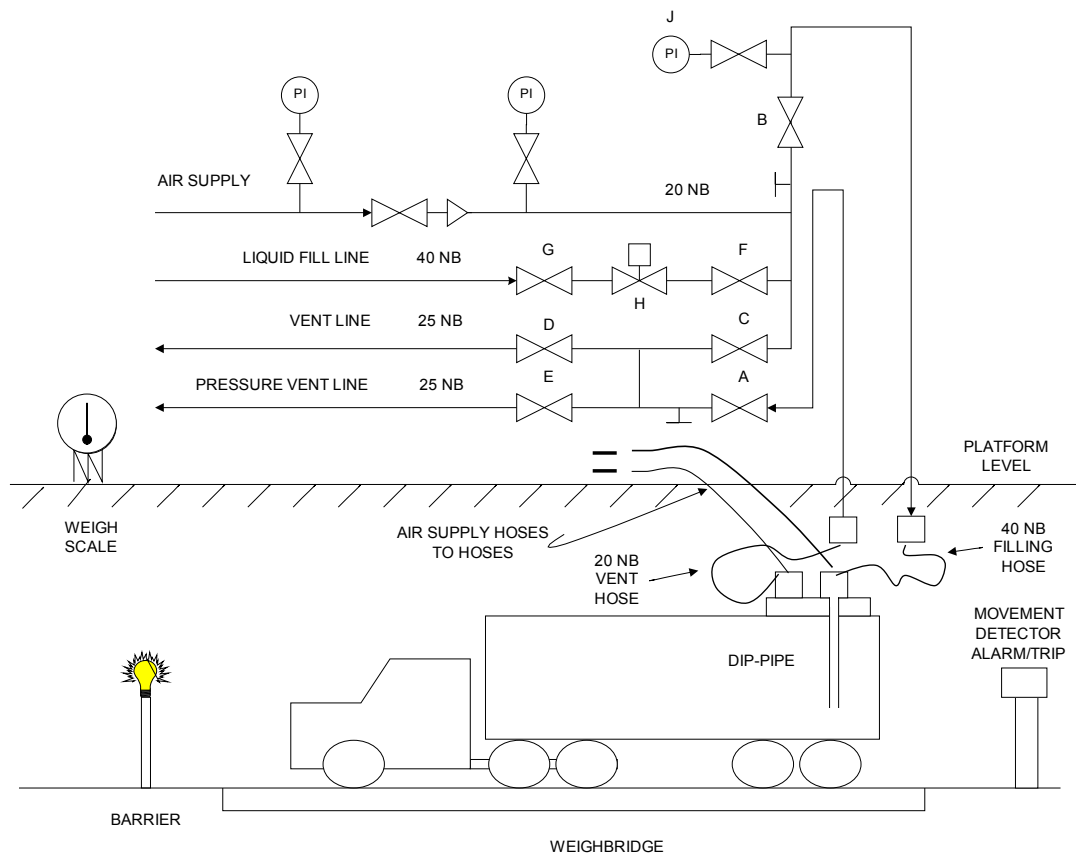
1. Προετοιμασία για το φόρτωμα
2. Ένωση και εξαέρωση των γραμμών
3. Φόρτωση βυτιοφόρου
4. Αποσύζευξη και εξαερισμός
5. Τελικές ενέργειες

Το πιο μακροχρόνιο μέρος αυτής της διαδικασίας είναι η φόρτωση των βυτιοφόρων που διαρκεί περίπου δύο ώρες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ο φορτωτής έχει άλλες στερεότυπες ενέργειες που μπορούν να τον απομακρύνουν από τον καλυμμένο κόλπο φόρτωσης των βυτιοφόρων σε άλλες μονάδες της εγκατάστασης. Οι διαδικασίες είναι διαθέσιμες αλλά δεν χρησιμοποιούνται συνήθως, δεδομένου ότι οι φορτωτές θα έπρεπε να έχουν απομνημονεύσει τις ενέργειες ασφαλείας, όπως ο έλεγχος για το υπόλοιπο της χλωρίνης στις βαλβίδες του βυτιοφόρου πριν οι βαλβίδες ανοιχτούν πλήρως.

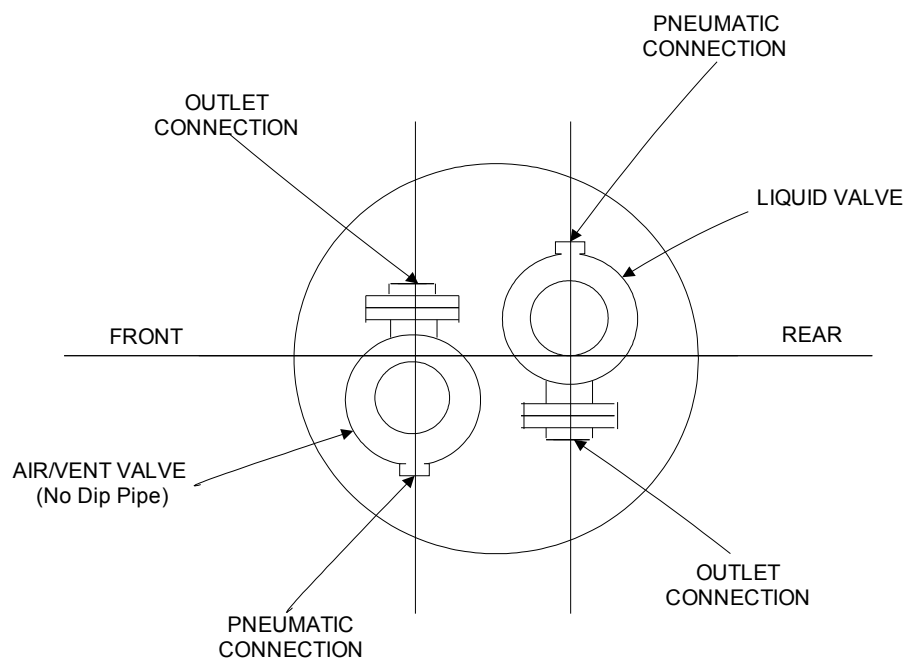
Οι διαδικασίες φόρτωσης γίνονται συνήθως κατά τη διάρκεια της ημέρας, και τελειώνουν μέχρι τα μεσάνυχτα. Οι εργάτες φόρτωσης δουλεύουν σε οκτάωρες βάρδιες.

Τα κύρια όργανα της εγκατάστασης αποτελούνται από έναν μετρητή βάρους βυτιοφόρων, ένα δείκτη πίεσης στη γραμμή χλωρίου και ένα ευδιάκριτο συναγερμό. Ο συναγερμός ενεργοποιείται αρχικά 10 λεπτά προτού επιτευχθεί το εκτιμώμενο βάρος του πλήρως φορτωμένου βυτιοφόρου στο μετρητή βάρους. Μετά το πέρας δύο

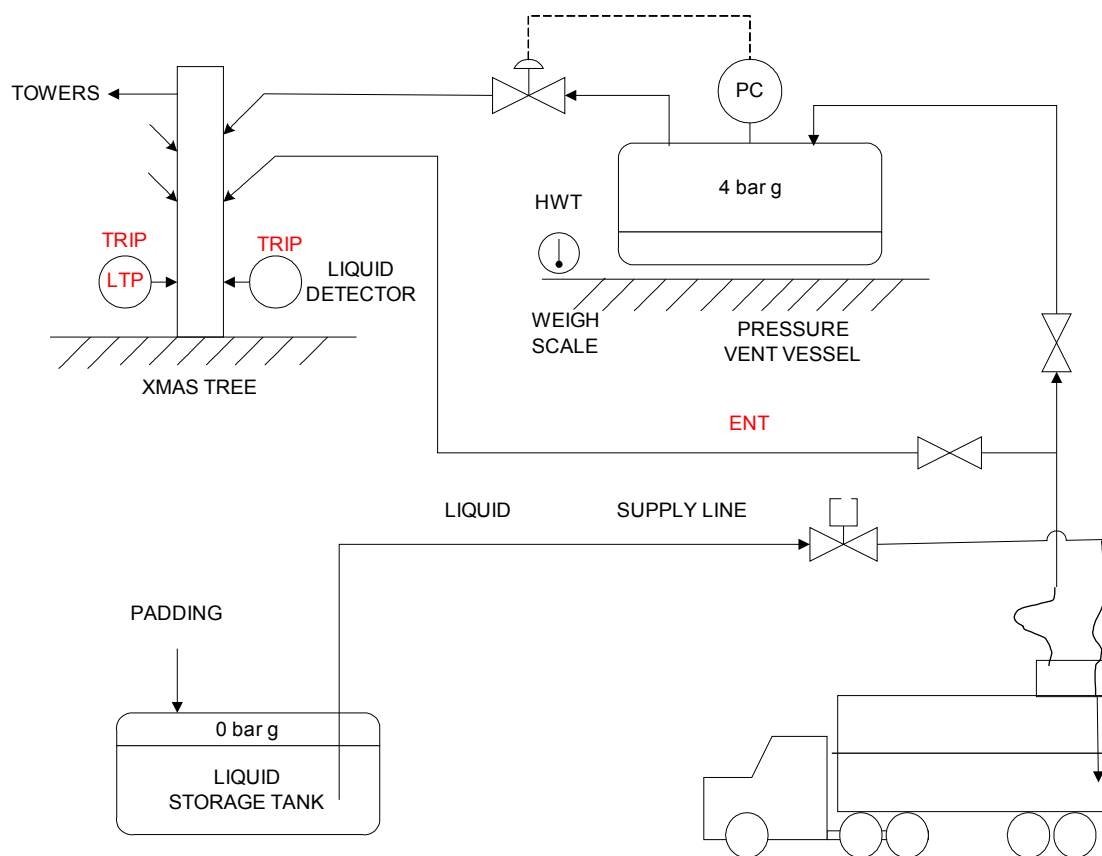
λεπτών ο συναγερμός σταματάει. Ένας δεύτερος συναγερμός, ομόηχος με τον πρώτο, ενεργοποιείται όταν επιτυγχάνεται το τελικό επιθυμητό βάρος. Το επιθυμητό τελικό βάρος εισάγεται από το φορτωτή. Υπάρχουν τέσσερα κουμπιά σταματήματος έκτακτης ανάγκης: στον ατσάλινο σκελετό δίπλα στις εύκαμπτες μάνικες στους ελέγχους έξω από τον κόλπο φόρτωσης και στην επόμενη μονάδα των εγκαταστάσεων 50 μέτρα μακριά. Η ενεργοποίηση οποιουδήποτε εκ των κουμπιών αυτών κλείνει το χλώριο στον χώρο φόρτωσης και στην πηγή και σημαίνει ένας γενικός συναγερμός εγκαταστάσεων.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα φόρτωσης βυτιοφόρου χλωρίου



Σχήμα 3.2: Τυπική διάταξη βυτιοφόρων οχημάτων



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα εκφόρτωσης βυτιοφόρου χλωρίου

3.2 Ιεραρχική ανάλυση εργασίας

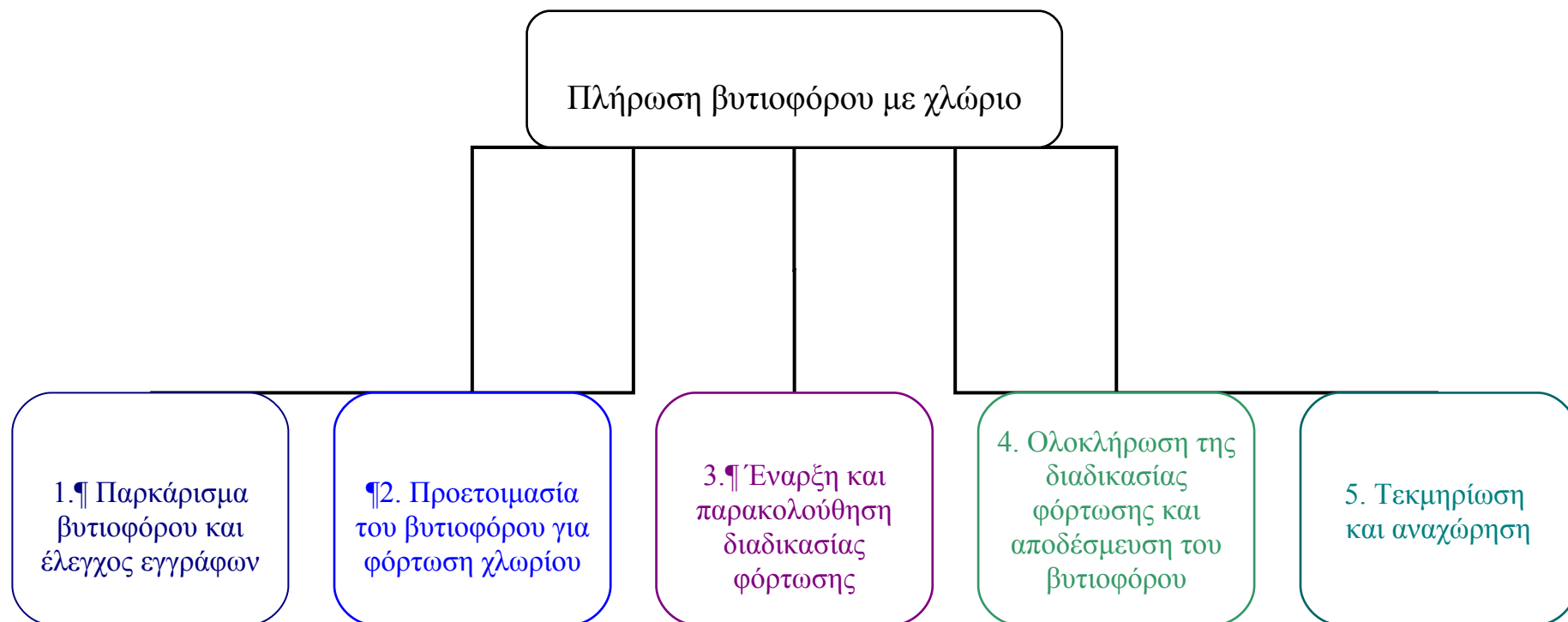
Η μέθοδος ανάλυσης εργασίας που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν τη μελέτη ήταν ιεραρχική ανάλυση εργασίας. Η ανάλυση εργασίας απεικονίζεται στα σχήματα 3.1 έως 3.4. Το σχήμα 3.1 είναι το κορυφαίο επίπεδο της ανάλυσης που καθορίζει τους γενικούς λειτουργικούς στόχους που πρέπει να επιτευχθούν προκειμένου να ολοκληρωθεί επιτυχώς η εργασία. Σε αυτό το σημείο, ο αναλυτής πρέπει να λάβει μια απόφαση όσον αφορά το πόσο λεπτομερή ανάλυση σκοπεύει να πραγματοποιήσει. Η απόφαση αυτή λαμβάνεται βάσει του κινδύνου που εμπεριέχεται στις λειτουργίες της διαδικασίας. Όσο πιο λεπτομερής είναι μία ανάλυση τόσο μεγαλύτερο το κόστος και η κατανάλωση πόρων. Η ελάττωση του κόστους όμως μειώνοντας το επίπεδο της ανάλυσης ενέχει κινδύνους. Ο αναλυτής θα μπορούσε να αγνοήσει ένα λάθος με σοβαρές συνέπειες που θα είχαν αποφευχθεί εάν η ανάλυση είχε πραγματοποιηθεί σε μεγαλύτερο βάθος. Επομένως, το επίπεδο ανάλυσης μίας εργασίας είναι απόφαση του αναλυτή και εξαρτάται από την επικινδυνότητα της εργασίας και τους πόρους που του διαθέτει η διοίκηση.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ιεραρχικής τεχνικής ανάλυσης εργασίας είναι ότι επιτρέπει την εφαρμογή αυτής της διαδικασίας απόφασης σε κάθε επίπεδο της ανάλυσης. Κατά συνέπεια, η ανάλυση μπορεί να ολοκληρωθεί όταν φθάνει στο επίπεδο λεπτομέρειας, στο οποίο οποιοδήποτε τρόποι αποτυχίας με σοβαρές συνέπειες είναι απίθανο να αγνοηθούν. Αυτό το σημείο είναι σημαντικό επειδή πολλοί μηχανικοί μπορούν να φοβηθούν από τη λεπτομέρεια που απαιτείται σε μια περιεκτική ανάλυση και να αποφασίσουν ότι τέτοιες αναλύσεις απαιτούν πάρα πολλούς πόρους και πληροφορίες για να είναι εφαρμόσιμες. Εντούτοις το βάθος της ανάλυσης μπορεί να προσαρμοστεί σύμφωνα με τους διαθέσιμους πόρους και τις πληροφορίες. Στις εγκαταστάσεις όπου υπάρχουν πολλές παρόμοιες εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν γενικές αναλύσεις που προσαρμόζονται έπειτα για να καλύψουν οποιαδήποτε συγκεκριμένη λειτουργία που απαιτεί ανάλυση. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να μειώσει αρκετά τους πόρους που απαιτούνται για την ανάλυση.

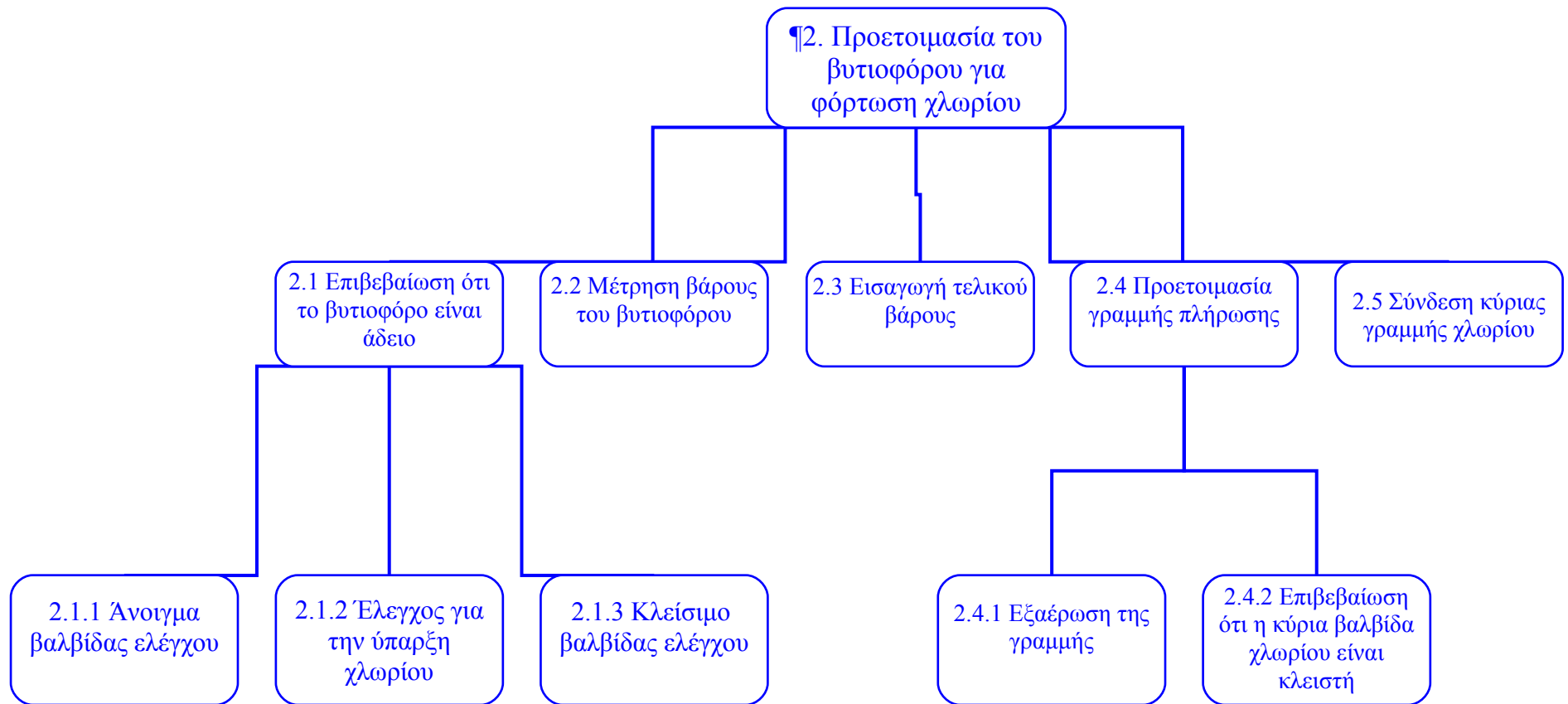
Στο εξεταζόμενο παράδειγμα, κάθε σημαντική δευτερεύουσα εργασία αποσυντίθεται σε δύο περαιτέρω επίπεδα. Το χαμηλότερο επίπεδο περιλαμβάνει τα μεμονωμένα βήματα εργασίας.

Συνοπτικά η ανάλυση της φόρτωσης βυτιοφόρου :

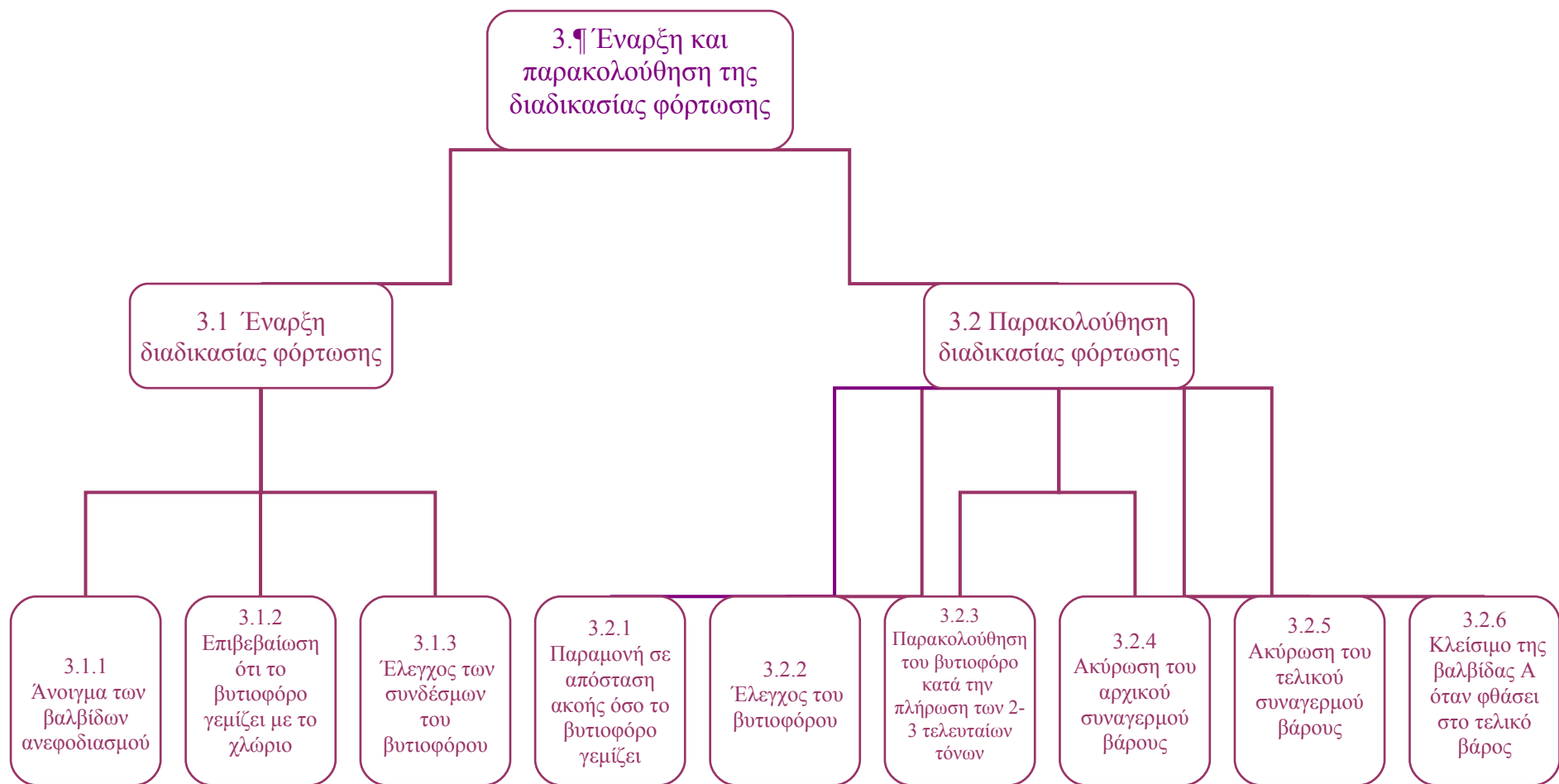
1. Παρκάρισμα βυτιοφόρων και έλεγχος εγγράφων (που δεν αναλύονται)
2. Προετοιμασία του βυτιοφόρου για την πλήρωση
 - 2.1 Ελέγξτε ότι το βυτιοφόρο είναι κενό
 - 2.1.1 Ανοικτή βαλβίδα δοκιμής
 - 2.1.2 Δοκιμή για το χλώριο
 - 2.1.3 Κλειστή βαλβίδα δοκιμής
 - 2.2 Ελέγξτε το βάρος του βυτιοφόρου
 - 2.3 Εισάγετε το τελικό βάρος του βυτιοφόρου
 - 2.4 Προετοιμάστε τη γραμμή πλήρωσης
 - 2.4.1 Εξαερώστε τη γραμμή
 - 2.4.2 Εξασφαλίστε ότι η κύρια βαλβίδα χλωρίου είναι κλειστή
 - 2.5 Συνδέστε την κύρια γραμμή χλωρίου
3. Έναρξη και παρακολούθηση της λειτουργίας πλήρωσης βυτιοφόρων
 - 3.1 Ξεκινήστε τη διαδικασία γεμίσματος
 - 3.1.1 Ανοικτές βαλβίδες γραμμών ανεφοδιασμού
 - 3.1.2 Εξασφαλίστε ότι το βυτιοφόρο γεμίζει με το χλώριο
 - 3.1.3 Ελέγξτε τους συνδέσμους του βυτιοφόρου
 - 3.2 Παρακολουθήστε τη λειτουργία πλήρωσης των βυτιοφόρων
 - 3.2.1 Παραμείνετε σε απόσταση ακοής ενώ το βυτιοφόρο γεμίζει
 - 3.2.2 Ελέγξτε το βυτιοφόρο
 - 3.2.3 Ελέγξτε το βυτιοφόρο κατά τη διάρκεια πλήρωσης των 2-3 τελευταίων τόνων
 - 3.2.4 Ακυρώστε τον αρχικό συναγερμό βάρους και παραμείνατε στους ελέγχους
 - 3.2.5 Ακυρώστε τον τελικό συναγερμό βάρους
 - 3.2.6 Κλείστε τη βαλβίδα Α όταν φθάσει στο τελικό επιθυμητό βάρος
4. Ολοκληρώστε την πλήρωση και απελευθερώστε το βυτιοφόρο
 - 4.1 Σταματήστε τη λειτουργία πλήρωσης
 - 4.1.1 Κλείστε τη βαλβίδα Β ανεφοδιασμού
 - 4.1.2 Καθαρίστε τις γραμμές ανεφοδιασμού
 - 4.1.3 Κλείστε τη βαλβίδα των βυτιοφόρων
 - 4.2 Αποσυνδέστε το βυτιοφόρο
 - 4.2.1 Αερίστε και εξαερώστε τις γραμμές
 - 4.2.2 Αφαιρέστε τον αέρα οργάνων από τις βαλβίδες
 - 4.2.3 Εξασφαλίστε τη συσκευή κλεισίματος των βαλβίδες
 - 4.2.4 Λύστε τις συνδέσεις των βυτιοφόρων
 - 4.3 Αποθηκεύστε τις μάνικες (που δεν αναλύεται)
 - 4.4 Ασφαλίστε το βυτιοφόρο
 - 4.4.1 Βαλβίδες αντεπιστροφής για τη διαρροή
 - 4.4.2 Εξασφαλίστε τις βίδες κλειδώματος
 - 4.4.3 Κλείστε και εξασφαλίστε το θόλο
 - 4.5 Ασφαλίστε τον πίνακα (που δεν αναλύεται)



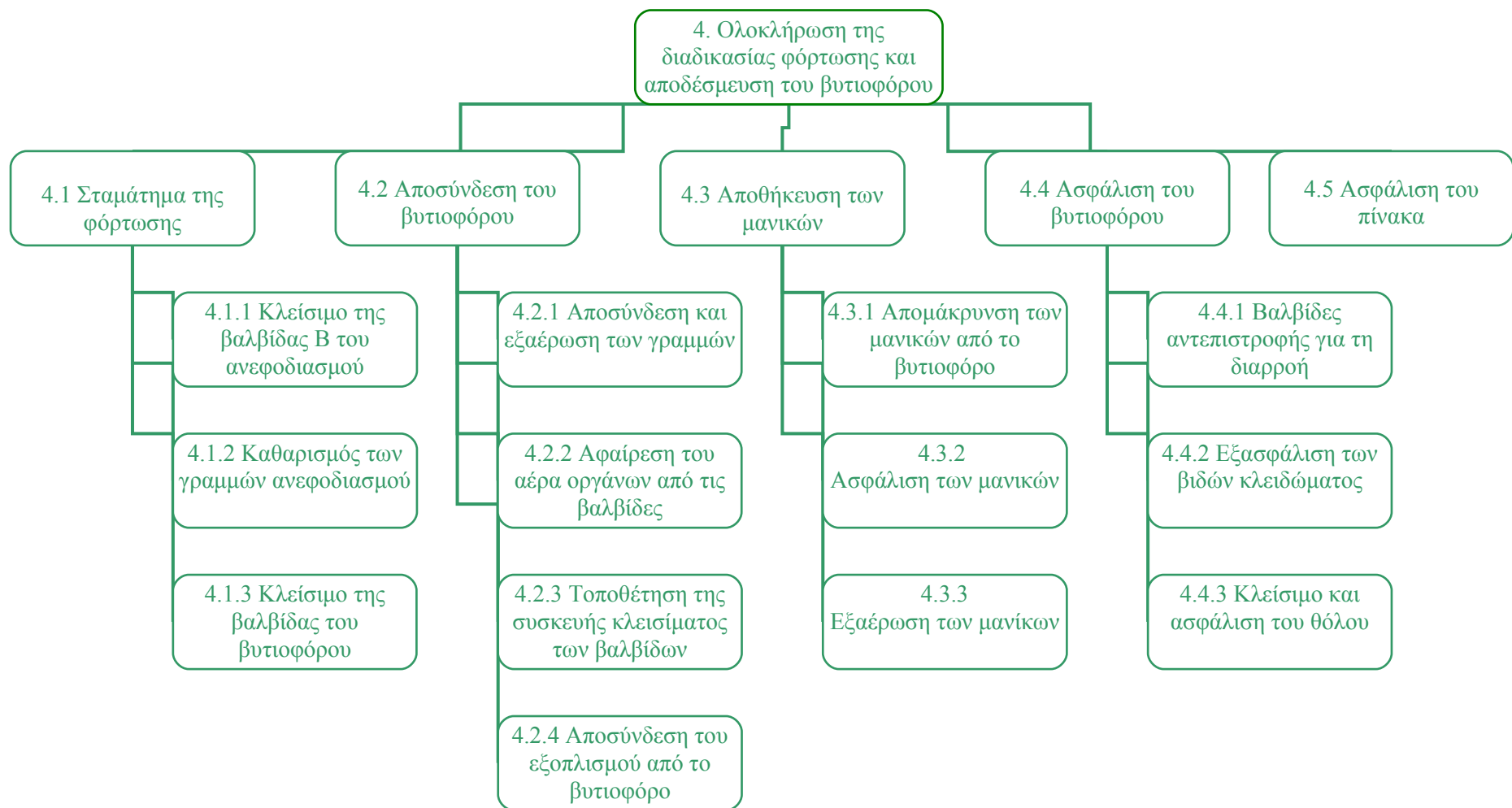
Σχήμα 3.4: Πρώτο επίπεδο ιεραρχικής ανάλυσης εργασίας για τη διαδικασία πλήρωσης χλωρίου



Σχήμα 3.5: Ανάλυση εργασίας για την προετοιμασία του βυτιοφόρου για φόρτωση



Σχήμα 3.6: Ανάλυση εργασίας για την έναρξη και την παρακολούθηση της φόρτωσης



Σχήμα 3.7: Ανάλυση εργασίας για την ολοκλήρωση έναρξη και την παρακολούθηση της φόρτωσης

3.3 Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών (Fault Tree Analysis)

Τα περισσότερα ατυχήματα που έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία προέρχονται από μια σειρά διαδοχικών γεγονότων συνδεδεμένων μεταξύ τους, που τελικά συνθέτουν το ατύχημα στην οριστική του μορφή. Η ανάλυση του δέντρου αστοχιών (fault tree analysis) είναι μία μέθοδος που αναλύει τους τρόπους και τα μέσα με τα οποία εμφανίζεται ένα ανεπιθύμητο γεγονός (ατύχημα). Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε στην αεροπορική βιομηχανία, ενώ χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στις πυρηνικές και χημικές εγκαταστάσεις για την περιγραφή και ποσοτικοποίηση των κινδύνων και της επικινδυνότητας που σχετίζονται με τις εγκαταστάσεις αυτές. Η τεχνική αυτή αν και αρχικά αναπτύχθηκε για την προστασία από την εμφάνιση ατυχημάτων, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και τη διερεύνησή τους.

Το δέντρο αστοχιών είναι ένα λογικό διάγραμμα, το οποίο δείχνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των υπεύθυνων αιτιών για την εμφάνιση ενός ατυχήματος. Ξεκινώντας από ένα καλά ορισμένο ατύχημα, δηλαδή ένα κορυφαίο γεγονός (top event), η ανάλυση του δέντρου αστοχιών εκτελεί μία “προς τα πίσω” πορεία για την αναγνώριση όλων των πιθανών γεγονότων που μπορούν να οδηγήσουν στο κορυφαίο γεγονός. Το υπό ανάλυση κορυφαίο γεγονός που επιλέγεται και όλοι τα πιθανά γεγονότα που συμβάλλουν στη δημιουργία του παρουσιάζονται με τη μορφή ενός δέντρου. Συγκεκριμένα, τα διάφορα γεγονότα παρουσιάζονται με τη μορφή λογικών συμβόλων ενός δενδρικού δικτύου, μέσω του οποίου αναλύεται η συσχέτιση και η διαδοχή των γεγονότων που ευθύνονται για την εμφάνιση του κορυφαίου γεγονότος. Ο τελικός στόχος είναι το κατώτερο επίπεδο του δέντρου να αποτελείται από ανεξάρτητα γεγονότα, τα οποία δεν επιδέχονται επιπλέον ανάλυση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα γεγονότα σε ένα δέντρο αστοχιών δεν περιορίζονται μόνο σε αστοχίες εξαρτημάτων, αλλά μπορούν να περιλαμβάνουν ανθρώπινους, διαχειριστικούς, περιβαλλοντικούς και άλλους παράγοντες.

Τα γεγονότα του δέντρου διέπονται από μία συγκεκριμένη ιεραρχία που είναι η ακόλουθη:

- Κορυφαίο γεγονός: Είναι το γεγονός που τοποθετείται στην κορυφή του δέντρου, η ανάλυση του οποίου οδηγεί στη δημιουργία του υπόλοιπου δέντρου.
- Πρωτεύον γεγονός: Είναι το πρωτεύον και βασικό λάθος (αίτιο) στο οποίο οφείλεται η εμφάνιση του κορυφαίου γεγονότος.

- Δευτερεύον γεγονός: Είναι ένα δευτερεύον λάθος (αίτιο) ή επίδραση που προέρχεται από ένα άλλο γεγονός ή κάποια εξωτερική κατάσταση.
- Βασικό γεγονός: Είναι ένα γεγονός (λάθος ή όχι) το οποίο δεν επιδέχεται επιπλέον ανάλυση και τοποθετείται στη βάση του δέντρου.

Αφού καθοριστεί το κορυφαίο γεγονός καταγράφονται όλοι οι εμπλεκόμενοι παράγοντες και συνδέονται με αυτό με τη βοήθεια των OR και AND πυλών, οι οποίες θεωρούνται τα βασικά στοιχεία ενός δέντρου αστοχιών. Η χρήση της πύλης OR σημαίνει ότι η παρουσία έστω και ενός από τους εμπλεκόμενους παράγοντες αρκεί για την πρόκληση του ατυχήματος. Αντίθετα, η χρήση της πύλης AND δηλώνει ότι πρέπει να ικανοποιούνται όλοι οι παράγοντες.

Η προς τα κάτω πορεία του δέντρου αστοχιών συνεχίζεται έως ότου χρησιμοποιηθεί όλη η διαθέσιμη πληροφορία. Το κατώτερο επίπεδο του δέντρου πρέπει να είναι ένα λάθος ή ένα οποιοδήποτε βασικό γεγονός. Τα γεγονότα αυτά παριστάνονται με κύκλους ή ρόμβους. Οι περισσότεροι αναλυτές χρησιμοποιούν τον κύκλο για να δηλώσουν την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του δέντρου ή τον τερματισμό της προσπάθειας λόγω εξωτερικών παραγόντων. Ο ρόμβος δηλώνει ότι το γεγονός δεν επιδέχεται περαιτέρω ανάλυση, κυρίως λόγω της έλλειψης της απαραίτητης πληροφορίας.

Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του δέντρου μπορούν να προσδιοριστούν τα Minimal Cut Sets (MCS), δηλαδή τα ελάχιστα σύνολα γεγονότων που μπορούν να οδηγήσουν στο κορυφαίο γεγονός. Ένα κορυφαίο γεγονός μπορεί να προκληθεί από ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών συνδυασμών γεγονότων. Τα MCS προσδιορίζουν τους διάφορους τρόπους με τους οποίους μπορεί να συμβεί ένα ατύχημα. Δεδομένου ότι κάθε MCS έχει μία πιθανότητα αστοχίας, τα MCS που έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα αποτελούν σημαντικά στοιχεία για το χρήστη για να εξεταστούν περαιτέρω και με μεγαλύτερη προσοχή.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου ανάλυσης δέντρου αστοχιών είναι ότι η αποτελεσματική χρήση του δέντρου προϋποθέτει μεγάλη γνώση του υπό ανάλυση κορυφαίου γεγονότος. Όσον αφορά την ανάλυση πολύπλοκων διεργασιών απαιτείται η δημιουργία δέντρων πολύ μεγάλου μεγέθους. Για την ανάπτυξη πολύπλοκων δέντρων απαιτείται πολύς χρόνος, καθώς μπορούν να αποτελούνται από χιλιάδες πύλες και γεγονότα. Επιπλέον, για να υπολογιστεί η πιθανότητα αστοχίας ενός κορυφαίου γεγονότος απαιτείται η γνώση των πιθανοτήτων αστοχίας όλων των

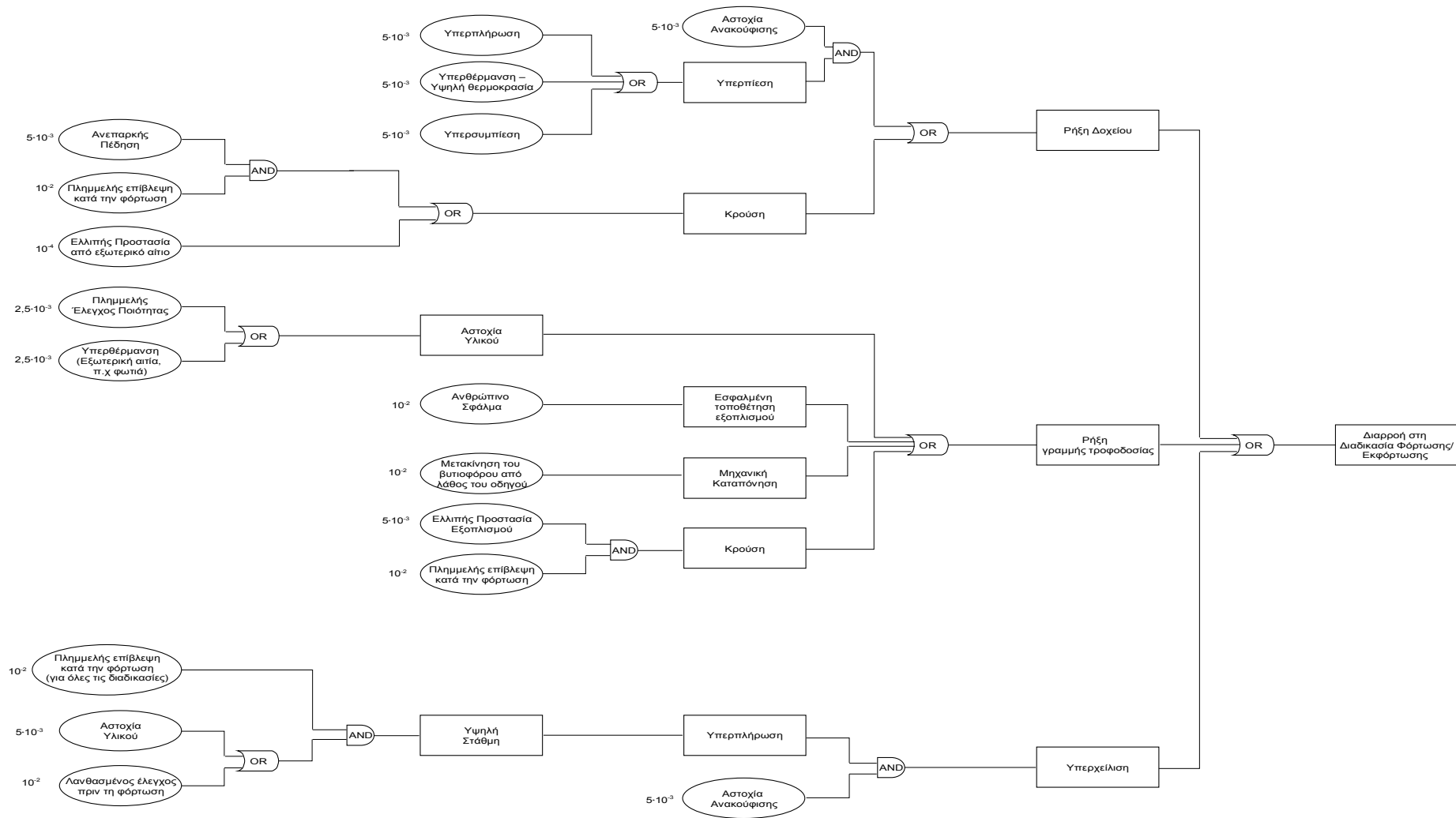
γεγονότων που εμφανίζονται στο δέντρο. Οι πιθανότητες αυτές στις περισσότερες περιπτώσεις είτε δεν είναι γνωστές, είτε είναι γνωστές με μικρή ακρίβεια.

Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι ο χρήστης επιλέγει το κορυφαίο γεγονός που τον ενδιαφέρει να μελετήσει. Επίσης τα MCS που μπορούν να προσδιοριστούν μέσω του δέντρου παρέχουν σημαντικές πληροφορίες στο χρήστη σχετικά με τον τρόπο που μπορεί να προκληθεί ένα κορυφαίο γεγονός. Τέλος, η μέθοδος επιτρέπει τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, όπου χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό είναι δυνατή η σχεδίαση πολύπλοκων δέντρων, ο προσδιορισμός των MCS και ο υπολογισμός των πιθανοτήτων αστοχίας.

3.3.1 Δέντρο αστοχιών διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου

Βασισμένοι στους παράγοντες και τις αιτίες σφαλμάτων της HAZOP ανάλυσης (Hazard and Operability study) για τη φόρτωση βυτιοφόρων, σε σχετική βιβλιογραφία και στη μελέτη των σχημάτων 3.1 και 3.3 προχωρήσαμε στη δημιουργία του δέντρου αστοχιών με κορυφαίο γεγονός τη διαρροή χλωρίου κατά τις διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης, το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 3.8. Η συγκεκριμένη ανάλυση καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό των αιτιών σφαλμάτων που αναφέρονται στη βιβλιογραφία ή σε έγγραφα ασφάλειας και προστασίας, όπως εσφαλμένη τοποθέτηση εξοπλισμού, υψηλή πίεση, κρούση και άλλες αιτίες. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι στην ανάλυσή μας δεν εξετάζουμε αιτίες και παράγοντες που έχουν πολύ μικρή πιθανότητα να συμβούν, όπως σεισμούς, ακραία καιρικά φαινόμενα και σαμποτάζ. Αποφύγαμε να συμπεριλάβουμε αυτές τις περιπτώσεις διότι θα προσέθεταν πολυπλοκότητα στη μοντελοποίηση των διαδικασιών φόρτωσης και εκφόρτωσης χωρίς να αλλάζουν ιδιαίτερα τα αποτελέσματα των πειραμάτων.

Στο δέντρο του σχήματος 3.8, το κορυφαίο γεγονός μπορεί να προέλθει από τρία πρωτεύοντα γεγονότα, τη ρήξη του δοχείου, δηλαδή του βυτίου, τη ρήξη της γραμμής τροφοδοσίας και από υπερχειλίση. Η ρήξη του δοχείου μπορεί να προέλθει είτε από κρούση είτε από τη δημιουργία υπερπίεσης στο δοχείο, η οποία δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί από τις βαλβίδες ανακούφισης λόγω βλάβης. Η υπερπίεση στο δοχείο μπορεί να συμβεί είτε από υπερπλήρωση του δοχείου, είτε από διαστολή του αέρα και δημιουργία ατμών λόγω υψηλής θερμοκρασίας είτε λόγω υπερσυμπίεσης του αέρα από τον συμπίεστή. Ρήξη λόγω κρούσης μπορεί να συμβεί είτε από τη σύγκρουση του βυτιοφόρου με άλλο όχημα είτε από τη μετακίνηση του ίδιου του βυτιοφόρου



Σχήμα 3.8: Δέντρο αστοχιών (fault tree) φόρτωσης χλωρίου

επειδή δεν ασφαλίστηκε σωστά από τον οδηγό και το προσωπικό. Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο το όχημα θα πρέπει να παρακολουθείται κατά τη διαδικασία της φόρτωσης ενώ θα πρέπει να έχουν τοποθετηθεί προειδοποιητικές πινακίδες γύρω του. Επομένως για να συμβούν τα παραπάνω γεγονότα θα πρέπει να έχει υπάρξει εσφαλμένη εφαρμογή των μέτρων ασφαλείας.

Στην περίπτωση διαρροής λόγω ρήξης της γραμμής τροφοδοσίας, τέσσερα είναι τα ενδεχόμενα που μπορούν να την επιφέρουν. Ένα αίτιο είναι η αστοχία υλικού, να σπάσει για παράδειγμα ένας σωλήνας ή κάποιο άλλο εξάρτημα του εξοπλισμού τροφοδοσίας. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε λόγω κακής κατασκευής είτε λόγω εξωτερικών παραγόντων όπως την ανάπτυξη φωτιάς κοντά στον εξοπλισμό. Διαρροή στη γραμμή τροφοδοσίας μπορεί να συμβεί επίσης λόγω κακής τοποθέτησης του εξοπλισμού. Εάν κάποια σύνδεση δεν έχει πραγματοποιηθεί σωστά τότε θα δημιουργηθεί διαρροή. Επίσης αν ο εξοπλισμός τοποθετηθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ξεπεραστούν τα όρια αντοχής των εξαρτημάτων, όπως αν διπλώνει η μάνικα, τότε μπορεί να έχουμε ρήξη στη γραμμή τροφοδοσίας. Ένα ακόμα αίτιο που μπορεί να προκαλέσει διαρροή στη γραμμή τροφοδοσίας είναι η μηχανική καταπόνηση του εξοπλισμού εξαιτίας της μετακίνησης του βυτιοφόρου πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία φόρτωσης από αμέλεια του οδηγού. Τέλος, η γραμμή τροφοδοσίας θα μπορούσε να υποστεί βλάβη από κρούση. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί εάν κάποιο μηχάνημα, όπως γερανός, που εκτελεί εργασίες κοντά στην περιοχή φόρτωσης ή κάποιο άλλο όχημα συγκρουστεί με τη γραμμή τροφοδοσίας.

Το τελευταίο πρωτεύον γεγονός, στο οποίο μπορεί να οφείλεται η ενδεχόμενη διαρροή κατά τις διαδικασίες φόρτωσης ή εκφόρτωσης, είναι η υπερχειλίση. Για να συμβεί υπερχειλίση θα πρέπει να υπάρξει εσφαλμένος έλεγχος των εγγράφων στην αρχή της διαδικασίας που θα οδηγήσει στην εισαγωγή μεγαλύτερου βάρους από το επιθυμητό, προκαλώντας έτσι την παροχή περισσότερου χλωρίου. Εκτός από λάθος στον έλεγχο και στην εισαγωγή του βάρους θα μπορούσε να συμβεί και κάποιο σφάλμα ή κάποια δυσλειτουργία στα όργανα, για παράδειγμα στο μετρητή βάρους των φορτηγών, που δεν θα ενεργοποιούσε τους συναγερμούς ούτε θα έκλεινε τις αυτόματες βαλβίδες. Οποιαδήποτε από τις δύο περιπτώσεις λάβει χώρα, θα μπορέσει να αντιμετωπιστεί χωρίς να οδηγήσει σε υπερχειλίση εφόσον γίνει γρήγορα αντιληπτή από το προσωπικό.

Οι τιμές που βρίσκονται στο πλάι των βασικών γεγονότων είναι οι πιθανότητες να συμβούν. Οι τιμές των πιθανοτήτων για το συγκεκριμένο δέντρο αστοχιών

προκύπτουν από αντίστοιχες τιμές σε σχετική βιβλιογραφία. Ωστόσο, οι τιμές των πιθανοτήτων δεν είναι απόλυτες αλλά μπορούν να διαφέρουν αναλόγως τις εγκαταστάσεις και τους εξοπλισμούς τροφοδοσίας. Η μείωση των πιθανοτήτων αυτών θα μπορούσε να αποτελέσει ξεχωριστό αντικείμενο έρευνας.

Κεφάλαιο 4

4. Μοντελοποίηση και υλοποίηση των διαδικασιών φόρτωσης και εκφόρτωσης χλωρίου σε δίκτυα Petri

4.1 Εισαγωγή

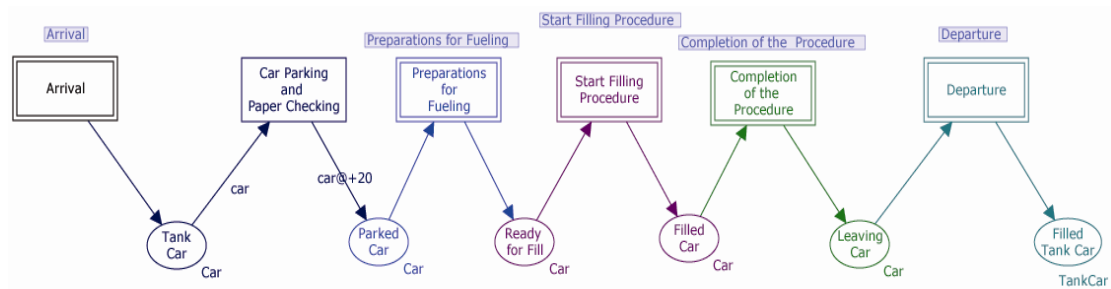
Για την πραγματοποίηση πειραματικών μετρήσεων και την εξαγωγή συμπερασμάτων χρειάζεται να γίνει η μοντελοποίηση των διαδικασιών φόρτωσης χλωρίου παρουσία σφαλμάτων. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η μοντελοποίηση που έγινε σύμφωνα με την ιεραρχική ανάλυση και το δέντρο αστοχιών του προηγούμενου κεφαλαίου. Η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε σε δίκτυα Petri και η υλοποίηση στο εργαλείο CPNtools 2.2.0.

4.2 Υλοποίηση σε έγχρωμα δίκτυα Petri

Η μοντελοποίηση της διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου παρουσία σφαλμάτων που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι τριών επιπέδων. Στο πρώτο επίπεδο βρίσκεται η σειριακή πραγματοποίηση των βασικών σταδίων της διαδικασίας φόρτωσης. Το δεύτερο επίπεδο περιέχει σε πιο αναλυτική μορφή τις εργασίες που εκτελούνται κατά τη φόρτωση του χλωρίου σε ένα βυτιοφόρο. Τέλος, το τρίτο επίπεδο αποτελείται από τις υποσελίδες *LeakageHandling* και *FaultTree*. Στην υποσελίδα *LeakageHandling* περιέχονται οι ενέργειες που πρέπει να πραγματοποιηθούν για την αντιμετώπιση κάποιας διαρροής. Στην υποσελίδα *FaultTree* υλοποιείται το δέντρο αστοχιών του σχήματος 3.8 που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

4.3 Ανάλυση πρώτου επιπέδου διαδικασίας φόρτωσης

Στο πρώτο επίπεδο μοντελοποιείται η διαδικασία φόρτωσης μακροσκοπικά, διενεργούνται δηλαδή οι βασικές λειτουργίες της φόρτωσης ενός βυτιοφόρου. Οι λειτουργίες αυτές είναι οι *Car Parking and Paper Checking*, *Preparations for Fueling*, *Start Filling Procedure*, *Completion of the Procedure* και *Departure*. Η υλοποίηση του πρώτου επιπέδου σε έγχρωμα δίκτυα Petri απεικονίζεται στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Πρώτο επίπεδο δικτύου Petri διαδικασίας φόρτωσης

Η *Car Parking and Paper Checking* αντιστοιχεί στη φάση *Παρκάρισμα βυτιοφόρων και έλεγχος των εγγράφων* της ιεραρχικής ανάλυσης του προηγούμενου κεφαλαίου, η *Preparations for Fueling* στην *Προετοιμασία του βυτιοφόρου για την πλήρωση*, η *Start Filling Procedure* στην *Έναρξη και παρακολούθηση της λειτουργίας πλήρωσης βυτιοφόρων*, η *Completion of the Procedure* στην *Ολοκλήρωση της πλήρωσης και απελευθέρωση του βυτιοφόρου* και η *Departure* στην *Τεκμηρίωση και αναχώρηση*. Οι λειτουργίες αυτές αναλύονται περαιτέρω σε υποσελίδες εκτός από την *Car Parking and Paper Checking* που δεν χρειάζεται περισσότερη ανάλυση σε βασικές εργασίες.

Επίσης, σε υποσελίδα αναλύεται και η μετάβαση *Arrival*. Η μετάβαση *Arrival* όμως δεν αποτελεί βασική λειτουργία της διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου και δεν βρίσκεται στην ιεραρχική ανάλυση. Οι υποσελίδες των *Arrival* και *Departure* δεν περιέχουν βασικές εργασίες της διαδικασίας φόρτωσης και επομένως δεν συνδέονται άμεσα με αυτήν. Η ύπαρξη των υποσελίδων αυτών έχει κυρίως λειτουργικό σκοπό για την υλοποίηση και την προσομοίωση της διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου στο εργαλείο CPNtools 2.2.0.

Η παρουσίαση των υποσελίδων θα γίνει βάσει του επιπέδου στο οποίο βρίσκονται και βάσει της χρονικής σειράς που συμβαίνουν, για ευκολότερη κατανόηση από τον αναγνώστη. Προτού προχωρήσουμε όμως στην ανάλυση των λειτουργιών της φόρτωσης χλωρίου, θα πρέπει να ορίσουμε τις δομές που χρησιμοποιούμε στην υλοποίησή μας.

```

colset INT = int;
colset STRING=string;
colset Car=with car timed;
colset Job=record Tank:INT*AT:INT timed;
colset E=with e timed;
colset Reason=with a|b|c|d;
colset CarxReason=product Car*Reason;
colset TankCar=record TankC:INT*ATc:INT*FTc:INT;

var n,probab,choice,delay,oldDelay,carID,gdel:INT;
var reas:Reason;
var job:Job;
var tankcar:TankCar;
var aA,bB:INT;

fun normalLinks()=
if discrete(1,1000)>20
then 1
else 0;

fun eventOccure(probab)=
if discrete(1,10000)<probab
then 1
else 0;

fun intTime()=IntInf.toInt (time());
fun newArrival(carID)={Tank=carID,AT =intTime()}
fun newCompletion(aA,bB)={TankC=aA,ATc=bB,FTc=intTime()}

fun getDelay(n)=
let
  val rand=discrete(1,300)
  val randelay=n*rand
in
  randelay
end;

```

Πίνακας 4.1: Declarations δικτύου

Εκτός από τις δομές Int και String που υπάρχουν εξ' ορισμού στο εργαλείο CPNtools, στο δίκτυο της εφαρμογής μας χρησιμοποιήσαμε και κάποιες άλλες δομές. Αυτές είναι οι Car, Job, E, Reason, CarxReason και TankCar. Η δομή Car μπορεί να πάρει την τιμή car και αναπαριστά το βυτιοφόρο και σε ποια φάση της διαδικασίας φόρτωσης αυτό βρίσκεται. Επιλέξαμε αυτή η δομή να είναι timed για δύο λόγους. Πρώτον, για να μπορούμε να αναπαραστήσουμε το πέρασμα του χρόνου μετά την πραγματοποίηση των ενεργειών της διαδικασίας. Δεύτερον, για να έχουμε ένα καλά χρονισμένο δίκτυο, στο οποίο οι παράλληλες μεταβάσεις θα πραγματοποιούνται σύμφωνα με τη σειρά που επιθυμούμε να συμβαίνουν και όχι τυχαία.

Για τους ίδιους λόγους είναι timed και οι δομές Job και E. Η δομή Job αποτελείται από δύο πεδία που παίρνουν ακέραιες τιμές, τα Tank και AT, ενώ αντιπροσωπεύει την εργασία φόρτωσης που είναι σε εξέλιξη και το βυτιοφόρο στο οποίο συμβαίνει. Το πεδίο Tank χρησιμεύει ως αριθμός αναγνώρισης (id) για το βυτιοφόρο που γεμίζει ενώ το AT περιέχει την τιμή της χρονικής στιγμής του συστήματος που ξεκίνησε η διαδικασία φόρτωσης για το συγκεκριμένο βυτιοφόρο. Η δομή E παίρνει την τιμή e και χρησιμεύει σαν απλή μάρκα ή μάρκα ελέγχου για την πυροδότηση κάποιων μεταβάσεων, χωρίς να έχει κάποια φυσική σημασία σε σχέση με τη διαδικασία φόρτωσης.

Η δομή Reason μπορεί να πάρει την τιμή a, b, c ή d και φέρει πληροφορία σχετικά με τον τύπο διαρροής που συνέβη. Τέλος, η δομή TankCar αναπαριστά το βυτιοφόρο που έχει ολοκληρώσει τη φόρτωση και έχει αναχωρήσει. Η TankCar αποτελείται από τρία πεδία που παίρνουν ακέραιες τιμές, τα TankC, ATc και FTc. Τα TankC και ATc έχουν την ίδια σημασία με τα πεδία Tank και AT της δομής Job αντίστοιχα. Το πεδίο FTc περιέχει την τιμή της χρονικής στιγμής του συστήματος που ολοκληρώθηκε η φόρτωση του βυτιοφόρου.

Αυτές είναι οι βασικές δομές του δικτύου Petri για τη διαδικασία φόρτωσης. Όσον αφορά τις μεταβλητές και τις συναρτήσεις θα αναφερθούμε στις αναλύσεις των δικτύων που αυτές χρησιμοποιούνται.

4.4 Ανάλυση δεύτερου επιπέδου διαδικασίας φόρτωσης

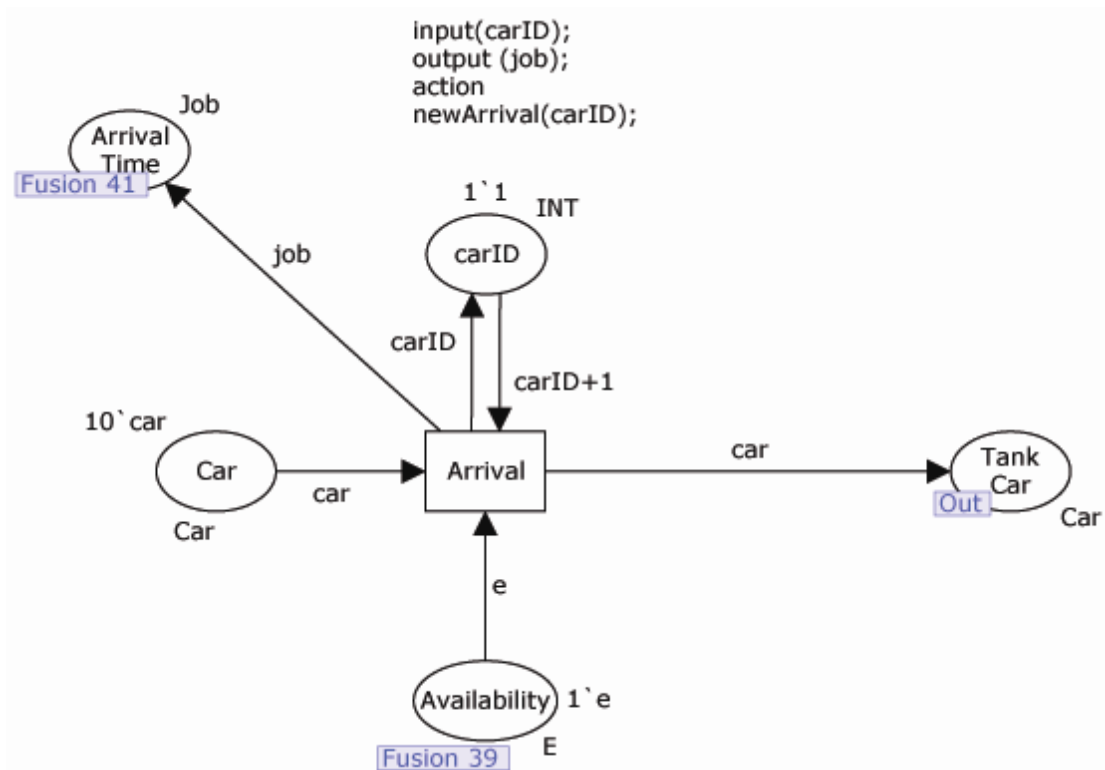
Το δεύτερο επίπεδο της υλοποίησης του δικτύου Petri για τη διαδικασία φόρτωσης χλωρίου αποτελείται από τις λειτουργίες *Arrival*, *Car Parking and Paper Checking*, *Preparations for Fueling*, *Start Filling Procedure*, *Completion of the Procedure* και *Departure*. Οι λειτουργίες αυτές πραγματοποιούνται σύμφωνα με τη σειρά αναφοράς τους, η οποία θα αποτελέσει και σειρά παρουσίασής τους στη συνέχεια του κεφαλαίου.

4.4.1 Arrival

Η υποσελίδα *Arrival* περιέχει πέντε θέσεις και μία μετάβαση όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2. Η θέση *Car* είναι δομής *Car* και αντιπροσωπεύει τα βυτιοφόρα που προσεγγίζουν τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης χλωρίου. Η *Car* είναι είσοδος στη μετάβαση *Arrival*, η πυροδότηση της οποίας σηματοδοτεί την άφιξη του οχήματος στις εγκαταστάσεις και την έναρξη της διαδικασίας φόρτωσης για το συγκεκριμένο όχημα. Επιπλέον, οι θέσεις *Availability* και *carID* είναι είσοδοι στη μετάβαση *Arrival*. Η θέση *Availability* είναι τύπου *E* και η *carID* είναι τύπου *Integer*. Για να πυροδοτηθεί η μετάβαση *Arrival* θα πρέπει να φέρουν μάρκες και οι τρεις θέσεις.

Οι εγκαταστάσεις διαθέτουν χώρο φόρτωσης που μπορεί να φιλοξενήσει μόνο ένα όχημα. Επομένως, όταν ένα βυτιοφόρο ξεκινήσει τη διαδικασία φόρτωσης δεν μπορεί εξυπηρετηθεί ταυτόχρονα κάποιο άλλο βυτιοφόρο. Αυτό το ρόλο παίζει η θέση *Availability*. Διατηρεί πληροφορία για την κατάσταση των εγκαταστάσεων και για το εάν κάποιο όχημα εν αναμονή μπορεί να εξυπηρετηθεί ή όχι. Εάν δηλαδή υπάρχει κάποιο βυτιοφόρο στις εγκαταστάσεις που γεμίζει χλώριο τότε η θέση *Availability* δεν φέρει μάρκα εμποδίζοντας έτσι την πυροδότηση της μετάβασης *Arrival*. Στην αντίθετη περίπτωση φέρει μάρκα ενεργοποιώντας τη μετάβαση και επιτρέποντας στο βυτιοφόρο να ξεκινήσει τη διαδικασία φόρτωσης. Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν η μάρκα *e* λειτουργεί ως μάρκα ελέγχου.

Εφόσον υπάρχουν οχήματα προς φόρτωση που προσεγγίζουν τις εγκαταστάσεις, δηλαδή εφόσον υπάρχουν μάρκες στη θέση *Car*, θα πρέπει να εξυπηρετηθούν. Όταν η θέση *Car* δεν φέρει άλλες μάρκες, τότε δεν υπάρχουν άλλα οχήματα προς φόρτωση και επομένως η προσομοίωση έχει ολοκληρωθεί. Η θέση *carID* φέρει μονίμως μία μάρκα, η οποία αυξάνει την τιμή της κάθε φορά που πυροδοτείται η μετάβαση *Arrival*. Η θέση *carID* διατηρεί πληροφορία για τον αριθμό των βυτιοφόρων που



Σχήμα 4.2: Αφίξη βυτιοφόρου στις εγκαταστάσεις

έχουν αφιχθεί και ξεκινήσει τη διαδικασία φόρτωσης. Παράλληλα, λειτουργεί και ως δημιουργός αριθμών αναγνώρισης (ids) για τα βυτιοφόρα που εισαχθήκαν στις εγκαταστάσεις.

Επομένως, μέχρι να ολοκληρωθεί η προσομοίωση, δηλαδή για όσο χρονικό διάστημα υπάρχουν μάρκες στη θέση Car, η θέση Availability καθορίζει εάν θα ενεργοποιηθεί ή όχι η μετάβαση Arrival. Τι συμβαίνει όμως όταν ενεργοποιείται η μετάβαση ;

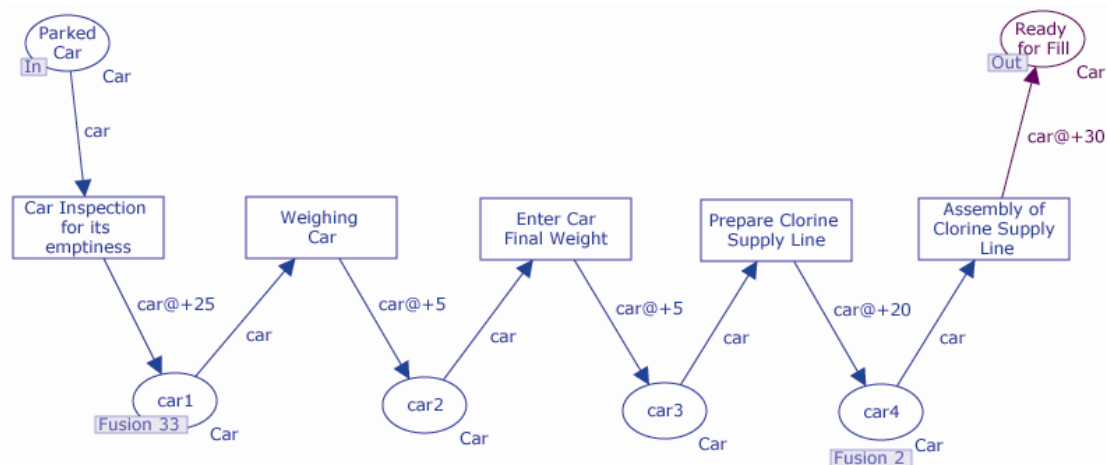
Με την ενεργοποίηση της Arrival οι θέσεις Car και Availability στέλνουν μία μάρκα έκαστη. Η Availability παύει να φέρει μάρκα πλέον και επομένως δεν δίνει τη δυνατότητα στη μετάβαση να πυροδοτηθεί μέχρι να ξαναποκτήσει μάρκα. Αυτό θα συμβεί όταν το βυτιοφόρο που μόλις εισήλθε στις εγκαταστάσεις ολοκληρώσει τη φόρτωση χλωρίου και απομακρυνθεί από το χώρο φόρτωσης. Η θέση Availability, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2, έχει ετικέτα Fusion που δηλώνει ότι η θέση αυτή είναι συγχωνευμένη με κάποια άλλη, η οποία βρίσκεται σε διαφορετική σελίδα του δικτύου και πιο συγκεκριμένα στην υποσελίδα *Departure*. Με την ενεργοποίηση της *Departure* λαμβάνει μάρκα η Availability δίνοντας έτσι τη δυνατότητα εξυπηρέτησης στο επόμενο φορτηγό.

Επιπλέον, η θέση Car θα διαθέτει μία μάρκα λιγότερη σε περίπτωση που περιείχε περισσότερες μάρκες από μία και η προσομοίωση συνεχίζεται κανονικά. Στην αντίθετη περίπτωση, η θέση Car θα αδειάσει από μάρκες και η προσομοίωση θα έχει ολοκληρωθεί αφού δεν θα υπάρχουν άλλα βυτιοφόρα προς φόρτωση. Αντίθετα, η θέση carID δεν αποχωρίζεται τη μάρκα της με την ενεργοποίηση της μετάβασης Arrival αλλά την επανακτά αυξημένη κατά ένα.

Στην έξοδο της Arrival δύο θέσεις αποκτούν μάρκες, οι Arrival Time και Tank Car. Η ενέργεια Arrival δεν περιέχεται στις ενέργειες της διαδικασίας φόρτωσης αλλά χρησιμοποιείται για λειτουργικούς σκοπούς της υλοποίησης του δικτύου και την αρχικοποίηση τιμών που θα μας χρειαστούν στη μελέτη των πειραμάτων. Επομένως, δεν πρέπει να αυξάνει τον χρόνο εξυπηρέτησης του βυτιοφόρου. Για το λόγο αυτό, η Tank Car, η οποία είναι τύπου Car, θα λάβει μία μάρκα car χωρίς χρονική καθυστέρηση και αύξηση του χρόνου του συστήματος.

Η θέση Arrival Time είναι τύπου Job και λαμβάνει μία μάρκα job, η οποία φέρει πληροφορία για το βυτιοφόρο και τη χρονική στιγμή έναρξης της εξυπηρέτησής του. Η ανάθεση τιμών στα πεδία της job γίνεται μέσω της κλήσης της συνάρτησης newArrival(carID) που περιέχεται στους ορισμούς του πίνακα 4.1. Το πεδίο carID της job παίρνει την τιμή της μεταβλητής carID που περιέχεται στη θέση carID. Το πεδίο AT παίρνει την τιμή της χρονικής στιγμής του συστήματος μέσω της κλήσης της συνάρτησης intTime(). Οι τιμές αυτές είναι μοναδικές και ξεχωριστές για κάθε βυτιοφόρο.

Στη συνέχεια το βυτιοφόρο περνάει στη φάση του παρκαρίσματος και του ελέγχου των εγγράφων. Η συγκεκριμένη φάση δεν αναλύεται σε περαιτέρω ενέργειες και βρίσκεται στο πρώτο επίπεδο της υλοποίησης του δικτύου, η οποία απεικονίζεται στο σχήμα 4.1. Παρότι δεν αναλύεται σε βασικές ενέργειες, η πραγματοποίηση της φάσης του παρκαρίσματος και του ελέγχου των εγγράφων απαιτεί κάποιο χρόνο, ο οποίος εκτιμάται ότι είναι δύο λεπτά. Με την ενεργοποίηση λοιπόν της μετάβασης *Car Parking and Paper Checking* μεταφέρεται η μάρκα car από τη θέση Tank Car στη θέση Parked Car αυξημένη κατά είκοσι χρονικές μονάδες.



Σχήμα 4.3: Προετοιμασίες για τη φόρτωση

4.4.2 Preparations for Fueling

Μετά το παρκάρισμα και τον έλεγχο των εγγράφων πρέπει να γίνουν οι προετοιμασίες για να ξεκινήσει η φόρτωση. Το όχημα βρίσκεται στη θέση Parked Car και είναι έτοιμο για τις απαραίτητες ρυθμίσεις. Η θέση αυτή αποτελεί και την είσοδο της *Preparations for Fueling*.

Αρχικά λοιπόν και σύμφωνα με την ιεραρχική ανάλυση του κεφαλαίου 3 το βυτίο ελέγχεται για το περιεχόμενο του και για να εξακριβωθεί ότι αυτό είναι άδειο. Για την πραγματοποίηση του ελέγχου αυτού χρειάζονται δύομισι λεπτά. Επομένως, όταν μεταβαίνει η μάρκα car από τη θέση Parked Car στη θέση car1 αυξάνεται ο χρόνος του συστήματος κατά 25 μονάδες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.3. Κατά την εκτέλεση του ελέγχου του βυτίου, καθώς και για όλες τις ενέργειες των προετοιμασιών, δεν θεωρούμε ότι μπορεί να συμβεί κάποιο σημαντικό σφάλμα που θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τη συνολική παραμονή του οχήματος στις εγκαταστάσεις.

Αφού ελεγχθεί το βυτίο για το περιεχόμενό του, το βυτιοφόρο πρέπει να ζυγιστεί. Με τη μετάβαση της μάρκας car από τη θέση car1 στη θέση car2 μέσω της Weighing Car λαμβάνει χώρα αυτή η ενέργεια. Η μετάβαση αυτή συνεπάγεται αύξηση του χρόνου του συστήματος κατά πέντε μονάδες, η οποία ισοδυναμεί με μισό λεπτό πραγματικού χρόνου. Ακολουθεί η εισαγωγή του επιθυμητού βάρους του βυτιοφόρου όταν θα έχει ολοκληρωθεί η φόρτωση. Η μάρκα car από τη θέση car2 πυροδοτεί την Enter Car Final Weight και οδηγείται στη θέση car3 αυξημένη κατά πέντε χρονικές μονάδες.

Μετά την ολοκλήρωση των ενεργειών αυτών πρέπει αρχικά να προετοιμαστεί και εν συνεχεία να συναρμολογηθεί η γραμμή τροφοδοσίας. Η προετοιμασία της γραμμής

χρειάζεται περίπου δύο λεπτά για να πραγματοποιηθεί ενώ η συναρμολόγησή της τρία. Οι αντίστοιχες μεταβάσεις Prepare Chlorine Supply Line και Assembly of Chlorine Supply Line αυξάνουν το χρόνο του συστήματος κατά 20 και 30 μονάδες με κάθε τους ενεργοποίηση.

Η μάρκα car περνάει από τη θέση Parked Car στη θέση Ready for Fill αυξάνοντας τον χρόνο του συστήματος κατά 85 μονάδες. Όταν η μάρκα car φτάσει στη θέση Ready for Fill έχουν ολοκληρωθεί οι ενέργειες των προετοιμασιών και το βυτιοφόρο είναι έτοιμο για τη λειτουργία της φόρτωσης.

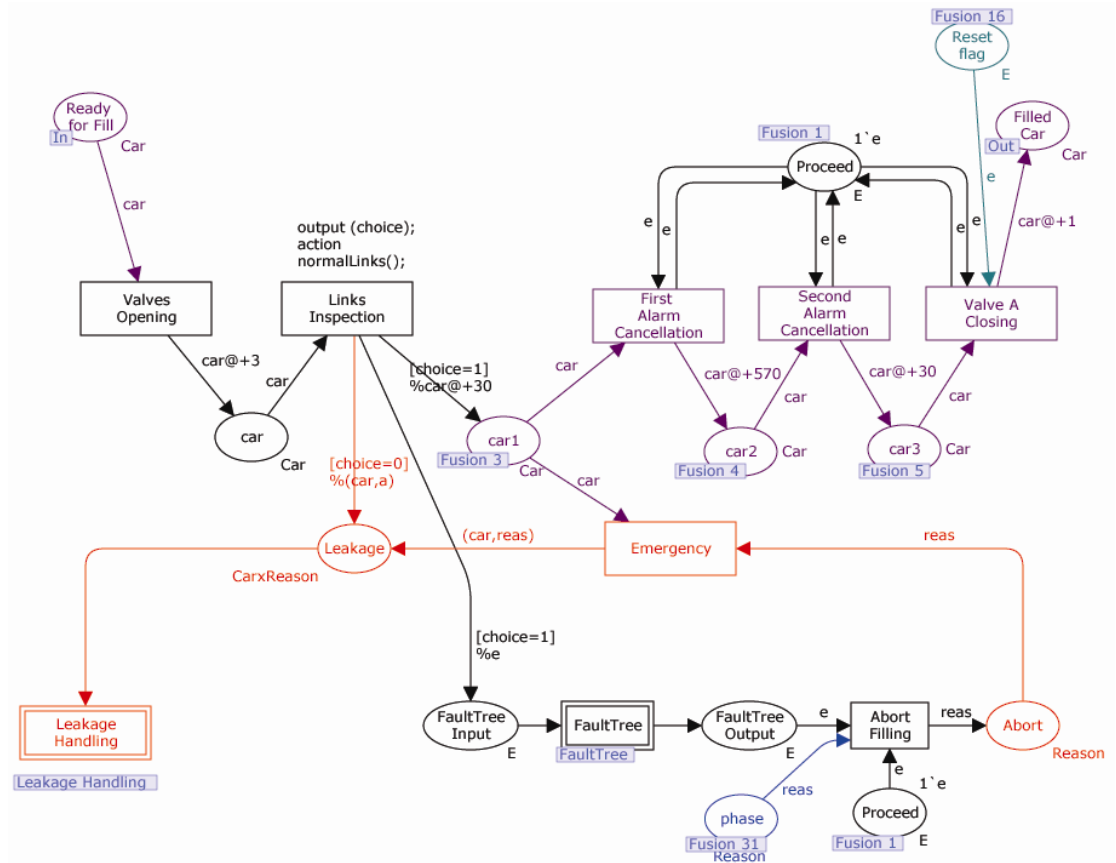
Αναφέραμε ότι στη λειτουργία των προετοιμασιών θεωρούμε πως δεν μπορεί να συμβεί κάποιο σημαντικό σφάλμα. Ωστόσο, μπορεί να μεταβεί ο έλεγχος της διαδικασίας και επομένως οι μάρκες στη συγκεκριμένη υποσελίδα ύστερα από κάποιο σφάλμα, παρόλο που μπορεί να βρίσκονται σε μεταγενέστερο στάδιο της διαδικασίας. Για το λόγο αυτό οι θέσεις car1 και car4 φέρουν την ετικέτα Fusion. Θα δούμε στη συνέχεια του κεφαλαίου σε ποιες περιπτώσεις μεταβαίνει η μάρκα car στις θέσεις αυτές.

4.4.3 Start Filling Procedure

Η θέση Ready for Fill αποτελεί την είσοδο της *Start Filling Procedure* και όταν η συγκεκριμένη θέση περιέχει μάρκα τότε η διαδικασία περνάει στη φάση της φόρτωσης. Η λειτουργία της φόρτωσης είναι η πιο επικίνδυνη με αρκετών ειδών σφάλματα να μπορούν να συμβούν σε διάφορες χρονικές στιγμές. Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται το δίκτυο Petri για τη λειτουργία της φόρτωσης.

Αρχικά, πριν ξεκινήσει το γέμισμα του βυτιοφόρου, πραγματοποιείται ένας έλεγχος στη γραμμή τροφοδοσίας και κυρίως στις συνδέσεις για τυχόν διαρροές. Εάν διαπιστωθεί νωρίς μία βλάβη, τότε οι συνέπειές της περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό. Ο έλεγχος αυτός μοντελοποιείται με τις δύο μεταβάσεις Valves Opening και Links Inspection στο δίκτυο του σχήματος 4.4. Το άνοιγμα των βαλβίδων διαρκεί λιγότερο από μισό λεπτό και η μετάβαση Valves Opening προσθέτει τρεις μονάδες στο χρόνο του συστήματος. Η επιθεώρηση της γραμμής διαρκεί τρία λεπτά και προσθέτει 30 χρονικές μονάδες στο σύστημα.

Η πυροδότηση της μετάβασης Links Inspection, μοντελοποιώντας τον έλεγχο της γραμμής, μπορεί να έχει διάφορες εξόδους. Εάν η επιθεώρηση της γραμμής γνωματεύσει διαρροή τότε η διαρροή θα πρέπει να αντιμετωπιστεί και η βλάβη να



Σχήμα 4.4: Φόρτωση βυτιοφόρου με χλώριο

διορθωθεί. Στην αντίθετη περίπτωση που όλα βαίνουν ομαλά, η διαδικασία φόρτωσης συνεχίζεται κανονικά. Η γνωμάτευση της επιθεώρησης προσομοιάζεται μέσω της κλήσης της συνάρτησης `normalLinks()`, η οποία ορίζεται στον πίνακα 4.1. Η πιθανότητα να μην έχει γίνει σωστά η συναρμολόγηση και να υπάρχει κάποιο πρόβλημα είναι 2%. Η συνάρτηση `normalLinks()` χρησιμοποιεί μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών με δεδομένη αυτή την πιθανότητα και επιστρέφει την τιμή 0 εάν υπάρχει διαρροή και 1 διαφορετικά. Στην περίπτωση που η `normalLinks()` επιστρέψει 0, η `Links Inspection` τροφοδοτεί με μάρκα μόνο τη θέση `Leakage` ενώ στην αντίθετη περίπτωση τροφοδοτεί με μάρκες τις θέσεις `car1` και `FaultTree Input`.

Η θέση `Leakage` είναι τύπου `CarxReason`, το οποίο είναι product του `Car` και του `Reason`. Το `Reason` χρησιμοποιείται σαν αναγνωριστικό της βλάβης. Εφόσον λοιπόν διαπιστωθεί διαρροή κατά την επιθεώρηση της γραμμής, η `Links Inspection` θα τροφοδοτήσει την `Leakage` με τη μάρκα `(car,a)`. Το `a` δηλώνει ότι η διαρροή συνέβη πριν ξεκινήσει η φόρτωση και διαπιστώθηκε στην επιθεώρηση της γραμμής. Η μάρκα στη θέση `Leakage` θα ενεργοποιήσει τη μετάβαση `LeakageHandling`, η οποία διαχειρίζεται τις διαρροές. Η `LeakageHandling` αποτελεί δίκτυο του τρίτου επιπέδου και θα την περιγράψουμε στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Η θέση car1 είναι τύπου car και η FaultTree Input τύπου E. Η θέση FaultTree Input λαμβάνει από τη μετάβαση Links Inspection μία μάρκα e και στη συνέχεια πυροδοτεί τη μετάβαση FaultTree. Η μετάβαση FaultTree περιγράφεται μαζί με την LeakageHandling στην ανάλυση του τρίτου επιπέδου του δικτύου. Από τη στιγμή που θα πυροδοτηθεί πάντως, εξετάζει σύμφωνα με τις πιθανότητες του σχήματος 3.8 αν προκύπτει κάποια βλάβη και συνεπώς διαρροή.

Παράλληλα, η θέση car1 λαμβάνει από την Links Inspection τη μάρκα car αυξημένη χρονικά κατά 30 μονάδες. Πέρα από τη φυσική σημασία της χρονικής αύξησης της μάρκας car που συνδέεται με τη διενέργεια της επιθεώρησης της γραμμής παροχής χλωρίου, η χρονική αύξηση της car έχει και επιπλέον λειτουργικότητα. Αυτή είναι ο σωστός χρονισμός του δικτύου. Με τη χρονική αύξηση της car κατά 30 μονάδες διασφαλίζουμε ότι η car δεν θα μεταβεί από τη θέση car1 σε επόμενη θέση προτού εξαχθεί αποτέλεσμα από τη FaultTree. Διαφορετικά, λόγω της τυχαιότητας εκτέλεσης των μεταβάσεων του εργαλείου CPNTools θα μπορούσε η μάρκα car να προχωρήσει σε επόμενες θέσεις ενώ από το FaultTree θα προέκυπτε ότι υπάρχει διαρροή. Κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε εσφαλμένη προσομοίωση και επομένως σε όχι έγκυρα αποτελέσματα.

Μετά την εκτέλεση της FaultTree προκύπτει εάν υπάρχει διαρροή χλωρίου ή όχι. Στην περίπτωση που υπάρχει διαρροή, θα πρέπει να διακοπεί η ομαλή λειτουργία της φόρτωσης για να αντιμετωπιστεί η διαρροή. Στο δίκτυο του σχήματος 4.4 θα τροφοδοτηθούν με μάρκες οι θέσεις FaultTree Output και phase, οι οποίες είναι τύπου E και Reason αντίστοιχα. Η μάρκα στη θέση FaultTree Output δηλώνει ότι το αποτέλεσμα της FaultTree είναι διαρροή ενώ η μάρκα στην phase φέρει πληροφορία σχετικά με τη διαρροή και σε ποια φάση της φόρτωσης συνέβη.

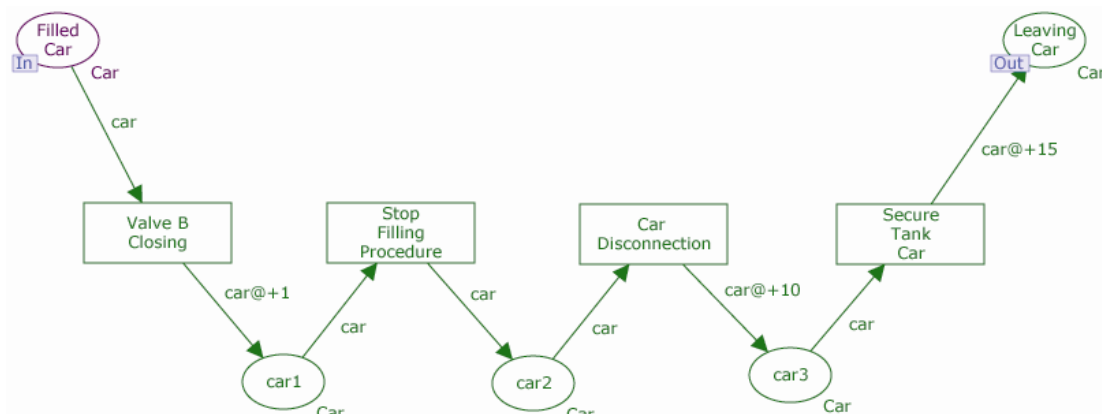
Οι μάρκες αυτές, μαζί με την e που περιέχεται στη θέση Proceed, πυροδοτούν τη μετάβαση Abort Filling. Μετά από αυτό το γεγονός σταματάει η φόρτωση του βυτιοφόρου και το προσωπικό μπαίνει σε κατάσταση αντιμετώπισης της ζημιάς. Με την ενεργοποίηση της Abort Filling, η θέση Proceed αποχωρίζεται τη μάρκα e. Η συγκεκριμένη θέση είναι συγχωνευμένη με τη θέση Proceed που ελέγχει τις μεταβάσεις First Alarm Cancellation, Second Alarm Cancellation και Valve A Closing. Παράλληλα, τροφοδοτείται με μάρκα η Abort που είναι τύπου Reason.

Η μάρκα της θέσης Abort θα ενεργοποιήσει τη μετάβαση Emergency και η car θα οδηγηθεί στη θέση Leakage. Επειδή η θέση Proceed δεν φέρει μάρκα, εξασφαλίζεται ότι η car θα οδηγηθεί στην Leakage όπως προβλέπει ο σχεδιασμός του δικτύου και

δεν θα συνεχίσει κανονικά τη διαδικασία φόρτωσης προκαλώντας εσφαλμένη προσομοίωση. Η Leakage περιέχει πλέον μία μάρκα (car,reas), όπου το reas διατηρεί πληροφορία για τη διαρροή. Στη συνέχεια πυροδοτείται η μετάβαση LeakageHandling.

Στην περίπτωση που δεν προκύψει βλάβη από την εκτέλεση της FaultTree, τότε η διαδικασία φόρτωσης θα συνεχιστεί κανονικά. Η FaultTree δεν θα παράγει έξοδο και δεν θα τροφοδοτήσει με μάρκα τη FaultTree Output. Αρχικά θα ενεργοποιηθεί η First Alarm Cancellation και η μάρκα car θα μεταβεί από τη θέση car1 στη θέση car2, αυξανόμενη χρονικά κατά 570 μονάδες. Η Proceed εξακολουθεί να διατηρεί τη μάρκα της μετά την πυροδότηση της First Alarm Cancellation. Στη συνέχεια ενεργοποιείται η μετάβαση Second Alarm Cancellation και η car προωθείται από την car2 στην car3. Τέλος, η car μεταβαίνει από την car3 στη θέση Filled Car μέσω της Valve A Closing, η οποία υποδηλώνει το κλείσιμο της βαλβίδας A. Η θέση Reset flag είναι μία βοηθητική θέση που η λειτουργικότητά της συνδέεται με την ομαλή προσομοίωση του δικτύου, χωρίς ιδιαίτερη φυσική σημασία για τη διαδικασία χλώριου.

Η μεταφορά της μάρκας car στη θέση Filled Car σηματοδοτεί την ολοκλήρωση της φόρτωσης του βυτιοφόρου με χλώριο. Η πιο επικίνδυνη φάση της διαδικασίας φόρτωσης, όσον αφορά τις διαρροές, έχει τελειώσει και απομένουν κάποιες εργασίες ασφάλισης του βυτιοφόρου για την αποδέσμευσή του. Η θέση Filled Car αποτελεί έξοδο της *Start Filling Procedure* και είσοδο για την *Completion of the Procedure*, όπου συνεχίζει η μάρκα car για να πραγματοποιηθούν οι ενέργειες ασφάλισης του βυτιοφόρου.



Σχήμα 4.5: Ολοκλήρωση της φόρτωσης και αποδέσμευση του βυτιοφόρου

4.4.4 Completion of the Procedure

Η ολοκλήρωση της πλήρωσης και η αποδέσμευση του βυτιοφόρου είναι η λειτουργία που ακολουθεί τη φόρτωση στην ιεραρχική ανάλυση που περιγράφεται στην παράγραφο 3.2. Αφού ολοκληρωθεί η φόρτωση, η μάρκα car μεταβαίνει στη θέση Filled Car και εισέρχεται στη φάση *Completion of the Procedure*. Οι ενέργειες της φάσης αυτής είναι αρκετά σημαντικές διότι ασφαλίζουν το βυτιοφόρο ώστε να πραγματοποιήσει τη μεταφορά του χλωρίου. Αν δεν γίνουν σωστά μπορεί να υπάρξει διαρροή χλωρίου στη διαδρομή του βυτιοφόρου, θέτοντας έτσι σε κίνδυνο τους κατοίκους των περιοχών από τις οποίες διέρχεται το όχημα.

Ωστόσο, παρά τη σημαντικότητά της η *Completion of the Procedure* δεν περιλαμβάνει ιδιαίτερα επικίνδυνες εργασίες. Επίσης, τα όποια σφάλματα και οι όποιες βλάβες δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα την όλη διαδικασία αφού μπορούν να αντιμετωπιστούν σχετικά εύκολα και μακριά από το χώρο φόρτωσης. Αν για παράδειγμα παρουσιαστεί ένα πρόβλημα με την ασφάλιση του θόλου, μπορεί να επιλυθεί σε κάποιο χώρο ασφαλείας μακριά από το χώρο φόρτωσης χωρίς σοβαρές συνέπειες. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η καθυστέρηση των βυτιοφόρων που αναμένουν να εξυπηρετηθούν. Για τους λόγους που μόλις αναφέραμε δεν συμπεριλήφθηκαν περιπτώσεις σφαλμάτων και αντιμετώπισης αυτών στο δίκτυο της *Completion of the Procedure*, το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 4.5 .

Η πρώτη ενέργεια που πραγματοποιείται μόλις η μάρκα car επισκεφθεί τη θέση Filled Car είναι το κλείσιμο της βαλβίδας B του σχήματος 3.1. Η car μεταφέρεται από την Filled Car στην car1 μέσω της Valve B Closing και αυξάνεται κατά μία χρονική μονάδα. Στη συνέχεια εκτελούνται και οι υπόλοιπες εργασίες του σταματήματος της λειτουργίας πλήρωσης. Αυτές είναι ο καθαρισμός των γραμμών ανεφοδιασμού και το κλείσιμο των βαλβίδων του βυτιοφόρου που μοντελοποιούνται με τη μετάβαση Stop Filling Procedure. Η car περνάει από τη θέση car1 στη θέση car2 μέσω της Stop Filling Procedure και αυξάνεται κατά 10 χρονικές μονάδες.

Το επόμενο βήμα είναι η αποσύνδεση του βυτιοφόρου. Η μάρκα car βρίσκεται στη θέση car2 και πυροδοτεί τη μετάβαση Car Disconnection, ενώ στη συνέχεια οδηγείται στη θέση car3. Η μετάβαση αυτή αυξάνει το χρόνο του συστήματος κατά 20 μονάδες. Τελευταία πράξη πριν επιτραπεί στο βυτιοφόρο να αναχωρήσει αποτελεί η ασφάλισή του. Η car βρίσκεται στη θέση car3, ενεργοποιεί τη Secure Tank Car και οδηγείται στη θέση Leaving Car αυξημένη κατά 15 χρονικές μονάδες. Η θέση Leaving Car αποτελεί την έξοδο της *Completion of the Procedure* και πλέον το

βυτιοφόρο είναι έτοιμο να αναχωρήσει. Η μάρκα car εισέρχεται στη φάση *Departure* για κάποιες τελευταίες ρυθμίσεις καθώς και για την τεκμηρίωση των εγγράφων.

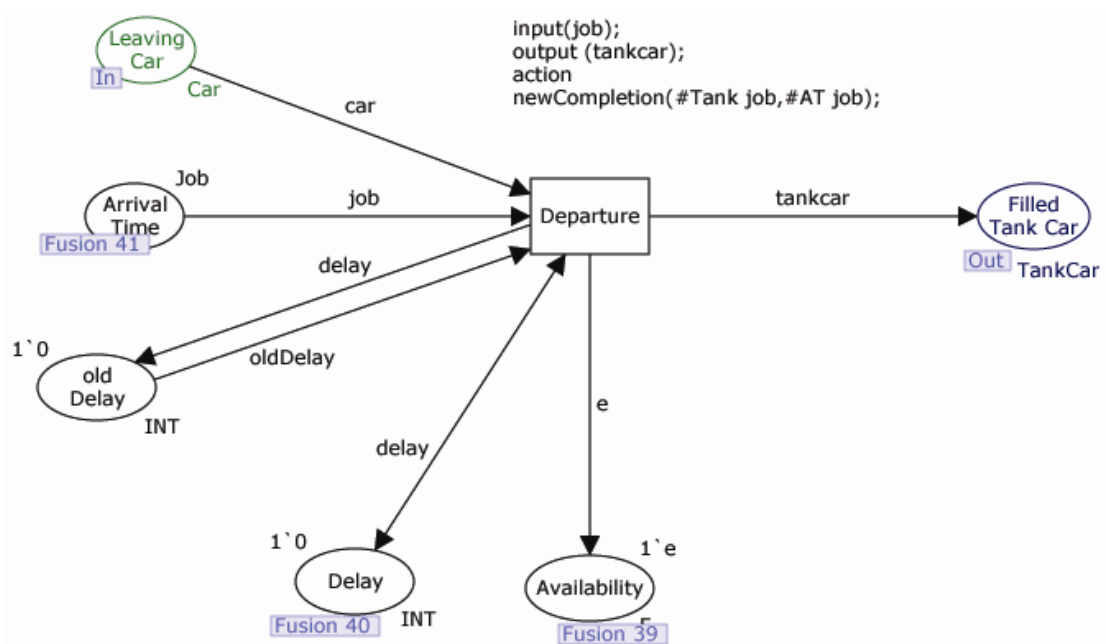
4.4.5 Departure

Η υποσελίδα *Departure* είναι η τελευταία χρονικά εκτελούμενη λειτουργία του δικτύου Petri για τη διαδικασία φόρτωσης χλωρίου. Η *Departure* στο σχήμα 4.6 είναι η τελευταία μετάβαση που περνάει η μάρκα car καταλήγοντας στη θέση *Filled Tank Car*, όπου και ολοκληρώνεται η διαδικασία φόρτωσης και το βυτιοφόρο αναχωρεί από τις εγκαταστάσεις.

Η μετάβαση *Departure* έχει τέσσερις εισόδους που προέρχονται από τις θέσεις *Leaving Car*, *Arrival Time*, *old Delay* και *Delay*. Η θέση *Leaving Car* είναι η έξοδος της *Completion of the Procedure* και η *Arrival Time* είναι συγχωνευμένη με τη θέση *Arrival Time* του σχήματος 4.2. Η έλευση της μάρκας car στη θέση *Leaving Car* υποδηλώνει την απελευθέρωση του χώρου φόρτωσης και ότι το βυτιοφόρο είναι έτοιμο για αναχώρηση. Η *Arrival Time* φέρει τις απαραίτητες πληροφορίες για το συγκεκριμένο βυτιοφόρο.

Οι θέσεις *Delay* και *old Delay* είναι τύπου *Int* και περιέχουν πληροφορία σχετικά με την καθυστέρηση στην πλήρωση του συγκεκριμένου βυτιοφόρου καθώς και των οχημάτων που προηγήθηκαν αυτού. Οι συγκεκριμένες θέσεις δεν έχουν κάποια φυσική σημασία όσον αφορά τη διαδικασία της φόρτωσης αλλά διατηρούν σημαντική πληροφορία για τη μελέτη των πειραμάτων. Στην ανάλυση του τρίτου επιπέδου παρουσιάζεται η ανάθεση τιμών των συγκεκριμένων θέσεων.

Με την πυροδότηση της *Departure* οι *Leaving Car* και *Arrival Time* αποχωρίζονται τις μάρκες τους, η *old Delay* ενημερώνεται λαμβάνοντας την τιμή της μάρκας της *Delay*, η *Delay* διατηρεί τη μάρκα της και δέχονται από μία μάρκα οι θέσεις *Availability* και *Filled Tank Car*. Ανακτώντας τη μάρκα *e*, η *Availability* επιτρέπει σε ένα νέο βυτιοφόρο να εισέλθει στο χώρο των εγκαταστάσεων για φόρτωση χλωρίου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.6: Αναχώρηση βυτιοφόρου

Η θέση Filled Tank Car είναι τύπου TankCar και λαμβάνει μία μάρκα με τρία πεδία, τα TankC, ATc και FTc. Η ανάθεση των τιμών των πεδίων αυτών γίνεται με κλήση της συνάρτησης newCompletion, η οποία βρίσκεται στον πίνακα 2.1. Τα TankC και ATc θα πάρουν τις τιμές των αντίστοιχων πεδίων, Tank και AT, που διατηρούνται στην job της Arrival Time. Οι τιμές των πεδίων Tank και AT περνάνε ως ορίσματα στη συνάρτηση newCompletion. Τέλος, με κλήση της συνάρτησης IntTime() το FTc θα λάβει την τιμή της χρονικής στιγμής του συστήματος που ολοκληρώθηκε η διαδικασία και αναχώρησε το βυτιοφόρο.

Κάθε βυτιοφόρο που ολοκληρώνει τη φόρτωση χλωρίου και αναχωρεί από τις εγκαταστάσεις διατηρείται ως μάρκα στη θέση Filled Tank Car, έχοντας μοναδικές χαρακτηριστικές τιμές στα πεδία TankC, ATc και FTc. Ταυτόχρονα, η αναχώρηση ενός βυτιοφόρου συνεπάγεται την έναρξη της πλήρωσης ενός νέου βυτιοφόρου.

4.5 Ανάλυση τρίτου επιπέδου διαδικασίας φόρτωσης

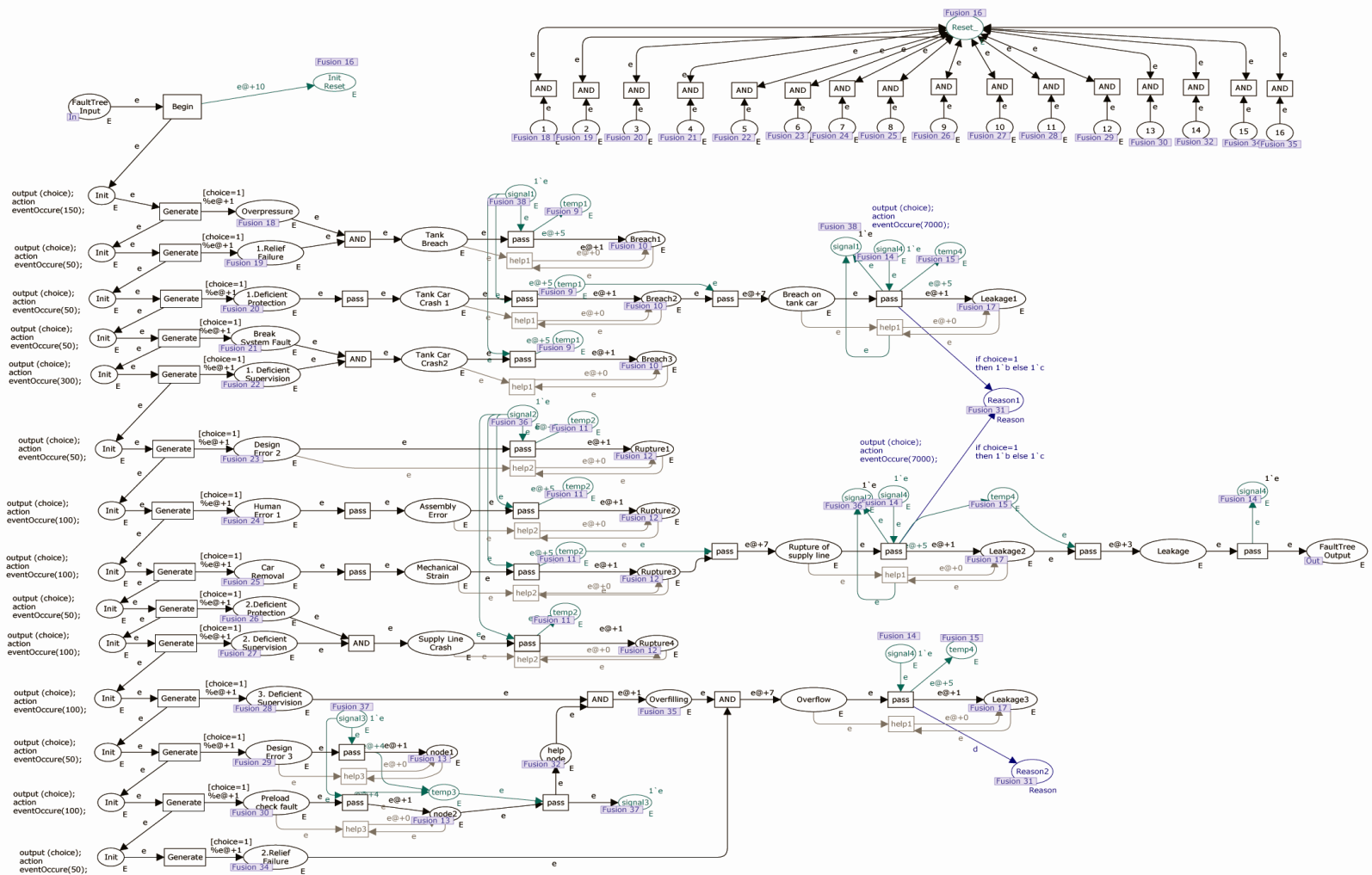
Στο τρίτο επίπεδο της υλοποίησης του δικτύου Petri περιέχονται οι υποσελίδες *LeakageHandling* και *FaultTree*. Οι λειτουργίες αυτές χρησιμοποιούνται στην *Start Filling Procedure*. Η *FaultTree* ενεργοποιείται κάθε φορά που μία μάρκα *car* μπαίνει στη φάση της φόρτωσης, για να διαπιστωθεί εάν θα παρουσιαστεί διαρροή ή η φόρτωση θα ολοκληρωθεί δίχως σφάλματα. Στην περίπτωση που παρουσιαστεί διαρροή, τότε ο έλεγχος μεταβαίνει στην *LeakageHandling* για να αντιμετωπιστεί.

4.5.1 FaultTree

Η υποσελίδα *FaultTree*, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 4.7, μοντελοποιεί το δέντρο αστοχιών του σχήματος 3.8 σε δίκτυο Petri. Κάθε φορά που ενεργοποιείται η μετάβαση *FaultTree* παράγεται ένα αποτέλεσμα στην έξοδο της σύμφωνα με τις πιθανότητες του δέντρου αστοχιών. Αναλόγως το περιεχόμενο της θέσης *FaultTree Output* προκύπτει εάν υπάρχει διαρροή ή όχι.

Η έναρξη της λειτουργίας της *FaultTree* πραγματοποιείται με την έλευση μίας μάρκας *e* στη θέση *FaultTree Input*. Η μάρκα αυτή στη συνέχεια πυροδοτεί τη μετάβαση *Begin*, η οποία παράγει δύο εξόδους. Στέλνει μία μάρκα *e* χωρίς χρονική αύξηση στη θέση *Init* και μία δεύτερη μάρκα *e* στην *Init Reset* με χρονική καθυστέρηση 10 μονάδων. Η *Init Reset* είναι μία θέση που χρησιμοποιείται για τη διασφάλιση της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων. Η συγκεκριμένη θέση είναι συγχωνευμένη με τη θέση *Reset_* του ίδιου δικτύου και με τη θέση *Reset flag* του σχήματος 4.4.

Για να βγάλει μία πύλη AND στην έξοδο της την τιμή *true*, θα πρέπει όλες οι είσοδοι της να είναι *true*. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση του δέντρου αστοχιών με τις μεταβάσεις που λειτουργούν ως πύλες AND. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε ωστόσο είναι πως οι θέσεις διατηρούν τις μάρκες τους. Αν για παράδειγμα πρέπει να συμβούν δύο γεγονότα για να προκύψει βλάβη, όπως να υπάρχει βλάβη στο σύστημα πέδησης και ταυτόχρονα να μην υπάρχει επαρκής επίβλεψη, και στο ένα βυτιοφόρο παρουσιαστεί βλάβη στο σύστημα πέδησης ενώ στο άλλο διαπιστώθηκε ανεπαρκής επίβλεψη, τότε σε κανένα βυτιοφόρο δεν θα πρέπει να υπάρξει διαρροή. Ωστόσο, αν δεν ενημερωθούν τα περιεχόμενα των θέσεων τότε θα προκύψει βλάβη και διαρροή στην προσομοίωση του δεύτερου βυτιοφόρου, κάτι που οδηγεί σε λανθασμένα αποτελέσματα. Με τη χρήση της *Init Reset* αποφεύγεται τέτοιου είδους δυσλειτουργία.



Σχήμα 4.7: Δίκτυο δέντρου αστοχιών διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου

Η θέση Init πυροδοτεί τη μετάβαση Generate, η οποία στη συνέχεια τροφοδοτεί με μάρκα μία νέα θέση Init. Επιπλέον, η Generate καλεί τη συνάρτηση eventOccure(probabb) που περιγράφεται στον πίνακα 4.1 με όρισμα 150. Εάν η συνάρτηση eventOccure επιστρέψει την τιμή 1, τότε η Generate στέλνει μία μάρκα e αυξημένη κατά μία χρονική μονάδα στην Overpressure. Στην αντίθετη περίπτωση η Overpressure δεν λαμβάνει κάποια μάρκα. Η κλήση της συνάρτησης eventOccure με όρισμα 150 ισοδυναμεί με εξέταση του ενδεχομένου Overpressure, δηλαδή υπερπίεσης, με πιθανότητα $15 \cdot 10^{-3}$. Η πιθανότητα αυτή είναι ίση με το άθροισμα των πιθανοτήτων των ενδεχομένων της υπερπλήρωσης, της υπερθέρμανσης και της υπερσυμπίεσης $[(5+5+5) \cdot 10^{-3}]$ του δέντρου αστοχιών.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για όλα τα βασικά γεγονότα του σχήματος 3.8. Όταν εξεταστεί και το τελευταίο ενδεχόμενο της Αστοχίας Ανακούφισης τότε ο έλεγχος προχωράει στο επόμενο στάδιο. Οι μάρκες των γεγονότων είναι συγχρονισμένες ώστε να εξετάζονται παράλληλα, χωρίς να προπορεύεται κάποια από αυτές. Σε αυτό το στάδιο της FaultTree μοντελοποιούνται οι πύλες AND και OR του δέντρου αστοχιών, καθώς και οι απλές συνδέσεις των γεγονότων δύο επιπέδων. Οι απλές συνδέσεις μοντελοποιούνται με μία μετάβαση pass ενώ οι πύλες AND ως απλές μεταβάσεις με την ονομασία AND, οι οποίες έχουν ως εισόδους τις εισόδους της πύλης AND του δέντρου αστοχιών. Η μοντελοποίηση της πύλης OR είναι πιο πολύπλοκη. Ο περιορισμός, στον οποίο πρέπει να υπακούει η μοντελοποίηση μας και ο οποίος αυξάνει την πολυπλοκότητά της, είναι ότι η έξοδος της πύλης OR πρέπει να φέρει μία μάρκα όταν η συνθήκη είναι αληθής, ασχέτως από τον αριθμό των εισόδων που έφεραν μάρκα. Αν για παράδειγμα έχουμε τρεις εισόδους που φέρουν μάρκα σε μία πύλη OR μοντελοποιημένη σε δίκτυο Petri, τότε η έξοδος της OR θα πρέπει να αποκτήσει μία μάρκα και όχι τρεις, όπως θα συνέβαινε στην κλασική μοντελοποίηση της πύλης OR σε Petri. Η κλασική μοντελοποίηση της πύλης OR σε δίκτυα Petri είναι ένας σχηματισμός όπου κάθε θέση-είσοδος της πύλης ακολουθείται από μία μετάβαση που καταλήγει σε μία θέση, κοινή για όλες τις μεταβάσεις των εισόδων. Η θέση αυτή αποτελεί την έξοδο της πύλης.

Στο δίκτυο Petri του FaultTree η πύλη OR μοντελοποιείται διαφορετικά. Ας πάρουμε για παράδειγμα την περίπτωση της OR με εισόδους την Αστοχία Υλικού και τον Λανθασμένο Έλεγχο πριν τη Φόρτωση στο δέντρο αστοχιών. Επιλέξαμε τη συγκεκριμένη πύλη επειδή έχει τις λιγότερες εισόδους. Οι θέσεις Design Error 3 και Preload check fault αντιστοιχούν στα παραπάνω βασικά γεγονότα. Κάθε θέση

συνδέεται με δύο μεταβάσεις, μία pass και μία help. Οι δύο μεταβάσεις οδηγούν στην ίδια θέση, τη θέση node. Για λόγους ευμορφίας του δικτύου του σχήματος 4.7 οι έξοδοι των μεταβάσεων είναι ξεχωριστές αλλά συγχωνευμένες μεταξύ τους.

Οι μεταβάσεις pass έχουν επιπλέον είσοδο τη θέση signal3 και επιπλέον έξοδο την temp3. Οι μεταβάσεις help έχουν επιπλέον είσοδο τη θέση node ενώ δεν έχουν επιπλέον έξοδο. Για να εξετάσουμε τη λειτουργία αυτής της διάταξης θα πάρουμε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση θα φέρει μάρκα μόνο η Design Error 3 ενώ στη δεύτερη περίπτωση θα φέρουν μάρκες και οι δύο θέσεις.

Έστω λοιπόν ότι η θέση Design Error 3 φέρει μία μάρκα e και η Preload check fault δεν φέρει κάποια μάρκα. Η signal3 είναι αρχικοποιημένη να έχει μάρκα όπως φαίνεται και στο σχήμα. Αρχικά λοιπόν θα λειτουργήσει η μετάβαση pass που ακολουθεί την Design Error 3 μεταδίδοντας μία μάρκα e αυξημένη κατά μία χρονική μονάδα στη θέση node1. Εκτός από τη μάρκα στη θέση node1, η pass θα στείλει και μία μάρκα e αυξημένη κατά τέσσερις χρονικές μονάδες στη θέση temp3. Οι temp3 και node1 αποτελούν εισόδους στην επόμενη μετάβαση pass. Εφόσον δεν υπάρχει κάποια άλλη μετάβαση που να ενεργοποιείται σε αυτό το χρονικό σημείο, ο χρόνος του συστήματος προχωράει κατά τέσσερις μονάδες επιτρέποντας έτσι την εκτέλεση της μετάβασης με εισόδους τις node1 και temp3. Η pass με εισόδους τις node1 και temp3 στέλνει μία μάρκα στην help node και μία μάρκα στην signal3, η οποία είχε αποχωριστεί τη μάρκα της με την ενεργοποίηση της προηγούμενης μετάβασης pass. Με αυτό τον τρόπο επαναφέρονται οι θέσεις ελέγχου, όπως είναι η signal3, στην αρχική τους κατάσταση εξασφαλίζοντας έτσι την ομαλή διεξαγωγή του πειράματος για όλα τα οχήματα. Το αποτέλεσμα στη θέση node που είναι η έξοδος της πύλης OR είναι μία μάρκα e.

Στην περίπτωση που φέρουν μάρκες και οι δύο θέσεις, Design Error 3 και Preload check fault, θα λειτουργήσει αρχικά η μετάβαση pass για μία από τις δύο θέσεις τυχαία. Ας υποθέσουμε ότι αυτό συμβαίνει για την pass που ακολουθεί την Design Error 3. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η pass θα μεταδώσει μία μάρκα στη θέση node1 και μία μάρκα e αυξημένη κατά τέσσερις χρονικές μονάδες στη θέση temp3. Η temp διασφαλίζει ότι θα εξεταστούν όλες οι εισόδους της OR πριν πυροδοτήσει την επόμενη μετάβαση. Η Preload check fault δεν μπορεί να πυροδοτήσει την pass αφού η signal3 δεν διαθέτει μάρκα. Επομένως, θα πυροδοτήσει αναγκαστικά την help, στην οποία είναι είσοδος η node που φέρει μάρκα από την ενεργοποίηση της pass. Με την ενεργοποίηση της help θα χάσει τη μάρκα της η

Preload check fault και θα διατηρήσει τη μάρκα της η node. Στη συνέχεια επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση η θέση signal3 όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Μετά το τέλος της εκτέλεσης της πύλης OR, το αποτέλεσμα στην έξοδο της είναι μία μάρκα e. Το αποτέλεσμα αυτό ικανοποιεί τον περιορισμό της μοντελοποίησής μας. Κατά αυτό τον τρόπο υλοποιούνται όλες οι πύλες OR ασχέτως από τον αριθμό εισόδων που έχουν.

Αφού ολοκληρωθεί η εξέταση των δευτερευόντων γεγονότων και πριν περάσει ο έλεγχος στα πρωτεύοντα γεγονότα της ρήξης του δοχείου, της ρήξης της γραμμής και της υπερχειλίσσης, διενεργείται η εκκαθάριση των περιεχομένων των θέσεων που προηγούνται πυλών AND. Η τελευταία πύλη AND βρίσκεται πριν από τα πρωτεύοντα γεγονότα και επομένως η διαγραφή δεδομένων που υπάρχουν σε προηγούμενη φάση δεν πρόκειται να επηρεάσουν τα αποτελέσματα του δέντρου. Η εκκαθάριση των μαρκών πραγματοποιείται στο δίκτυο που βρίσκεται πάνω από το δίκτυο του δέντρου αστοχιών. Η θέση Reset_ διατηρεί τη μάρκα της ενώ όσες θέσεις προηγούνται πυλών AND και περιέχουν μάρκες, τις χάνουν μέσω των μεταβάσεων του συγκεκριμένου δικτύου. Η θέση Reset_ θα εγκαταλείψει και αυτή τη μάρκα της σε μεταγενέστερο στάδιο της προσομοίωσης, όταν η μάρκα car πυροδοτήσει τη μετάβαση Valve A Closing του δικτύου της *Start Filling Procedure*.

Μόλις ολοκληρωθεί η εκκαθάριση των περιεχομένων προηγούμενων φάσεων του δέντρου, ο έλεγχος μεταβαίνει στην εκτέλεση της πύλης OR που εισέρχονται τα πρωτεύοντα γεγονότα. Όποιο από τα γεγονότα Breach on Tank Car, Rupture of supply line και Overflow φέρει μάρκα, θα τροφοδοτήσει με μάρκα την θέση Leakage που συνεπάγεται διαρροή και θα ενημερώσει την θέση Reason. Εάν συμβεί υπερχειλίση, τότε αυτό το γεγονός θα έχει λάβει χώρα μετά το στάδιο του δεύτερου συναγερμού στη φάση της φόρτωσης. Στην περίπτωση υπερχειλίσσης λοιπόν, η θέση Reason λαμβάνει μία μάρκα d που δηλώνει ότι η διαρροή οφείλεται σε υπερχειλίση και συνέβη μετά τον δεύτερο συναγερμό.

Τα γεγονότα Breach on Tank Car και Rupture of supply line θεωρούμε ότι μπορούν να συμβούν κατά τη διάρκεια της φόρτωσης χλωρίου, δηλαδή στο χρονικό διάστημα πριν από την ακύρωση του πρώτου συναγερμού μέχρι την ακύρωση του δεύτερου συναγερμού. Στη μοντελοποίησή μας, οι πιθανότητες να συμβούν πριν την ακύρωση του πρώτου συναγερμού είναι 70% και μετά την ακύρωσή του 30%. Όταν ενεργοποιούνται οι μεταβάσεις pass από αυτά τα δύο γεγονότα, καλούν τη συνάρτηση eventOccure με όρισμα 7000 και αναλόγως το αποτέλεσμα αποστέλλουν στη Reason

τη μάρκα b ή c. Η b σημαίνει ότι το γεγονός έλαβε χώρα στην πρώτη φάση της φόρτωσης ενώ η c στη δεύτερη. Επειδή τα δύο γεγονότα αντιμετωπίζονται περίπου με τον ίδιο τρόπο, δεν έχει μεγάλη σημασία για τη μοντελοποίησή μας ποιο από τα δύο συνέβη και για το λόγο αυτό δεν προσθέσαμε την αντίστοιχη πληροφορία στην κωδικοποίηση της βλάβης.

Στην περίπτωση που φέρουν μάρκες περισσότερα από δύο γεγονότα, για παράδειγμα οι θέσεις Overflow και Breach on Tank Car, θα διατηρηθεί πληροφορία μόνο για ένα. Το γεγονός που θα πυροδοτήσει πρώτο τη μετάβαση pass, κάτι το οποίο συμβαίνει τυχαία αφού όλες οι μάρκες είναι συγχρονισμένες, θα είναι αυτό που θα αντιμετωπιστεί στη συνέχεια ενώ τα υπόλοιπα θα αποχωριστούν τις μάρκες τους μέσω της OR.

Στο τέλος της εκτέλεσης του FaultTree ενδέχεται η θέση FaultTree Output να φέρει τη μάρκα e. Σε αυτή την περίπτωση έχει συμβεί διαρροή κατά τη φόρτωση του βυτιοφόρου και η θέση Reason φέρει πληροφορία σχετικά με το είδος βλάβης που προέκυψε. Οι θέσεις αυτές θα πυροδοτήσουν τη μετάβαση Abort Filling στο δίκτυο της *Start Filling Procedure* διακόπτοντας την πλήρωση του βυτιοφόρου και ενεργοποιώντας την *LeakageHandling*. Στην αντίθετη περίπτωση που η FaultTree Output δεν φέρει μάρκα, η οποία είναι και η πιο πιθανή περίπτωση, η διαδικασία φόρτωσης συνεχίζεται κανονικά και ολοκληρώνεται δίχως βλάβες.

4.5.2 LeakageHandling

Κάθε φορά που διαπιστώνεται μία διαρροή, η διαδικασία φόρτωσης σταματάει, ο χώρος των εγκαταστάσεων τίθεται σε κατάσταση κινδύνου και η διαρροή οφείλει να αντιμετωπιστεί άμεσα. Η αντιμετώπιση αυτή γίνεται στην υποσελίδα *LeakageHandling* του δικτύου Petri της παρούσης εργασίας, σύμφωνα με τις οδηγίες που περιγράφονται στην παράγραφο 2.6.

Στην περίπτωση κάποιας διαρροής, η θέση που ενεργοποιεί τη μετάβαση LeakageHandling και την αντίστοιχη υποσελίδα είναι τύπου CarxReason, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4 της *Start Filling Procedure*. Η δομή CarxReason περιέχει τη μάρκα car που μεταφέρει τον έλεγχο στη συγκεκριμένη υποσελίδα καθώς και πληροφορία για το είδος της διαρροής και σε ποια φάση της φόρτωσης συνέβη.

Με την πυροδότηση της μετάβασης LeakageHandling του σχήματος 4.8 γίνεται ο έλεγχος για να διαπιστωθεί εάν η διαρροή είναι τύπου a και έχει συμβεί πριν ξεκινήσει η φόρτωση ή είναι διαφορετικού τύπου και έχει συμβεί κατά τη διάρκεια της φόρτωσης. Η διαρροή που ανιχνεύεται πριν την έναρξη της πλήρωσης έχει μικρότερο βαθμό επικινδυνότητας και επέκτασης της μόλυνσης σε σχέση με αυτή που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της πλήρωσης και επομένως διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης στο δίκτυο της *LeakageHandling*.

Εφόσον η διαρροή είναι τύπου a, τότε η μάρκα a οδηγείται στην θέση Small Leakage. Στη συνέχεια πραγματοποιείται το κλείσιμο των βαλβίδων και γίνεται εντοπισμός της διαρροής με τη χρήση διαλύματος αμμωνίας, ενέργειες που μοντελοποιούνται με τις μεταβάσεις Closing Valves και Leakage Detection αντίστοιχα. Μετά τον εντοπισμό της διαρροής και επειδή το μέγεθος της μόλυνσης είναι αρκετά μικρό ώστε να μην θέτει σε κίνδυνο την υγεία του προσωπικού, οι εργασίες επιδιόρθωσης της βλάβης και εξουδετέρωσης του χλωρίου γίνονται παράλληλα.

Στο μηχανικό μέρος γίνεται αντικατάσταση του ελαττωματικού εξοπλισμού που μπορεί να είναι είτε βαλβίδα είτε σωλήνας. Αν το ελαττωματικό εξάρτημα είναι σωλήνας, τότε αυτός μεταφέρεται σε εξωτερικό χώρο. Ταυτόχρονα επιτελείται η εξουδετέρωση του χλωρίου με καυστική ή ανθρακική σόδα. Μόλις ολοκληρωθούν αυτές οι εργασίες γίνεται επαναφορά του ελέγχου στη διαδικασία φόρτωσης. Η θέση Resume Filling είναι συγχωνευμένη με την θέση car4 του δικτύου Preparations for fueling του σχήματος 4.3, από όπου θα συνεχιστεί η διαδικασία φόρτωσης μετά την επιδιόρθωση της βλάβης. Η καθυστέρηση που θα υποστεί το βυτιοφόρο εξαιτίας της διαρροής αυτής είναι 63 χρονικές μονάδες.

Στην περίπτωση που η διαρροή δεν είναι τύπου a και έχει συμβεί κατά τη φόρτωση του βυτιοφόρου, τότε η μετάβαση LeakageHandling τροφοδοτεί την θέση Large Leakage με μία μάρκα που περιέχει τον τύπο της διαρροής. Η πληροφορία για τον τύπο της διαρροής μεταφέρεται με τη μεταβλητή reas. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αρχικά η ίδια με τη διαρροή τύπου a, όπου εκτελούνται οι ενέργειες του κλεισίματος των βαλβίδων και του εντοπισμού της διαρροής. Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια περιορισμού της εξάπλωσης του χλωρίου που προσομοιάζεται με τη μετάβαση Bund. Αν διαπιστωθεί ότι η διαρροή είναι πολύ μεγάλη και είναι αδύνατον να αντιμετωπιστεί τότε πρέπει να ειδοποιηθούν οι αρμόδιες αρχές. Διαφορετικά η κατάσταση αντιμετωπίζεται από το προσωπικό.

Η μετάβαση Bund καλεί τη συνάρτηση `eventOccure` με όρισμα 9950, θέτοντας έτσι τις πιθανότητες 99,5% και 0,5% για τα ενδεχόμενα “να είναι αντιμετωπίσιμη η βλάβη” και “ανάγκη εγκατάλειψης των εγκαταστάσεων” αντίστοιχα. Εάν η κατάσταση δεν είναι αντιμετωπίσιμη και τίθεται θέμα εγκατάλειψης των εγκαταστάσεων τότε η Bund τροφοδοτεί με μάρκα την θέση `Unable to handle`. Στη συνέχεια γίνεται ειδοποίηση των τοπικών αρχών και εκκένωση των εγκαταστάσεων. Η επαναφορά της διαδικασίας φόρτωσης γίνεται στη θέση `car1` του σχήματος 4.3, θέση με την οποία είναι συγχωνευμένη η `car` της *LeakageHandling*, προσθέτοντας όμως και μία καθυστέρηση των 15045 χρονικών μονάδων στο συγκεκριμένο βυτιοφόρο. Επίσης, τροφοδοτείται με μάρκα και η `Proceed signal_`, η οποία είναι συγχωνευμένη με την `Proceed` του σχήματος 4.4, για να τεθεί η συγκεκριμένη θέση στην αρχικοποιημένη της κατάσταση.

Στην περίπτωση που η διαρροή είναι αντιμετωπίσιμη από το προσωπικό, η μάρκα μεταφέρεται στην θέση `Bounded Chlorine` και κατόπιν διέρχεται από τις μεταβάσεις `Protein foam wrapping` και `Chlorine Decontamination`. Στην `Chlorine Decontamination` γίνεται ο έλεγχος για τον τύπο της διαρροής. Αν η διαρροή είναι τύπου `d` και οφείλεται σε υπερχειλίση, τροφοδοτείται με μάρκα η θέση `Resume (Overfilling)` που είναι συγχωνευμένη με την `car3` του σχήματος 4.4. Επίσης, καλείται η συνάρτηση `getDelay` με όρισμα 1, η οποία ορίζεται στον πίνακα 2.1, για να τεθεί μία τυχαία τιμή από το σύνολο `[1,300]` στη μεταβλητή `gdel` που δηλώνει την καθυστέρηση του βυτιοφόρου. Παράλληλα, μεταδίδεται μάρκα στην θέση `Proceed signal` για την επαναφορά της θέσης `Proceed` στην αρχική της κατάσταση και ενημερώνεται η θέση `Delay` που φέρει την τιμή της καθυστέρησης των βυτιοφόρων.

Αν η διαρροή είναι τύπου `b` ή `c` και δεν οφείλεται σε υπερχειλίση, τότε οφείλεται σε κάποια βλάβη του εξοπλισμού τροφοδοσίας χλωρίου και θα πρέπει να διορθωθεί. Στη μετάβαση `Equipment Replacement` γίνεται κλήση της συνάρτησης `getDelay` με όρισμα 4 για να επιλεγεί μία τιμή από το σύνολο `[1,1200]` που θα αποτελέσει την καθυστέρηση του βυτιοφόρου. Επιπλέον, ενημερώνεται η θέση `Delay` ενώ αναλόγως τον τύπο της διαρροής, δηλαδή αν είναι `b` ή `c`, η μάρκα οδηγείται στη θέση `Resume Oper_1` ή στη `Resume Oper_2`. Οι θέσεις αυτές είναι συγχωνευμένες με τις `car1` και `car2` του σχήματος 4.4 αντίστοιχα, όπου και επανέρχεται ο έλεγχος μετά το πέρας της *LeakageHandling*.

Κεφάλαιο 5

5. Πειραματικές μετρήσεις

5.1 Εισαγωγή

Τα σφάλματα και οι βλάβες στη διαδικασία φόρτωσης χλωρίου μπορούν να μελετηθούν από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες, ως προς τις επιπτώσεις τους είτε στην ανθρώπινη υγεία είτε στο κόστος της παραγωγικής διαδικασίας. Στην πειραματική μας μελέτη εστιάσαμε στο δεύτερο αντικείμενο για τις επιπτώσεις στο κόστος παραγωγής. Επομένως, η διεξαγωγή των πειραμάτων επικεντρώνεται στη μέτρηση της απόδοσης των εγκαταστάσεων και του κόστους των αστοχιών.

5.2 Απόδοση

Η εκτίμηση της απόδοσης και του κόστους των αστοχιών λαμβάνει δύο μορφές στην ανάλυσή μας, όπου και στις δύο μορφές τα αποτελέσματα συγκρίνονται με την ιδανική περίπτωση που δεν εμπεριέχει σφάλματα. Στην πρώτη περίπτωση ο υπολογισμός της απόδοσης γίνεται συγκρίνοντας το χρόνο εξυπηρέτησης ενός αριθμού βυτιοφόρων με τον ιδανικό χρόνο εξυπηρέτησης του ίδιου αριθμού βυτιοφόρων, που θα προέκυπτε αν στη διαδικασία φόρτωσης δεν περιέχονταν σφάλματα. Για καλύτερη κατανόηση ας θεωρήσουμε το παράδειγμα ενός εργοστασίου αυτοκινήτων, το οποίο παράγει 1000 αυτοκίνητα την ώρα. Αν συμβεί κάποιο σφάλμα στη γραμμή παραγωγής και το εργοστάσιο ολοκληρώσει τη συναρμολόγηση 1000 αυτοκινήτων σε τρεις ώρες, τότε ο λόγος αυτής της παραγωγής προς την ιδανική είναι 3, η απόδοση του εργοστασίου για το συγκεκριμένο τρίωρο είναι 200% χειρότερη από την ιδανική απόδοση και η ζημιά της εταιρείας είναι 2000 αυτοκίνητα.

Στη δεύτερη περίπτωση υπολογίζονται η καθυστέρηση και ο αριθμός των βυτιοφόρων που έχουν υποστεί καθυστέρηση. Για να γίνει πιο σαφής η έννοια και η σημασία της δεύτερης μορφής αξιολόγησης των εγκαταστάσεων ας θεωρήσουμε το παράδειγμα μίας τράπεζας, στην οποία οι πελάτες εξυπηρετούνται σύμφωνα με ένα αριθμημένο απόκομμα που παίρνουν κατά την είσοδό τους σε αυτή. Το απόκομμα αναγράφει την εκτιμώμενη ώρα που θα πρέπει να εξυπηρετηθούν σύμφωνα με τον αριθμό των πελατών που προηγούνται και τον μέσο χρόνο εξυπηρέτησης πελάτη. Κάνοντας την παραδοχή ότι κανένας πελάτης δεν αποχωρεί από την τράπεζα πριν

εξυπηρετηθεί, στο τέλος της μέρας έχουν εξυπηρετηθεί όλοι οι πελάτες. Αυτοί χωρίζονται σε ευχαριστημένους εάν έχουν εξυπηρετηθεί στην ώρα τους και σε ελαφρά απογοητευμένους, απογοητευμένους και αρκετά απογοητευμένους ανάλογα με την καθυστέρηση που έχουν υποστεί. Η απογοήτευση αυτή μπορεί να οδηγήσει κάποιους πελάτες στον τερματισμό της συνεργασίας με τη συγκεκριμένη τράπεζα. Το χαρακτηριστικό σε αυτή τη μορφή ανάλυσης είναι ότι η καθυστέρηση που υπόκειται ένας πελάτης μεταφέρεται σε όλους τους πελάτες που τον ακολουθούν.

Η καταγραφή και η μέτρηση των μεγεθών που χρειάζονται για τον υπολογισμό της απόδοσης των εγκαταστάσεων φόρτωσης χλωρίου γίνεται με τη χρήση παρακολουθητών (Monitors). Στην επόμενη παράγραφο περιγράφονται συνοπτικά κάποια χαρακτηριστικά των παρακολουθητών.

5.3 Παρακολουθητές (Monitors)

Η παρακολούθηση ενός μοντέλου έγχρωμων δικτύων Petri και η εξαγωγή δεδομένων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των παρακολουθητών (monitors). Η σωστή λειτουργία των παρακολουθητών εξασφαλίζει τον σωστό υπολογισμό των μέτρων απόδοσης και τελικά τη σωστή εκτίμηση της απόδοσης ενός συστήματος.

5.3.1 Είδη παρακολουθητών

Υπάρχουν διάφορα είδη παρακολουθητών, για να καλυφθούν οι ανάγκες των χρηστών. Τα κυριότερα από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Οι παρακολουθητές σημείων διακοπής (**breakpoint monitors**) είναι υπεύθυνοι για τη διακοπή μιας προσομοίωσης και αυτό μπορεί να συμβεί όταν έχει ολοκληρωθεί ένας αριθμός βημάτων ή όταν έχει περάσει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Οι παρακολουθητές συλλογής δεδομένων (**data collector monitors**) χρησιμοποιούνται για τη συλλογή αριθμητικών δεδομένων από ένα δίκτυο. Αργότερα γίνεται χρήση των δεδομένων αυτών για να εξαχθούν στατιστικά αποτελέσματα, τα οποία μπορούν να αποθηκευτούν σε αρχεία για περαιτέρω ανάλυση.
- Οι παρακολουθητές καταγραφής σε αρχείο (**write-in-file monitors**) δημιουργούν αρχεία στα οποία αποθηκεύουν πληροφορίες για τα δεδομένα που

παρακολουθούν. Συγκεκριμένα ο ρόλος τους είναι να ανανεώνουν τα αρχεία αυτά κάθε φορά που μεταβάλλεται η κατάσταση του εξεταζόμενου μοντέλου.

- Οι ορισμένοι από τον χρήστη παρακολουθητές (**user-defined monitors**) ορίζονται από τον χρήστη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιοδήποτε σκοπό, τον οποίο δεν καλύπτουν οι άλλες τρεις κατηγορίες παρακολουθητών.

5.3.2 Λειτουργικότητα παρακολουθητών

Κάθε παρακολουθητής μπορεί να είναι συσχετισμένος με μηδέν ή περισσότερες μεταβάσεις καθώς και με μηδέν ή περισσότερες θέσεις, με τη βοήθεια των οποίων ελέγχει ένα δίκτυο. Από αυτές αντλεί τα δεδομένα και βάσει αυτών λειτουργεί. Όμως, για τη σωστή λειτουργία του πρέπει να ακολουθεί μια σειρά ενεργειών. Συγκεκριμένα πρέπει:

1. Να γίνεται περιοδική εξέταση κάποιων συγκεκριμένων μαρκών και / ή ενεργοποιημένων μεταβάσεων.
2. Να ελέγχεται αν μια συγκεκριμένη συνθήκη πληρείται.
3. Αν ναι, τότε μπορεί να εξαχθούν πληροφορίες από τη μάρκα και / ή από την ενεργοποιημένη μετάβαση ή να γίνει κάτι άλλο σε σχέση με τα αντίστοιχα δεδομένα.
4. Αν δεν πληρείται η συνθήκη δεν γίνεται τίποτα.
5. Επαναλαμβάνονται οι προηγούμενες λειτουργίες.

Για να εκτελεστούν αυτές οι ενέργειες, έχουν οριστεί στον παρακολουθητή κατάλληλες συναρτήσεις, που ο ρόλος τους ποικίλει.

5.3.3 Συναρτήσεις παρακολουθητών

Ένας παρακολουθητής έχει ένα πλήθος διαφορετικών συναρτήσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται για διαφορετικό σκοπό η καθεμία. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- Συνάρτηση κριτηρίου (**predicate function**), η οποία ελέγχει αν πληρείται η συνθήκη που περιέχει. Αν ισχύει αυτή η συνθήκη, καλούνται οι συναρτήσεις παρατήρησης και δράσης (όποια υπάρχει).
- Συνάρτηση παρατήρησης (**observation function**), χάρη στην οποία αποσπώνται πληροφορίες από το δίκτυο.
- Συνάρτηση δράσης (**action function**), η οποία χρησιμοποιεί τα δεδομένα που αντλήθηκαν για να κάνει κάτι σχετικό με αυτά ανάλογα με το είδος του παρακολουθητή στον οποίο ανήκει, όπως να τα καταγράψει σε ένα αρχείο ή να τα

χρησιμοποιήσει για να ενημερώσει τα στατιστικά στοιχεία της παρακολούθησης ή ακόμη και να διακόψει την προσομοίωση.

- Συνάρτηση αρχικοποίησης (**initialization function**), η οποία καλείται μόνο μια φορά για την αρχικοποίηση ενός παρακολουθητή πριν από την έναρξη της προσομοίωσης.
- Συνάρτηση διακοπής (**stop function**), η οποία καλείται και αυτή μόνο μια φορά για την ολοκλήρωση ενός παρακολουθητή, όταν μια προσομοίωση τερματίζεται. Ορισμένα είδη παρακολουθητών έχουν όλα τα είδη συναρτήσεων, όπως είναι οι παρακολουθητές συλλογής δεδομένων και καταγραφής σε αρχείο, ενώ οι παρακολουθητές σημείων διακοπής έχουν μόνο δύο από αυτές (τη συνάρτηση κριτηρίου και τη συνάρτηση δράσης). Οι ορισμένοι από τους χρήστες παρακολουθητές έχουν τόσες συναρτήσεις όσες έχουν οριστεί από τον χρήστη.

5.4 Χρήση παρακολουθητών στο δίκτυο Petri για τη φόρτωση χλωρίου

Κατά την προσομοίωση του δικτύου Petri για τη φόρτωση χλωρίου θέλουμε να εξάγουμε πληροφορία για τον αριθμό των σφαλμάτων που συνέβησαν, για το είδος των διαρροών, για το χρόνο εξυπηρέτησης των βυτιοφόρων, για τον αριθμό των βυτιοφόρων που υπέστησαν καθυστέρηση και για το χρόνο παραμονής των βυτιοφόρων στις εγκαταστάσεις. Γνωρίζοντας τις τιμές αυτών των παραμέτρων μπορούμε να υπολογίσουμε έμμεσα και την απόδοση των εγκαταστάσεων.

Για να συλλέξουμε τα δεδομένα όλων αυτών των παραμέτρων κατά την προσομοίωση χρησιμοποιήσαμε παρακολουθητές. Συνολικά κάναμε χρήση 6 παρακολουθητών, 5 παρακολουθητών συλλογής δεδομένων (data collector monitors) και ενός παρακολουθητή καταγραφής σε αρχείο (write-in-file monitor). Οι παρακολουθητές συλλογής δεδομένων πιο συγκεκριμένα ήταν μετρητές πυροδοτήσεων μετάβασης (Count Transition Occurrence data collector) και χρησιμοποιήθηκαν για την καταμέτρηση των σφαλμάτων, ενώ ο παρακολουθητής καταγραφής σε αρχείο διατηρούσε πληροφορία για τους χρόνους εξυπηρέτησης και παραμονής στις εγκαταστάσεις των βυτιοφόρων.

Παρακολουθητές συλλογής δεδομένων εφαρμόστηκαν στις μεταβάσεις Leakage Handling, Leakage Detection, Inform Local Authorities, Chlorine Decontamination και Equipment Replacement που βρίσκονται στην υποσελίδα *Leakage Handling* του σχήματος 4.8. Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, ο αριθμός των πυροδοτήσεων κάθε μετάβασης βρίσκεται καταχωρημένος σε ένα αρχείο. Ο αριθμός των πυροδοτήσεων της μετάβασης Leakage Handling υποδηλώνει τον αριθμό των σφαλμάτων και επομένως των διαρροών που έλαβαν χώρα κατά την προσομοίωση. Παρομοίως, η Leakage Detection μας πληροφορεί για τον αριθμό των διαρροών που διαπιστώθηκαν πριν αρχίσει η φόρτωση του βυτιοφόρου, η Inform Local Authorities για τις διαρροές που οδήγησαν σε εκκένωση των εγκαταστάσεων, η Chlorine Decontamination για τις διαρροές που συνέβησαν κατά τη φόρτωση και η Equipment Replacement για τις διαρροές που δεν οφείλονταν σε υπερχειλίση. Επομένως, οι διαρροές που οφείλονται σε υπερχειλίση προκύπτουν από τη διαφορά των Chlorine Decontamination και Equipment Replacement.

Ο παρακολουθητής καταγραφής σε αρχείο εφαρμόστηκε στη μετάβαση Departure της υποσελίδας *Departure* του σχήματος 4.6. Το αρχείο εξόδου του παρακολουθητή είναι ένα αρχείο excel που περιέχει πληροφορία για κάθε βυτιοφόρο. Τα πεδία, για τα οποία διατηρεί πληροφορία, είναι ο αναγνωριστικός αριθμός του βυτιοφόρου (carID), ο χρόνος εξυπηρέτησης του βυτιοφόρου, της καθυστέρησης που υπέστη το βυτιοφόρο και του χρόνου παραμονής του βυτιοφόρου. Κάθε φορά που πυροδοτείται η μετάβαση Departure, ο παρακολουθητής ενημερώνει το αρχείο και τα συγκεκριμένα πεδία. Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές συναρτήσεις του παρακολουθητή, οι συναρτήσεις Predicate και Observer.

5.5 Διεξαγωγή πειραμάτων

Για αξιοπιστία και καλύτερη ποιότητα των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τα πειράματα εκθέσαμε το δίκτυο Petri στη συνεχή εξυπηρέτηση βυτιοφόρων. Ο αριθμός των βυτιοφόρων που φορτώθηκαν με χλώριο κατά την προσομοίωση του δικτύου ποικίλει, παίρνοντας τις τιμές 10, 50, 100 και 200. Τα πειράματα χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, σύμφωνα με τον αριθμό των βυτιοφόρων που εξυπηρετήθηκαν, και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων τους γίνεται ανά κατηγορία.

```

Predicate
  fun pred (bindelem) =
  let
    fun predBindElem (Departure'Departure (1,
                                         {delay,job,oldDelay,tankcar})) = true
      | predBindElem _ = false
  in
    predBindElem bindelem
  end
Observer
  fun obs (bindelem) =
  let
    fun obsBindElem (Departure'Departure (1,{delay,job,oldDelay,tankcar})) =
      "TankCar"^Int.toString(#Tank job) ^ "\t" ^ Int.toString (intTime()-(#AT job))
        ^ "\t" ^ Int.toString(delay)^"\t" ^ Int.toString(intTime()-(#ATjob)+oldDelay)
        ^ "\n"
      | obsBindElem _ = ""
  in
    obsBindElem bindelem
  end

```

Πίνακας 5. 1: Συναρτήσεις Predicate και Observer write-in-file παρακολουθητή

Στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων παρατίθενται οι τιμές που προέκυψαν από την προσομοίωση τριών διαφορετικών πειραμάτων ανά κατηγορία. Τα μεγέθη που μετρούνται και παρουσιάζονται είναι:

- ο αριθμός των σφαλμάτων_
- ο αριθμός των ανά περίπτωση βλαβών
- το ποσοστό εμφάνισης βλάβης σε σχέση με τον αριθμό των βυτιοφόρων που εξυπηρετήθηκαν
- η απόδοση των εγκαταστάσεων σε σύγκριση με την ιδανική εξυπηρέτηση
- ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης
- ο μέσος χρόνος παραμονής στις εγκαταστάσεις
- η ζημία της εταιρίας παροχής χλωρίου εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων και
- ο αριθμός των βυτιοφόρων που υπέστησαν καθυστέρηση

5.5.1 Προσομοίωση 10 βυτιοφόρων

Στο μεγαλύτερο πλήθος των πειραμάτων που προσομοιάζουν τη σειριακή εξυπηρέτηση 10 βυτιοφόρων δεν παρουσιάζεται κάποια βλάβη ή διαρροή. Οι τιμές που προκύπτουν από τα πειράματα δίχως διαρροή συμπίπτουν με τις ιδανικές και είναι ίδιες για όλα τα πειράματα. Για το λόγο αυτό και την αποφυγή πλεονασμού επιλέξαμε να παρουσιάσουμε ένα από τα πειράματα που δεν εμφανίζουν διαρροή. Επιπροσθέτως, στην παρουσίαση των πειραμάτων εξυπηρέτησης 10 βυτιοφόρων προστίθεται ένας επιπλέον πίνακας που περιέχει εκτεταμένη πληροφορία σχετικά με τη φόρτωση των βυτιοφόρων. Ο πίνακας αυτός δεν περιέχεται στα δεδομένα παρουσίασης των υπόλοιπων πειραμάτων επειδή το πλήθος των οχημάτων είναι αρκετά μεγάλο.

Κατά τη φόρτωση των βυτιοφόρων στα άλλα δύο πειράματα συμβαίνουν βλάβες και διαρροές που επηρεάζουν τις τιμές των μεγεθών που μελετάμε, όπως την απόδοση των εγκαταστάσεων και τη ζημία. Στη μία περίπτωση συμβαίνει μία διαρροή στην αρχή της προσομοίωσης, ενώ στην άλλη περίπτωση η διαρροή συμβαίνει στη μέση της προσομοίωσης. Μέσω των πειραμάτων αυτών και της πληροφορίας που του παρέχεται, ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τη σημασία των μετρούμενων μεγεθών και κυρίως το πόσο επηρεάζει τις τιμές τους, το χρονικό σημείο που θα συμβεί μία διαρροή.

Πείραμα Α

Όπως γίνεται εμφανές από τα δεδομένα των πινάκων 5.2 και 5.3, δεν συμβαίνει κάποια βλάβη κατά τη φόρτωση των βυτιοφόρων. Ο αριθμός των διαρροών σε αυτό το πείραμα είναι μηδέν και το ποσοστό των διαρροών επί του αριθμού των οχημάτων είναι 0%. Ο χρόνος εξυπηρέτησης εκφράζει τον χρόνο που χρειάστηκε για να ολοκληρωθεί η διαδικασία φόρτωσης για ένα βυτιοφόρο, από τη στιγμή που εισάχθηκε στο χώρο φόρτωσης μέχρι τη στιγμή αναχώρησής του από αυτόν. Ο χρόνος παραμονής στις εγκαταστάσεις εκφράζει το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που θα έπρεπε να ξεκινάει η εξυπηρέτηση ενός βυτιοφόρου υπό ιδανικές συνθήκες μέχρι την αποχώρηση του βυτιοφόρου από τις εγκαταστάσεις. Οι χρόνοι αυτοί συμπίπτουν με τον ιδανικό χρόνο και επομένως η ζημία είναι μηδενική.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ		
Αριθμός Διαρροών	0	0%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	0	0%
Υπερχειλίσσεις	0	0%
Λοιπές διαρροές	0	0%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	785	
Μέσος χρόνος παραμονής	785	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	1	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	0	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	0	0

Πίνακας 5.2: Δεδομένα πειράματος Α για τη φόρτωση 10 βυτιοφόρων

Car ID	Fuelling Time	Delay	Facilities Remain Time
TankCar1	785	0	785
TankCar2	785	0	785
TankCar3	785	0	785
TankCar4	785	0	785
TankCar5	785	0	785
TankCar6	785	0	785
TankCar7	785	0	785
TankCar8	785	0	785
TankCar9	785	0	785
TankCar10	785	0	785

Πίνακας 5.3: Αρχείο αναφοράς εξυπηρέτησης 10 βυτιοφόρων πειράματος Α

Πείραμα Β

Σε αυτό το πείραμα λαμβάνει χώρα μία διαρροή κατά τη διάρκεια της φόρτωσης κάποιου βυτιοφόρου, όπως φαίνεται από τα δεδομένα του πίνακα 5.4. Πιο συγκεκριμένα και σύμφωνα με τον πίνακα 5.5, η διαρροή συμβαίνει κατά τη φόρτωση του πέμπτου βυτιοφόρου TankCar5 και έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση αυτού κατά 240 χρονικές μονάδες. Η καθυστέρηση αυτή όμως επηρεάζει και τα βυτιοφόρα που ακολουθούν το TankCar5 στη σειρά εξυπηρέτησης, αυξάνοντας το χρόνο παραμονής τους στις εγκαταστάσεις και επομένως το συνολικό μέσο χρόνο παραμονής.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ		
Αριθμός Διαρροών	1	10%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	0	0%
Υπερχειλίσσεις	0	0%
Λοιπές διαρροές	1	10%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	809	
Μέσος χρόνος παραμονής	929	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,030573	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	1,183439	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων		0,305732
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	6	240

Πίνακας 5.4: Δεδομένα πειράματος Β για τη φόρτωση 10 βυτιοφόρων

Car ID	Fuelling Time	Delay	Facilities Remain Time
TankCar1	785	0	785
TankCar2	785	0	785
TankCar3	785	0	785
TankCar4	785	0	785
TankCar5	1025	240	1025
TankCar6	785	240	1025
TankCar7	785	240	1025
TankCar8	785	240	1025
TankCar9	785	240	1025
TankCar10	785	240	1025

Πίνακας 5.5: Αρχείο αναφοράς εξυπηρέτησης 10 βυτιοφόρων πειράματος Β

Παρόλο που συμβαίνει μόνο μία διαρροή, έξι οχήματα συνολικά έχουν υποστεί καθυστέρηση. Η συνολική απόδοση των εγκαταστάσεων είναι 3% πιο αργή από την ιδανική, όμως τα καθυστερημένα οχήματα αποτελούν το 60% του συνόλου των βυτιοφόρων που εξυπηρετήθηκαν. Γίνεται κατανοητό επομένως πόσο μπορεί να επηρεάσει την εικόνα της εταιρίας μία διαρροή, παρότι στη συγκεκριμένη περίπτωση η καθυστέρηση είναι σχετικά μικρή.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

Αριθμός Διαρροών	1	10%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	0	0%
Υπερχειλίσσεις	0	0%
Λοιπές διαρροές	1	10%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	890,6	
Μέσος χρόνος παραμονής	1735,4	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,134522	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	2,210700637	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	1,345223	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	9	1056
Ομάδα 1	9	1056

Πίνακας 5.6: Δεδομένα πειράματος Γ για τη φόρτωση 10 βυτιοφόρων

Car ID	Fuelling Time	Delay	Facilities Remain Time
TankCar1	785	0	785
TankCar2	1841	1056	1841
TankCar3	785	1056	1841
TankCar4	785	1056	1841
TankCar5	785	1056	1841
TankCar6	785	1056	1841
TankCar7	785	1056	1841
TankCar8	785	1056	1841
TankCar9	785	1056	1841
TankCar10	785	1056	1841

Πίνακας 5.7: Αρχείο αναφοράς εξυπηρέτησης 10 βυτιοφόρων πειράματος Γ

Πείραμα Γ

Στο πείραμα αυτό, η διαρροή συμβαίνει στην αρχή της προσομοίωσης και πιο συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια της φόρτωσης του δεύτερου βυτιοφόρου TankCar2, όπως φαίνεται και στα δεδομένα των πινάκων 5.6 και 5.7. Η διαρροή αυτή προκαλεί καθυστέρηση 1056 χρονικών μονάδων στο TankCar2 επηρεάζοντας δραματικά την εξυπηρέτηση των επόμενων βυτιοφόρων και συνεπώς τις τιμές των αποτελεσμάτων. Συνολικά 9 βυτιοφόρα υπόκεινται σε καθυστέρηση 1056 χρονικών μονάδων και ενώ η απόδοση των εγκαταστάσεων ως προς την εξυπηρέτηση των βυτιοφόρων είναι 13% χειρότερη από την ιδανική προκαλώντας ζημία 1,34 οχημάτων, η απόδοση ως προς την παραμονή στο χώρο των εγκαταστάσεων είναι 121% χειρότερη.

5.5.2 Προσομοίωση 50 βυτιοφόρων

Σε όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για την εξυπηρέτηση 50 βυτιοφόρων έλαβε χώρα κάποια διαρροή, μικρή ή μεγάλη. Τρία από αυτά επιλέχθηκαν για να παρουσιαστούν σε αυτή την παράγραφο, το πείραμα με τη μικρότερη διαρροή, το πείραμα με τις περισσότερες διαρροές και ένα πείραμα από την πλειονότητα των πειραμάτων με μέση εμφάνιση διαρροών. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών παρέχουν στον αναγνώστη μία γενική και αντιπροσωπευτική εικόνα για την προσομοίωση της εξυπηρέτησης 50 βυτιοφόρων.

Πείραμα Α

Σε αυτό το πείραμα συμβαίνει μία διαρροή κατά τη φόρτωση των 50 οχημάτων. Αυτή είναι μία μικρή διαρροή που ανιχνεύεται πριν την έναρξη της φόρτωσης και δεν έχει σοβαρές συνέπειες στη συνολική εξυπηρέτηση των βυτιοφόρων. Η διαρροή εμφανίζεται ανάμεσα στη μέση και το τέλος της φόρτωσης των 50 οχημάτων και επηρεάζει 15 οχήματα, επιβαρύνοντάς τα με μία καθυστέρηση των 63 χρονικών μονάδων. Το ποσοστό των διαρροών επί του αριθμού των οχημάτων είναι 2%. Ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης και παραμονής στις εγκαταστάσεις δεν αυξάνει σημαντικά, ενώ και η ζημία της εταιρείας είναι σχεδόν μηδενική. Τα δεδομένα του πειράματος Α βρίσκονται στον πίνακα 5.8.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ		
Αριθμός Διαρροών	1	2%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	1	2%
Υπερχειλίσσεις	0	0%
Λοιπές διαρροές	0	0%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	786,26	
Μέσος χρόνος παραμονής	803,9	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,001605096	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	1,024076433	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	0,080255	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	15	63
Ομάδα 1	15	63

Πίνακας 5.8: Δεδομένα πειράματος Α για τη φόρτωση 50 βυτιοφόρων

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ		
Αριθμός Διαρροών	3	6%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	1	2%
Υπερχειλίσσεις	1	2%
Λοιπές διαρροές	1	2%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	812,5	
Μέσος χρόνος παραμονής	1939,22	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,035032	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	2,470343949	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	1,751592	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	47	1227,894
Ομάδα 1	6	1160
Ομάδα 2	37	1223
Ομάδα 3	4	1375

Πίνακας 5. 9: Δεδομένα πειράματος Β για τη φόρτωση 50 βυτιοφόρων

Πείραμα Β

Στο πείραμα Β εμφανίζονται συνολικά 3 διαρροές όπως παρατηρούμε στα δεδομένα του πίνακα 5.9. Το ποσοστό των διαρροών επί του αριθμού των οχημάτων είναι 6% και αποτελεί περίπου τη μέση συχνότητα εμφάνισης διαρροών στην εξυπηρέτηση των 50 οχημάτων. Από το σύνολο των τριών διαρροών, μία ανιχνεύθηκε πριν από την έναρξη της φόρτωσης, μία οφείλεται σε υπερχείλιση και μία πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της φόρτωσης.

Η πρώτη χρονικά διαρροή συνέβη σχετικά νωρίς στην προσομοίωση των 50 οχημάτων, κατά τη διάρκεια της φόρτωσης του τέταρτου βυτιοφόρου. Επιπλέον, προκάλεσε μεγάλη καθυστέρηση της τάξης των 1160 χρονικών μονάδων στο βυτιοφόρο. Επομένως, η διαρροή αυτή επέφερε σημαντική αύξηση του μέσου χρόνου παραμονής των οχημάτων στις εγκαταστάσεις. Η δεύτερη χρονικά διαρροή ανιχνεύθηκε πριν τη φόρτωση του δέκατου βυτιοφόρου χωρίς να επηρεάσει σημαντικά τις τιμές των αποτελεσμάτων. Τέλος, η τρίτη διαρροή ήταν μία υπερχείλιση που παρουσιάστηκε κατά τη φόρτωση του 47ου βυτιοφόρου επηρεάζοντας 4 οχήματα.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

Αριθμός Διαρροών	5	10%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	2	4%
Υπερχειλίσσεις	0	0%
Λοιπές διαρροές	3	6%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	837,6	
Μέσος χρόνος παραμονής	1922,04	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,067006	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	2,448458599	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	3,0318	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	34	1672,118
Ομάδα 1	4	760
Ομάδα 2	8	823
Ομάδα 3	8	1723
Ομάδα 4	4	1786
Ομάδα 5	10	2630

Πίνακας 5.10: Δεδομένα πειράματος Γ για τη φόρτωση 50 βυτιοφόρων

Πείραμα Γ

Οι πιο πολλές διαρροές που εμφανίστηκαν κατά τη φόρτωση των 50 βυτιοφόρων ήταν 5. Οι δύο από αυτές ανιχνεύθηκαν πριν από τη φόρτωση των βυτιοφόρων ενώ οι άλλες τρεις έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της φόρτωσης. Οι διαρροές αυτές είχαν σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα του πειράματος Γ όπως προκύπτει και από τον πίνακα 5.10. Η ζημία που προκλήθηκε από τις βλάβες ήταν 3,03 οχήματα ενώ 34 οχήματα υπέστησαν μέση καθυστέρηση 1672,11 χρονικών μονάδων. Τα οχήματα αυτά χωρίζονται σε 5 ομάδες ανάλογα με την καθυστέρηση που υπέστησαν

Συγκρίνοντας τα πειράματα Β και Γ παρατηρούμε ότι εμφανίζουν περίπου τον ίδιο χρόνο παραμονής, με το πείραμα Β να έχει ελαφρώς χειρότερη απόδοση παρότι το πείραμα Γ παρουσιάζει μεγαλύτερο χρόνο εξυπηρέτησης, μεγαλύτερη ζημία και περισσότερες διαρροές. Αυτό οφείλεται στο μέγεθος των διαρροών και κυρίως στο χρονικό σημείο που συμβαίνουν. Η μεγάλη διαρροή που πραγματοποιήθηκε στην αρχή της προσομοίωσης του πειράματος Β επιβάρυνε όλα σχεδόν τα οχήματα, προκαλώντας έτσι απόδοση ισοδύναμη με πειράματα περισσότερων διαρροών.

5.5.3 Προσομοίωση 100 βυτιοφόρων

Όσο αυξάνει ο αριθμός των βυτιοφόρων, αυξάνει και ο αριθμός των διαρροών, με τα ποσοστά των διαρροών όμως να μειώνονται συγκλίνοντας σε ένα συγκεκριμένο

εύρος τιμών. Τα τρία πειράματα προσομοίωσης της φόρτωσης 100 βυτιοφόρων εμφανίζουν παραπλήσια στατιστικά δεδομένα. Οι λιγότερες διαρροές που συμβαίνουν στο ένα από τα πειράματα είναι δύο και οι περισσότερες πέντε, με τα αντίστοιχα ποσοστά να είναι 2% και 5%. Οι ποσοτικές τιμές όμως των δεδομένων απόδοσης διαφέρουν, με τις ζημίες να κυμαίνονται από τα 0,74 στα 2 οχήματα.

Πείραμα Α

Στο πρώτο πείραμα για τη φόρτωση 100 βυτιοφόρων λαμβάνουν χώρα δύο διαρροές. Η πρώτη χρονικά παρουσιάζεται κατά τη φόρτωση του 14ου βυτιοφόρου ενώ η δεύτερη ανιχνεύεται πριν από τη φόρτωση του 55ου βυτιοφόρου. Η διαρροή που συμβαίνει κατά τη φόρτωση του 14ου βυτιοφόρου προκαλεί καθυστέρηση στα επόμενα βυτιοφόρα κατά 520 χρονικές μονάδες, συντελώντας έτσι στην υψηλότερη μέση καθυστέρηση που παρουσιάζεται στα πειράματα εξυπηρέτησης 100 οχημάτων. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του πειράματος Α περιέχονται στον πίνακα 5.11.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ		
Αριθμός Διαρροών	2	2%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	1	1%
Υπερχειλίσσεις	0	0%
Λοιπές διαρροές	1	1%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	790,83	
Μέσος χρόνος παραμονής	1266,38	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,007427	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	1,613223	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	0,742675	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	87	553,3103
Ομάδα 1	41	520
Ομάδα 2	46	583

Πίνακας 5.11: Δεδομένα πειράματος Α για τη φόρτωση 100 βυτιοφόρων

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ		
Αριθμός Διαρροών	4	4%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	3	3%

Υπερχειλίσσεις	0	0%
Λοιπές διαρροές	1	1%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	795,09	
Μέσος χρόνος παραμονής	1058,59	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,012854	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	1,348522	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	1,28535	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	90	303,9889
Ομάδα 1	10	63
Ομάδα 2	37	126
Ομάδα 3	26	189
Ομάδα 4	17	1009

Πίνακας 5.12: Δεδομένα πειράματος Β για τη φόρτωση 100 βυτιοφόρων

Πείραμα Β

Στο πείραμα Β για τη φόρτωση 100 βυτιοφόρων εμφανίζονται 4 διαρροές και το αντίστοιχο ποσοστό των διαρροών επί του αριθμού των οχημάτων είναι 4%. . Η μία από τις διαρροές παρουσιάζεται κατά τη φόρτωση ενός βυτιοφόρου ενώ οι άλλες τρεις είναι μικρές διαρροές που ανιχνεύονται πριν αρχίσει η πλήρωση.

Μελετώντας τον πίνακα 5.12 παρατηρούμε ότι 90 οχήματα συνολικά έχουν υποστεί καθυστέρηση. Ωστόσο, η μέση καθυστέρηση και ο μέσος χρόνος παραμονής δεν είναι σημαντικά αυξημένος. Αυτό συμβαίνει επειδή οι διαρροές, οι οποίες συμβαίνουν στην αρχή του πειράματος, εντοπίζονται πριν την έναρξη της φόρτωσης και δεν προκαλούν μεγάλη καθυστέρηση στα βυτιοφόρα. Κατανοούμε επομένως ότι εκτός από τον αριθμό των διαρροών και το χρονικό σημείο που συμβαίνουν, σημαντικό ρόλο στην απόδοση των εγκαταστάσεων παίζει και το είδος των διαρροών.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ		
Αριθμός Διαρροών	5	5%

Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	3	3%
Υπερχειλίσσεις	0	0%
Λοιπές διαρροές	2	2%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	801,41	
Μέσος χρόνος παραμονής	963,32	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,020904	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	1,227159	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	2,090446	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	85	209,7882
Ομάδα 1	11	63
Ομάδα 2	65	126
Ομάδα 3	4	650
Ομάδα 4	2	713
Ομάδα 5	3	1641

Πίνακας 5.13: Δεδομένα πειράματος Γ για τη φόρτωση 100 βυτιοφόρων

Πείραμα Γ

Στο πείραμα Γ παρουσιάζονται οι περισσότερες διαρροές σε σύγκριση με τα άλλα δύο πειράματα για τη φόρτωση των 100 βυτιοφόρων. Το σύνολο των διαρροών αποτελείται από 5 διαρροές, τρεις που ανιχνεύονται πριν ξεκινήσει η φόρτωση του βυτιοφόρου και δύο που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της φόρτωσης. Το ποσοστό των διαρροών επί των οχημάτων που εξυπηρετήθηκαν είναι 5%, όπου οι διαρροές που ανιχνεύθηκαν πριν τη φόρτωση αποτελούν το 3% και οι διαρροές κατά τη φόρτωση το 2%.

Ως απόρροια του μεγαλύτερου αριθμού διαρροών, στο πείραμα Γ εμφανίζεται και η μεγαλύτερη ζημία μεταξύ των τριών πειραμάτων με τιμή 2,09 οχήματα. Ωστόσο, το πείραμα Γ παρουσιάζει τη μικρότερη μέση καθυστέρηση των οχημάτων και το μικρότερο μέσο χρόνο παραμονής στις εγκαταστάσεις. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του πειράματος Γ περιέχονται στον πίνακα 5.13.

5.5.4 Προσομοίωση 200 βυτιοφόρων

Στα πειράματα που προσομοιώνουν τη φόρτωση των 200 βυτιοφόρων, τα ποσοστά των διαρροών επί των οχημάτων συγκλίνουν ακόμα περισσότερο. Στα τρία πειράματα που παρουσιάζονται σε αυτή την ενότητα τα ποσοστά των διαρροών παίρνουν τις τιμές 4% και 5%. Επίσης, η κατανομή των διαρροών σε ανιχνευμένες

προ φόρτωσης, υπερχειλίσσεις και λοιπές διαρροές παρουσιάζει μία ομοιομορφία με τις ανιχνευμένες προ φόρτωσης να εμφανίζονται πιο συχνά, τις λοιπές διαρροές να έρχονται δεύτερες σε συχνότητα εμφάνισης και τις υπερχειλίσσεις να εμφανίζονται λιγότερο.

Πείραμα Α

Το πείραμα Α εμφανίζει τον ίδιο αριθμό διαρροών με το πείραμα Β, όμως παρουσιάζει χειρότερη απόδοση και μεγαλύτερη ζημία. Τα δεδομένα του πειράματος Β παρουσιάζονται στον πίνακα 5.14.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ		
Αριθμός Διαρροών	8	4%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	5	2,5%
Υπερχειλίσσεις	0	0%
Λοιπές διαρροές	3	1,5%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	799,355	
Μέσος χρόνος παραμονής	2260,225	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,018287	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	2,879268	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	3,657325	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	173	1705,462
Ομάδα 1	9	63
Ομάδα 2	20	126
Ομάδα 3	24	838
Ομάδα 4	19	901
Ομάδα 5	8	1797
Ομάδα 6	22	1860
Ομάδα 7	70	2808
Ομάδα 8	1	2871

Πίνακας 5.14: Δεδομένα πειράματος Α για τη φόρτωση 200 βυτιοφόρων

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ		
Αριθμός Διαρροών	8	4%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	4	2%
Υπερχειλίσσεις	1	0,5%
Λοιπές διαρροές	3	1,5%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		

Ιδανικός χρόνος	785	
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	796,28	
Μέσος χρόνος παραμονής	2234,97	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,014369	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	2,847096	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	2,873885	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	193	1502,56
Ομάδα 1	42	63
Ομάδα 2	16	1203
Ομάδα 3	14	1323
Ομάδα 4	14	1386
Ομάδα 5	42	2014
Ομάδα 6	2	2077
Ομάδα 7	6	2140
Ομάδα 8	57	2256

Πίνακας 5.15: Δεδομένα πειράματος Β για τη φόρτωση 200 βυτιοφόρων

Πείραμα Β

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.15, στο πείραμα Β εμφανίζονται 8 διαρροές συνολικά, 4 εκ των οποίων ανιχνεύονται πριν από τη φόρτωση, μία οφείλεται σε υπερχειλίση και 3 που συμβαίνουν κατά τη φόρτωση βυτιοφόρου. Το ποσοστό των διαρροών επί των οχημάτων είναι 4%, όπου οι διαρροές που ανιχνεύθηκαν πριν τη φόρτωση αποτελούν το 2%, οι διαρροές που οφείλονται σε υπερχειλίση το 0,5% και οι διαρροές κατά τη φόρτωση το 2%.

Στο πείραμα Β, οι μέσοι χρόνοι εξυπηρέτησης και παραμονής στις εγκαταστάσεις, η μέση καθυστέρηση των οχημάτων και η ζημία παίρνουν τις μικρότερες τιμές συγκριτικά με τα άλλα δύο πειράματα. Η ζημία που προκύπτει για την εξυπηρέτηση 200 βυτιοφόρων είναι 2,87 οχήματα ενώ η μέση καθυστέρηση των οχημάτων που υπέστησαν καθυστέρηση είναι 1502,56 χρονικές μονάδες.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΡΡΟΩΝ		
Αριθμός Διαρροών	10	5%
Ανιχνευμένες προ φόρτωσης	5	2,5%
Υπερχειλίσεις	1	0,5%
Λοιπές διαρροές	4	2%
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Ιδανικός χρόνος	785	

Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης	803,935	
Μέσος χρόνος παραμονής	2975,59	
Χρόνος Εξυπηρέτησης/ Ιδανικός Χρόνος	1,024121	
Χρόνος Παραμονής/ Ιδανικός Χρόνος	3,790561	
Ζημία εκφρασμένη σε αριθμό οχημάτων	4,824204	
Καθυστερημένα Οχήματα	Πλήθος	Καθυστέρηση
Σύνολο	186	2355,473
Ομάδα 1	8	88
Ομάδα 2	27	1212
Ομάδα 3	31	1275
Ομάδα 4	7	2223
Ομάδα 5	12	2286
Ομάδα 6	21	2349
Ομάδα 7	15	2412
Ομάδα 8	16	3320
Ομάδα 9	5	3383
Ομάδα 10	44	3787

Πίνακας 5.16: Δεδομένα πειράματος Γ για τη φόρτωση 200 βυτιοφόρων

Πείραμα Γ

Στο πείραμα Γ εμφανίζονται 10 διαρροές συνολικά, 5 εκ των οποίων ανιχνεύονται πριν από τη φόρτωση, μία οφείλεται σε υπερχειλίση και 4 που συμβαίνουν κατά τη φόρτωση βυτιοφόρου. Το ποσοστό των διαρροών επί των οχημάτων είναι 5%, όπου οι διαρροές που ανιχνεύθηκαν πριν τη φόρτωση αποτελούν το 2,5%, οι διαρροές που οφείλονται σε υπερχειλίση το 0,5% και οι διαρροές κατά τη φόρτωση το 2%.

Το πείραμα Γ παρουσιάζει τις περισσότερες διαρροές και τις μεγαλύτερες τιμές στους μέσους χρόνους, στη μέση καθυστέρηση και στη ζημία συγκριτικά με τα άλλα δύο πειράματα. Η ζημία που προκύπτει για την εξυπηρέτηση 200 βυτιοφόρων είναι 4,82 οχήματα ενώ η μέση καθυστέρηση των οχημάτων που υπέστησαν καθυστέρηση είναι 2355,47 χρονικές μονάδες, τιμές αρκετά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των πειραμάτων Α και Β. Τα αποτελέσματα του πειράματος Γ βρίσκονται στον πίνακα 5.16.

Κεφάλαιο 6

6. Συμπεράσματα

6.1 Ανασκόπηση και συμπεράσματα

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει τεράστια πρόοδος στη μοντελοποίηση επιχειρησιακών διαδικασιών που χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της διοίκησης επιχειρήσεων. Προς την κατεύθυνση αυτή έχουν αναπτυχθεί πολλές γλώσσες μοντελοποίησης, οι οποίες πλέον δεν στοχεύουν μόνο στην περιγραφή των διαδικασιών αλλά και στη βελτίωσή τους. Η βελτίωση μίας διαδικασίας μπορεί να γίνει εφικτή μέσω της χρήσης τεχνικών προσομοίωσης.

Σε αυτή τη διατριβή έγινε χρήση των τεχνικών προσομοίωσης για την ανάλυση, τη μελέτη και τη βελτίωση της διαδικασίας φόρτωσης χλωρίου σε βυτιοφόρο. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μία ποιοτική μοντελοποίηση των εργασιών της διαδικασίας φόρτωσης με τη μέθοδο της ιεραρχικής ανάλυσης καθώς και η μελέτη των πιθανών σφαλμάτων, τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν διαρροή κατά τη διαδικασία φόρτωσης, με τη μέθοδο του δέντρου αστοχιών. Στη συνέχεια ακολούθησε η υλοποίηση σε δίκτυο Petri βασισμένη στην ιεραρχική ανάλυση.

Με την προσομοίωση του δικτύου Petri της φόρτωσης διενεργούνται εργασίες, όπως η εξέταση διαφόρων σεναρίων ατυχημάτων και η αξιολόγηση των μέτρων ασφαλείας και αντιμετώπισης, που αποτελούν αρμοδιότητα του τομέα Εκτίμησης Επικινδυνότητας μίας εταιρείας παροχής χλωρίου. Επίσης, μέσω της προσομοίωσης συλλέχθηκαν δεδομένα όσον αφορά τον αριθμό και το είδος των διαρροών, τους χρόνους επαναφοράς των εγκαταστάσεων ύστερα από κάποια διαρροή και το βαθμό επιρροής τους στην εξυπηρέτηση των βυτιοφόρων.

Η προσέγγιση της εργασίας αυτής αφορά κυρίως την παραγωγική διαδικασία περιλαμβάνοντας κάποιες παραδοχές σχετικά με τις επιπτώσεις των διαρροών. Θεωρούμε ότι όλες οι διαρροές αντιμετωπίζονται σωστά, δεν εξαπλώνονται μακριά από το χώρο των εγκαταστάσεων και επομένως δεν προκαλούν βλάβες στην ανθρώπινη υγεία ή στο περιβάλλον. Τα αποτελέσματα και οι πειραματικές μετρήσεις που προκύπτουν από την προσομοίωση προσανατολίζονται κυρίως στο κόστος παραγωγής και τη ζημία που προκαλούν οι διαρροές σε κάποια εταιρεία παροχής χλωρίου.

Οι ενέργειες που πραγματοποιεί μία εταιρεία μετά την αναφορά και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τα σενάρια ατυχημάτων εξαρτώνται από την πολιτική, τις προτεραιότητες και τους στόχους της. Εφόσον τα αποτελέσματα των σεναρίων εκτίμησης επικινδυνότητας πληρούν τις προδιαγραφές των κανονισμών ασφαλείας, εναπόκειται στην κρίση της διοίκησης εάν θα παρασχεθούν οι ανάλογοι πόροι για βελτίωση της απόδοσης των εγκαταστάσεων.

Ωστόσο, εξετάζοντας και αξιολογώντας τα αποτελέσματα των πειραμάτων του κεφαλαίου 5 μπορούμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα. Σύμφωνα με τα στατιστικά δεδομένα του προηγούμενου κεφαλαίου, η συχνότητα εμφάνισης διαρροών κατά τη διαδικασία της φόρτωσης χλωρίου είναι περίπου 4%. Το 2,6% ανιχνεύονται πριν τη φόρτωση ή οφείλονται σε υπερχειλίση, δηλαδή είναι διαρροές μικρής και μικρομεσαίας κλίμακας, ενώ το 1,4% αποτελεί διαρροές μεσαίας κλίμακας. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι σε όλα τα πειράματα που διεξάχθηκαν δεν εμφανίστηκαν μεγάλης κλίμακας διαρροές που να έχουν ως αποτέλεσμα την εκκένωση των εγκαταστάσεων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το επίπεδο επικινδυνότητας των εγκαταστάσεων για την ανθρώπινη υγεία είναι χαμηλό, αφού οι διαρροές που σημειώθηκαν στα πειράματα μπορούν να αντιμετωπιστούν χωρίς σοβαρές συνέπειες και επομένως δεν θέτουν σε κίνδυνο το προσωπικό και τον περιβάλλοντα χώρο. Επίσης, οι διαρροές αυτές δεν επηρέασαν σε σημαντικό βαθμό την αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων. Η απόδοση των εγκαταστάσεων, όσον αφορά τον αριθμό των βυτιοφόρων που εξυπηρετήθηκαν σε δεδομένο χρονικό διάστημα, υστερεί κυρίως κατά 1% με 3% από την ιδανική. Εξαίρεση αποτελεί το πείραμα Γ της εξυπηρέτησης 10 βυτιοφόρων, το οποίο παρουσιάζει απόδοση χειρότερη της ιδανικής κατά 13%. Βέβαια, η απόκριση των πειραμάτων με μικρό αριθμό οχημάτων ως είσοδο έχει μεγαλύτερη ευαισθησία σε σχέση με των πειραμάτων εξυπηρέτησης περισσότερων οχημάτων.

Εάν οι τιμές της παραγωγικότητας των εγκαταστάσεων ικανοποιούν τη διοίκηση της επιχείρησης, τότε δεν χρειάζεται να γίνουν περαιτέρω ενέργειες. Σε περίπτωση όμως που η διοίκηση επιθυμεί να αυξήσει την παραγωγικότητα των εγκαταστάσεων, θα πρέπει να συσταθεί μία ερευνητική ομάδα με σκοπό τη μείωση των πιθανοτήτων αστοχιών. Η ερευνητική ομάδα θα μελετήσει το πρόβλημα και θα προτείνει λύσεις

που ελαττώνουν την πιθανότητα σφάλματος και βελτιώνουν την αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων.

Πέραν της αποδοτικότητας, η διοίκηση πρέπει να εξετάσει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα πειράματα και αφορούν τη συνέπειά της ως προς τους πελάτες της. Η εικόνα μίας εταιρείας αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη βιωσιμότητά της. Από τις πειραματικές μετρήσεις προκύπτει ότι ο μέσος χρόνος παραμονής των οχημάτων στις εγκαταστάσεις είναι διπλάσιος από τον ιδανικό ενώ το 80% των βυτιοφόρων υπόκειται σε καθυστέρηση, έστω και μικρή.

Εκτός όμως από το ποσοστό των βυτιοφόρων που καθυστερούν γενικά, σημαντική πληροφορία αποτελεί και το ποσοστό των οχημάτων που καθυστερούν περισσότερο από το χρονικό διάστημα της φόρτωσης δύο βυτιοφόρων, δηλαδή πάνω από 1570 χρονικές μονάδες. Ο λόγος είναι ότι μία τέτοια καθυστέρηση θα μπορούσε να προκαλέσει τη δυσαρέσκεια των πελατών σε αντίθεση με μία μικρή καθυστέρηση. Το πλήθος των οχημάτων που καθυστερούν καθώς και ο χρόνος της καθυστέρησης αυξάνει όσο αυξάνει ο αριθμός των οχημάτων που εξυπηρετούνται.

Στα πειράματα με είσοδο 10 βυτιοφόρα δεν εμφανίστηκε καθυστέρηση μεγαλύτερη των 1570 χρονικών μονάδων για κανένα όχημα. Στα πειράματα των 50 και 100 βυτιοφόρων τα ποσοστά των οχημάτων που υπέστησαν καθυστέρηση μεγαλύτερη των 1570 μονάδων είναι 7% και 1% αντίστοιχα. Τέλος, στα πειράματα των 200 βυτιοφόρων το ποσοστό αυτό είναι το μεγαλύτερο παίρνοντας την τιμή 54,5%.

Παρατηρούμε λοιπόν πόσο μπορεί να επηρεαστεί η συνέπεια της εταιρείας από τη συχνότητα εμφάνισης διαρροών. Εφόσον η διοίκηση της εταιρείας θεωρήσει ότι τα παραπάνω αποτελέσματα δεν πληρούν τις προδιαγραφές και δεν συμβαδίζουν με την πολιτική της εταιρείας, θα πρέπει να μελετηθούν τρόποι βελτίωσης των αποτελεσμάτων με διαφορετική διαχείριση της ουράς των πελατών ή ακόμα και μείωσης των πιθανοτήτων αστοχιών.

6.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Στη διατριβή αυτή μελετήθηκαν αρκετές πτυχές της διαδικασίας τροφοδοσίας χλωρίου, οι οποίες και συμπεριλήφθηκαν στη μοντελοποίηση. Η προσομοίωση του δικτύου Petri που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής αναπαριστά σε μεγάλο βαθμό την πραγματική διαδικασία φόρτωσης χλωρίου. Κάποιες επεκτάσεις

όμως στο μοντέλο του δικτύου Petri θα συνέβαλαν σε μεγαλύτερη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Αρχικά, προτείνεται περαιτέρω μελέτη των αιτιών σφαλμάτων και επέκταση του δέντρου αστοχιών. Η ανάπτυξη του δέντρου αστοχιών της παρούσης εργασίας περιέχει κάποιες παραδοχές για περιπτώσεις με πολύ μικρή πιθανότητα να συμβούν, όπως σεισμοί και ακραία καιρικά φαινόμενα, ενώ νεότερες μελέτες ίσως να αναφέρουν επιπλέον αυτές διαρροών. Επίσης, εκτενέστερη έρευνα στον παράγοντα της συντήρησης του εξοπλισμού θα βελτιώνει την αξιοπιστία του δέντρου αστοχιών και επομένως του μοντέλου της διατριβής αυτής.

Μία ακόμα ερευνητική που θα μπορούσε να αποτελέσει μελλοντική εργασία για τη βελτίωση και τη συμπλήρωση του μοντέλου της προσομοίωσης αλλά και της διαδικασίας τροφοδοσίας χλωρίου σε πραγματικές συνθήκες είναι η μείωση των πιθανοτήτων στο δέντρο αστοχιών. Με τη μελέτη διαφόρων υλικών και συνδεσμολογιών και τη δοκιμή τους μέσω προσομοιώσεων θα μπορούσαν να επιλεγούν λύσεις που βελτιώνουν τα αποτελέσματα των πειραμάτων.

Τέλος, προτείνεται το μοντέλο προσομοίωσης να δοκιμαστεί και σε περισσότερες εγκαταστάσεις με διαφορετικές τιμές πιθανοτήτων στο δέντρο αστοχιών. Εν συνεχεία, τα αποτελέσματα των πειραμάτων θα μπορούσαν να συγκριθούν με τα πραγματικά στατιστικά δεδομένα των εγκαταστάσεων για να εξακριβωθεί η αξιοπιστία του μοντέλου.

Βιβλιογραφία

- [1] Machaira P. and Papadakis G.A, "On the Evaluation of Safety Management System Performance through Organizational Factors: the case of handling dangerous substances in airports", PISAM 2006, Naples.
- [2] Kontogiannis, T. 1997, "A framework for the analysis of cognitive reliability in complex systems: a recovery centred approach" Reliability Engineering and System Safety, 58.
- [3] Jacobs, R. and Haber, S. 1994, "Organizational processes and nuclear power plant safety". Reliability Engineering and System Safety 45: 75-83.
- [4] Guldenmund, F.W., Hale, A.R. and Bellamy, L.J. 2000. The development and application of a tailored audit approach to major chemical hazard sites. In G.A. Papadakis (Eds), Risk Management in the EU of 2000: The challenge of implementing Council Directive 96/82/EC Seveso II: 275-287. Luxembourg: European Commission, JRC.
- [5] Mitchison, N. and Porter, S. (Eds) 1998, "Guidelines on a major accident prevention policy and safety management system, as required by Council Directive 96/82/EC (SEVESO II) ". Ispra: European Commission, DG JRC.
- [6] Bentley, P. D., & Sockley, J. D. 1992, "Hazard management and safety management systems: a structured approach" In Offshore Technology Conference (OTC) Proceedings
- [7] Moray, N.P. and Huey, B.M. (Eds), "Human Factors Research and Nuclear Safety. Washington: National Academy Press", 1988.
- [8] Papazoglou, I.A. and Aneziris, O., 1998, "On the quantification of the effects of organizational and management factors in chemical installations" In Reliability Engineering and System Safety 63.
- [9] Hale, A.R., Heming, B.H.J., Carthey, J. and Kirwan B. 1997. Modelling of Safety Management Systems. Safety Science 26.
- [10] Pate-Cornell, M.E. and Murphy, D.M. 1996 "Human and management factors in probabilistic risk analysis: the SAM approach and observations from recent applications". Reliability Engineering and System Safety 53.
- [11] The Chlorine Institute, Inc, "Pamphlet 66, Recommended Practices For Handling Chlorine Tank Cars"

- [12] Παπαδόπουλος Φώτης, “Μοντελοποίηση και ποσοτικοποίηση των ανθρώπινων λαθών κατά τη διαδικασία πλήρωσης ενός βυτιοφόρου χλωρίου”
- [13] Μαχαιρά Πασχαλία, “Σύστημα Διαχείρισης Ασφαλείας στη διακίνηση επικίνδυνων ουσιών σε Αεροδρόμια”
- [14] CPNtools Help, <http://wiki.daimi.au.dk/cpntools-help/cpntools-help.wiki>
- [15] WikiPedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Chlorine>
- [16] HAZOP, “Αιτίες γεγονότων κατά τη φόρτωση βυτιοφόρων”
- [17] <http://ull.chemistry.uakron.edu>
- [18] <http://webnet3.oecd.org>