

# Ποσοτική εκτίμηση πιθανοτήτων πρόκλησης εργατικών ατυχημάτων στη Ναυπηγοεπισκευαστική ζώνη

Α. Παπακώστας<sup>1</sup>, Ζ. Τσαρακλής<sup>1,2</sup>, Ι.Κ. Χατζηγεωργίου<sup>1</sup>, Β.Ι. Παπάζογλου<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

<sup>2</sup>Σώμα Επιθεώρησης Εργασίας, Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικής Ασφάλισης

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η πιθανοθεωρητική εκτίμηση πρόκλησης ατυχημάτων που συναρτώνται με ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες και η ποσοτικοποίηση της αντίστοιχης πιθανότητας. Τα ατυχήματα τα οποία εξετάζονται και χρησιμοποιούνται ως βάση για την εφαρμογή της μεθόδου στατιστικής εκτίμησης είναι πραγματικά. Συγκεκριμένα, οι λεπτομέρειες αυτών ελήφθησαν από τα βιβλία ατυχημάτων του Κέντρου Πρόληψης Επαγγελματικού Κινδύνου (ΚΕ.Π.Ε.Κ.) [1]

Η ανάλυση των ατυχημάτων γίνεται μέσω της διακρίβωσης των συμβάντων τα οποία τα προκάλεσαν. Επίσης, τα συμβάντα κατηγοριοποιούνται με βάση την ειδικότητα και τη σοβαρότητα του συμβάντος. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην ύπαρξη πιστοποιητικού ασφαλούς χρήσης φλόγας (gas free). Η θεωρητική μέθοδος η οποία εφαρμόζεται για την εκτίμηση της πιθανότητας βασίζεται στη διαδικασία ακολουθίας συμβάντων και στην κατασκευή των σχετικών διαγραμμάτων (event sequence diagrams) σε συνδυασμό με την υπόθεση συγκεκριμένων κατανομών πυκνότητας πιθανότητας.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες εμπίπτουν αναμφίβολα στον τομέα παραγωγής που συχνά αναφέρεται ως «βαριά βιομηχανία». Ενώ σε άλλους τομείς της τελευταίας, η διαδικασία παραγωγής μπορεί να αυτοματοποιηθεί σε κάποιο βαθμό, εργασίες που σχετίζονται εν γένει με ναυπηγήματα είναι λιγότερο ευέλικτες στην αποδοχή της τεχνολογικής προόδου, εάν φυσικά αυτή υφίσταται. Και είναι αμφίβολο εάν η τελευταία μπορεί να υπάρξει, και σε ποια έκταση. Ο σημαντικότερος παράγοντας που κρίνει την ανάπτυξη και φυσικά την εφαρμογή νέων διαδικασιών είναι το μέγεθος των αντικειμένων επί των οποίων θα εφαρμοστούν. Είναι αδιανόητο στον παρόντα χρόνο, να μπορεί να επιχειρηματολογηθεί ότι είναι εφικτή η πλήρης αυτοματοποίηση π.χ. της συγκόλλησης ελασμάτων. Ένας ακόμη ανασταλτικός παράγοντας σε αυτό το πλαίσιο είναι η ποικιλία και η πολυπλοκότητα των εργασιών επισκευής ή κατασκευής ενός πλωτού μέσου.

Κατά συνέπεια ο άνθρωπος, και εν προκειμένω η φυσική του παρουσία, παραμένει ο σημαντικότερος παράγοντας υλοποίησης διαδικασιών σε αναφορά με τη ναυπηγική βιομηχανία. Ναυπηγική βιομηχανία δεν θα πρέπει να νοηθεί εν προκειμένω ο τεχνολογικός τομέας ο οποίος ακολουθεί επιστημονικούς κανόνες εφαρμοζόμενους σε περιχαρακωμένο χωρικό πεδίο, π.χ. στα ναυπηγεία. Αντικείμενο της ναυπηγικής βιομηχανίας είναι και οι επισκευές επί πλοίων οι οποίες μπορούν να γίνονται οπουδήποτε με βάση φυσικά τις εκάστοτε ανάγκες. Είναι επίσης σαφές ότι όταν εμπλέκεται ο ανθρώπινος παράγοντας, και μάλιστα σε αντικείμενα ιδιαίτερα ιδιόζοντα από απόψεως πρακτικής δυσκολίας, δεν μπορεί να αποκλειστεί η πρόκληση ατυχημάτων, γεγονός το οποίο καθιστά τη λήψη μέτρων ασφάλειας ανελαστική απαίτηση.

Η έλλειψη απόλυτης γνώσης οδηγεί στις περισσότερες των περιπτώσεων στην ανάγκη εκτίμησής της. Η διατύπωση αυτή δεν έχει φιλοσοφικό περιεχόμενο. Αντίθετα, περιγράφει την προσπάθεια υπέρβασης πρακτικών δυσκολιών. Στο υπό διερεύνηση αντικείμενο, το σημαντικότερο ζητούμενο είναι η εκτίμηση του κινδύνου στον οποίο είναι εκτεθειμένοι οι εργαζόμενοι που απασχολούνται σε σχετικές εργασίες. Σε θεωρητικό επίπεδο, αυτό μπορεί να γίνει με την ποσοτικοποίηση της επικινδυνότητας (του ρίσκου) η οποία ενέχεται και χαρακτηρίζει αντίστοιχες διαδικασίες. Η ποσοτικοποίηση παρέχει ένα απόλυτο μέτρο της γνώσης, καθώς και βάση συγκριτικής ανάλυσης. Το ερώτημα κατά συνέπεια που εύλογα τίθεται είναι ποια είναι η παράμετρος που πολιτικοποιεί την επικινδυνότητα. Η απάντηση εδώ είναι εύκολη: η πιθανότητα πρόκλησης ενός ανεπιθύμητου συμβάντος. Το ακόλουθο ερώτημα αφορά τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να υπολογιστεί αυτή η πιθανότητα. Η απάντηση στο δεύτερο ερώτημα δεν είναι προφανής. Δεδομένο, όμως, παραμένει ότι ο υπολογισμός της πιθανότητας θα πρέπει να γίνει με εφαρμογή θεωρητικών και υπολογιστών εργαλείων τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη την ακολουθία που μπορεί να οδηγήσει στο διερευνόμενο (ανεπιθύμητο) συμβάν.

Προς τούτο στην παρούσα εργασία ακολουθείται η μέθοδος της ακολουθίας συμβάντων. Δεν θα πρέπει να υποεκτιμηθεί η πολυπλοκότητα της πραγματικής ακολουθίας που μπορεί να οδηγήσει σε κατάσταση επικινδυνότητας. Αυτή εξ' αντικειμένου δεν είναι δεδομένη αλλά και ούτε μπορεί να προεκτιμηθεί με απόλυτη ασφάλεια. Κατά συνέπεια μόνο υποθέσεις μπορούν να γίνουν. Υποθέσεις, όμως, που βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα, όπως υπαρκτές περιπτώσεις.

Μία επιπλέον προφανής δυσκολία που ερείδεται στον σχηματισμό της διαδικασίας είναι η πιθανότητα εμφάνισης κάθε ενδιάμεσου συμβάντος. Αυτή δεν μπορεί να είναι γνωστή λόγω πολλών παραγόντων, κυριότεροι των οποίων είναι η έλλειψη στατιστικών δεδομένων, η μη δημοσιοποίησή τους για πολλούς λόγους, η απροθυμία κοινοποίησής τους, η δυσκολία εύρεσής τους κ.λπ. Αλλά, ακόμη και να υπήρχαν και να ήταν διαθέσιμα αυτά τα στοιχεία, μπορεί να υποτεθεί με ασφάλεια ότι η σημειακή πιθανότητα θα παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως του χρόνου; Μήπως θα ήταν πιο ενδεδειγμένη η χρήση θεωρητικών περιγραφών μέσω κατανομών; Όλα τα προηγούμενα αποτελούν δυσάπαιχτα ερωτήματα.

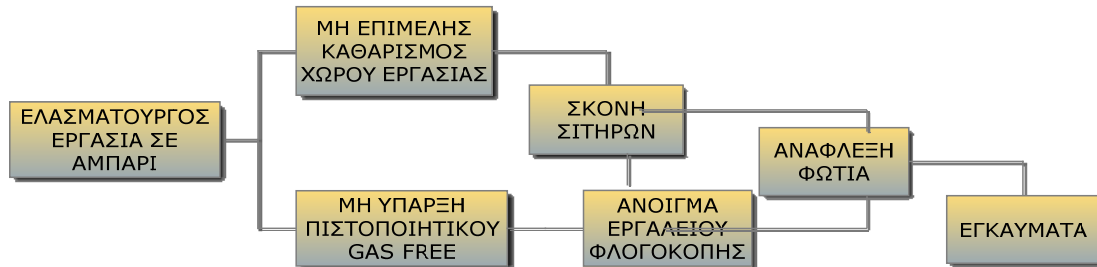
Στην παρούσα εργασία γίνεται μία πρώτη προσπάθεια εκτίμησης της επικινδυνότητας η οποία εμπλέκεται με συνήθεις εργασίες που πραγματοποιούνται σε Ναυπηγοεπισκευαστικές Ζώνες. Βάση της μελέτης υπήρξε η χρήση στοιχείων που ελήφθησαν από πραγματικά συμβάντα και συγκεκριμένα οι έγγραφες περιγραφικές μαρτυρίες αρμοδίων επιθεωρητών που επελήφθησαν των περιπτώσεων. Καταβλήθηκε προσπάθεια για την ακριβή κατά το δυνατόν αντιστοίχιση μεταξύ της περιγραφής των επιθεωρητών και των διαγραμματικών μοντέλων. Είναι σαφές ότι έγιναν αρκετές παραδοχές αναφορικά με τις ενδιάμεσες πιθανότητες λόγω έλλειψης στατιστικών δεδομένων. Για τα ενδιάμεσα συμβάντα, συνδυασμός των οποίων οδηγεί τελικά στην πρόκληση ατυχήματος, θεωρήθηκαν σημειακές τιμές, εναλλακτικά δε υποτέθηκαν συγκεκριμένες κατανομές πυκνότητας πιθανότητας και συγκεκριμένα Κανονικές, Λογαριθμικές, Τριγωνικές, ομοιόμορφες, Γάμμα και Weibull. Ο λόγος εφαρμογής κάθε μιας εξ' αυτών επεξηγείται περιληπτικά.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι η εξαγωγή των κατανομών πυκνότητας πιθανότητας του τελικού αποτελέσματος και φυσικά της τιμής της πιθανότητας η οποία αποτελεί την ποσοτικοποιημένη έκφραση της στατιστικής ανάλυσης. Η εργασία επικεντρώνεται σε χαρακτηριστικά συμβάντα ιδιάζουσας σημασίας και μέσω της ανάλυσης αυτών εξάγονται ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Οι αριθμητικοί υπολογισμοί έγιναν με χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού iQRAS.

## 2. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

Συνολικά μελετήθηκαν και αναλύθηκαν 50 συμβάντα, οι λεπτομέρειες των οποίων ελήφθησαν από τα αρχεία του ΚΕ.Π.Ε.Κ. [1]. Όλα αφορούσαν σε ατυχήματα που έγιναν στη Ναυπηγοεπισκευαστική Ζώνη κατά τη διάρκεια εργασιών επί πλοίων. Κατά την ανάλυση

κατεβλήθη προσπάθεια για τη σχηματοποίηση της ατυχηματικής σειράς που οδήγησε εν τέλει στην πρόκληση. Με τον όρο σχηματοποίηση νοείται η κατασκευή σκαριφηματικού μοντέλου που δηλώνει την ακολουθία των ενδιάμεσων συμβάντων, ο συνδυασμός των οποίων οδηγεί στο ατύχημα. Ενδεικτικά παραδείγματα παρατίθενται στα Σχήματα 1 και 2.

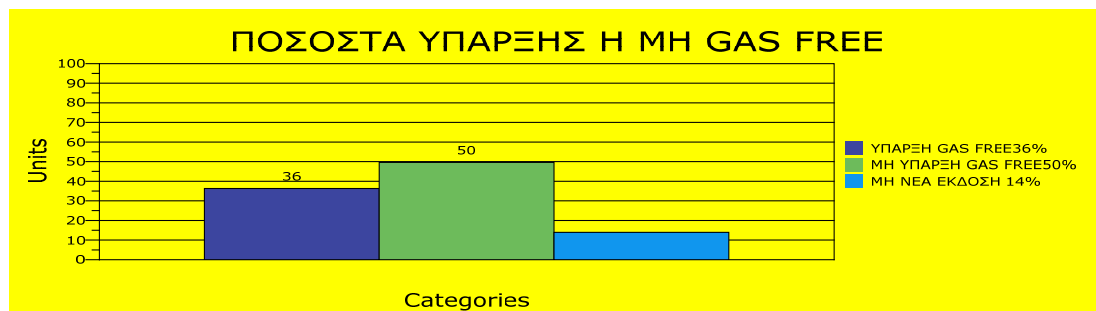


Σχήμα 1. Ακολουθία συμβάντων κατά την εργασία ελασματοουργού σε αμπάρι με τελικό αποτέλεσμα την πρόκληση εγκαυμάτων



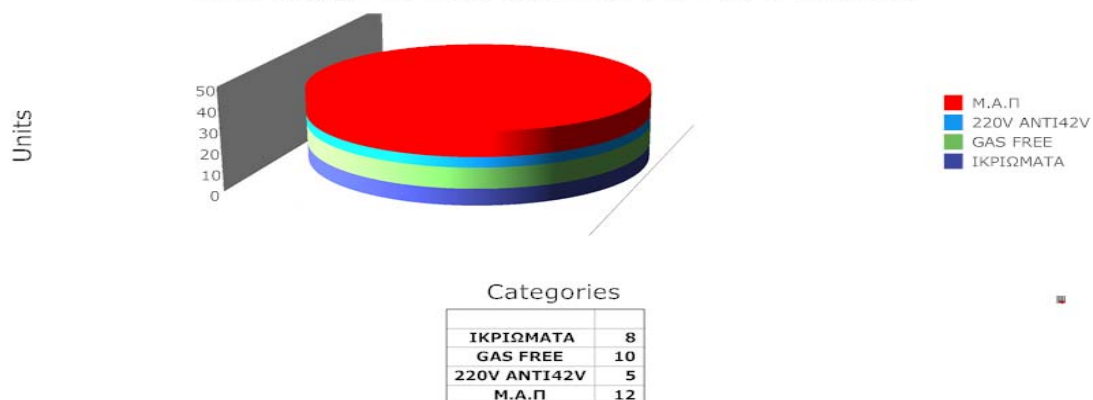
Σχήμα 2. Ακολουθία συμβάντων κατά την εργασία καθαριστή στα διπύθμενα με τελική κατάληξη θάνατο.

Η διάθεση και η εν συνεχεία ανάλυση των εκθέσεων παρέιχε τη δυνατότητα προκαταρκτικής στοιχειώδους στατιστικής διερεύνησης της σημαντικότητας των συμβάντων σε αναφορά με το είδος της εργασίας, τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό, την ύπαρξη ή μη πιστοποιητικού ασφαλούς χρήσης φλόγας (gas free certification), τη σοβαρότητα των ατυχημάτων και την περιοχή στην οποία συνέβησαν. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στα Σχήματα 3-6.



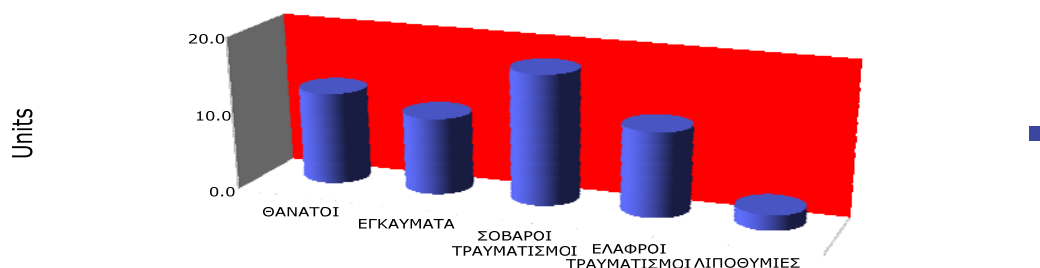
Σχήμα 3. Ύπαρξη πιστοποιητικού ασφαλούς χρήσης φλόγας

### ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4. Βασικοί παράγοντες ατυχημάτων

### ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ



Σχήμα 5. Σοβαρότητα ατυχημάτων



Σχήμα 6. Χώρος όπου προκλήθηκε το ατύχημα.

Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 3-6, ένα εξαιρετικά σημαντικό θέμα που κατά βάση «χαρακτηρίζει» ως αυξημένη την πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος είναι η ύπαρξη πιστοποιητικού ασφαλούς χρήσης φλόγας. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι η ύπαρξη αυτού θεωρήθηκε ως αποτυπώνουσα την πραγματικότητα, ότι τωόντι ήταν ασφαλής η χρήση φλόγας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, μία στις δύο περιπτώσεις αντιστοιχούσαν στην έλλειψη του πιστοποιητικού, ενώ σε πάνω από το 10% των περιπτώσεων έπρεπε οι υπεύθυνοι να φροντίσουν για την επανέκδοσή του, γεγονός που δεν υλοποιήθηκε.

Αναφορικά με τους βασικούς παράγοντες που οδηγούν σε ένα ατύχημα, το Σχήμα 4 καταδεικνύει τη σοβαρότητα της χρήσης των μέτρων ατομικής προστασίας. Είναι, επίσης, εξαιρετικά σημαντικό το εύρημα ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων τα ατυχήματα

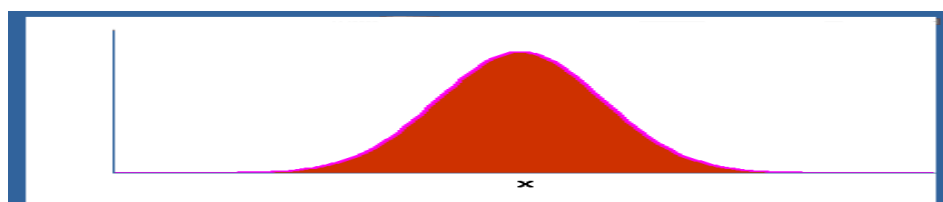
κατέληξαν σε σοβαρούς τραυματισμούς και εγκαύματα, τα οποία διακρίνονται από τους προηγούμενους κατά το γεγονός ότι δεν αφορούσαν επιρροές στο μυοσκελετικό σύστημα (Σχήμα 5). Είναι εξάλλου ιδιαίζόντως ανησυχητικό το γεγονός ότι στο 12% των περιπτώσεων τα ατυχήματα αφορούσαν την πρόκληση θανάτου εργαζομένου. Τέλος, σε συνάφεια με τον χώρο όπου συμβαίνουν τα ατυχήματα, οι δεξαμενές, όπως ήταν αναμενόμενο, κατέχουν τα πρωτεία (27%) (Σχήμα 6).

Θέματα τα οποία θα πρέπει να τύχουν ιδιαίτερης προσοχής από αρμόδιους φορείς και φυσικά πρόσωπα είναι η χρήση μέτρων ατομικής προστασίας, η κατάσταση των ικριωμάτων λόγω μη εφαρμογής των κανονισμών για τα δάπεδα εργασίας και η χρήση τάσης υψηλότερης της ενδεικνυόμενης (Σχήμα 4). Αναφορικά, τέλος, με τις ειδικότητες της εργασίας, κατέστη σαφές ότι οι εργαζόμενοι που ειδικεύονται σε εργασίες που απαιτείται χρήση φλόγας όπως οι σωληνουργοί ή ελασματοουργοί εκτίθενται σε μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας.

### 3. ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ [2]

Η στατιστική ανάλυση μίας διαδικασίας και εξ' αυτής ο υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης ενός συμβάντος (π.χ. αποτυχίας) απαιτεί, όπως προαναφέρθηκε, την κατάστρωση της ατυχηματικής σειράς η οποία υλοποιείται στο παρόν μέσω διαγραμμάτων ακολουθίας συμβάντων. Για τον τελικό υπολογισμό της συζευγμένης πιθανότητας είναι απαραίτητη η γνώση της πιθανότητας εμφάνισης των ενδιάμεσων συμβάντων. Ο χαρακτηρισμός αυτών μπορεί να γίνει με σημειακές πιθανότητες, εφόσον υπάρχουν τα απαραίτητα δεδομένα. Ακόμη και σε αυτήν την περίπτωση, όμως, η θεώρηση σημειακής πιθανότητας μπορεί να είναι ελλιπής προσέγγιση, ενδεχομένως λόγω περιορισμένου ή μη αντιπροσωπευτικού δείγματος, αλλά και εξ' αιτίας του γεγονότος ότι οι σημειακές πιθανότητες δεν παρέχουν πληροφορίες για την ποιοτική μεταβολή. Για παράδειγμα, δεν μπορούν να προβλέψουν αύξηση ή μείωση του ρυθμού επικινδυνότητας με την πάροδο του χρόνου. Σε αντίστοιχες περιπτώσεις επιβάλλεται η χρήση κατανομών. Στην παρούσα εργασία υιοθετήθηκαν συγκεκριμένες κατανομές πυκνότητας πιθανότητας (Κανονική, Λογαριθμική, Weibull, Τριγωνική, Ομοιόμορφη, Γάμμα).

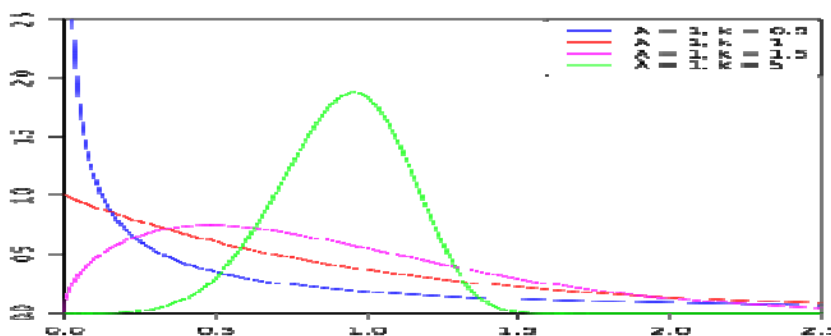
Μία κατανομή πυκνότητας πιθανότητας περιγράφει το πεδίο των πιθανών τιμών που μια τυχαία μεταβλητή μπορεί να πάρει και η έννοιά της κρύβεται κάτω από τη μαθηματική πειθαρχία της θεωρίας των πιθανοτήτων. Η κανονική κατανομή (Σχήμα 7) χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει οποιαδήποτε μεταβλητή τείνει να συγκεντρωθεί γύρω από τον μέσο όρο. Για παράδειγμα, έγινε αντιληπτό ότι τα ατυχήματα που συμβαίνουν σε ναυπηγοεπισκευαστικές ζώνες παρουσιάζονται περισσότερο σε ηλικίες μεταξύ 30-50 με έναν μέσο όρο κοντά στα 40 έτη. Έτσι, μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας όταν χρησιμοποιείται η κανονική κατανομή θα έχει τη μορφή του Σχήματος 7.



Σχήμα 7. Παράδειγμα κανονικής κατανομής πυκνότητας πιθανότητας

Η κατανομή Weibull περιγράφει διαδικασίες με μη σταθερό ρυθμό επικινδυνότητας. Δεδομένου ότι σε εργασίες ναυπηγοεπισκευαστικής φύσης θα πρέπει να θεωρηθεί μη σταθερός ο ρυθμός επικινδυνότητας, και μάλιστα αυξανόμενος με την πάροδο του χρόνου, καθιστά την κατανομή Weibull αξιόπιστο υπολογιστικό εργαλείο, διότι δίνει την κατανομή των αποτυχιών, όταν το ποσοστό αποτυχίας είναι ανάλογο προς μια δύναμη του χρόνου. Αυτή η δύναμη είναι η παράμετρος μορφής K (shape parameter) και με βάση τις τιμές που λαμβάνει καθορίζει τα ποσοστά αποτυχίας. Τιμές μικρότερες του 1 δείχνουν ότι το ποσοστό αποτυχίας

μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, ίσες με 1 ότι το ποσοστό αποτυχίας είναι σταθερό, ενώ μεγαλύτερες, ότι ο ρυθμός αποτυχίας αυξάνεται. Συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας της εν λόγω κατανομής παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8. Παραδείγματα κατανομών Weibull

Σε σχέση με τις υπόλοιπες κατανομές, η τριγωνική κατανομή χρησιμοποιείται όπου η κατανομή είναι μόνο αόριστα γνωστή, αλλά, όπως και στην ομοιόμορφη κατανομή, τα όρια είναι γνωστά. Για μια «καλύτερη υπόθεση», προστίθεται ένα κεντρικό σημείο. Η τριγωνική κατανομή χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά για τις περιπτώσεις όπου υπάρχει μόνο περιορισμένο πλήθος δειγμάτων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατανομή Γάμμα η οποία χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να εκλάβουμε πιθανότητες που σχετίζονται με χρόνους αναμονής.

#### 4. ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

Η κατανόηση του κινδύνου και η εφαρμογή των σωστών στρατηγικών είναι ουσιώδεις παράγοντες για την υγιεινή και ασφάλεια εργασίας. Μια επιτυχής και αποτελεσματική προσέγγιση στη διαχείριση κινδύνου εξαρτάται αυστηρά από τη δυνατότητα να απαντηθούν κάποια ερωτήματα κλειδιά:

- Πόσο μεγάλοι είναι οι κίνδυνοι;
- Ποια είναι τα πλέον πιθανά σενάρια κινδύνου και πόσο σοβαρές θα ήταν οι συνέπειες;
- Ποια στοιχεία στο σύστημα ή την οργάνωσή μας είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που συνεισφέρουν στον κίνδυνο;
- Πώς ο κίνδυνος θα επηρεαστεί από τις αλλαγές στο σύστημα ή την οργάνωση;
- Πόσο βέβαιοι είμαστε για τις απαντήσεις στα ανωτέρω και πώς μπορούμε να αυξήσουμε την εμπιστοσύνη μας;
- Πρέπει να αναλύσουμε τους πολλαπλάσιους ή ενιαίους παράγοντες για να εξετάσουμε τις αβεβαιότητες για τη μείωση του κινδύνου;
- Εξετάζουμε παράγοντες όπως: συστήματα, διαδικασίες, οργάνωση, άνθρωποι, επικοινωνία και απρόβλεπτα στοιχεία ως τμήμα των αξιολογήσεων του κινδύνου;
- Πρέπει να κατασκευάσουμε σενάρια, με πολλά στοιχεία ή παράγοντες κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης του κινδύνου;
- Αυτά τα στοιχεία ή παράγοντες θέτουν μια απειλή ή έναν πιθανό κίνδυνο από μόνα τους ή έχουν μια επίδραση σε άλλα μέρη της οργάνωσης;

Έτσι, με βάση τα ανωτέρω η πιθανοθεωρητική ανάλυση και εκτίμηση επικινδυνότητας παρέχει πρακτικές τεχνικές, οι οποίες μπορούν να εκτιμήσουν μελλοντικές καταστάσεις, καθώς και την ορθότερη διαχείριση επικινδυνότητας και έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος σύνθετων συστημάτων. Δηλαδή, εκτιμά πόσο σοβαρά και πόσο συχνά μπορεί να είναι

ορισμένα συμβάντα με σκοπό τη βελτίωση της ασφάλειας και της απόδοσης των συστημάτων αυτών με λογικό κόστος. Η μεθοδολογία της μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερα βήματα (βλέπε Σχήμα 9).

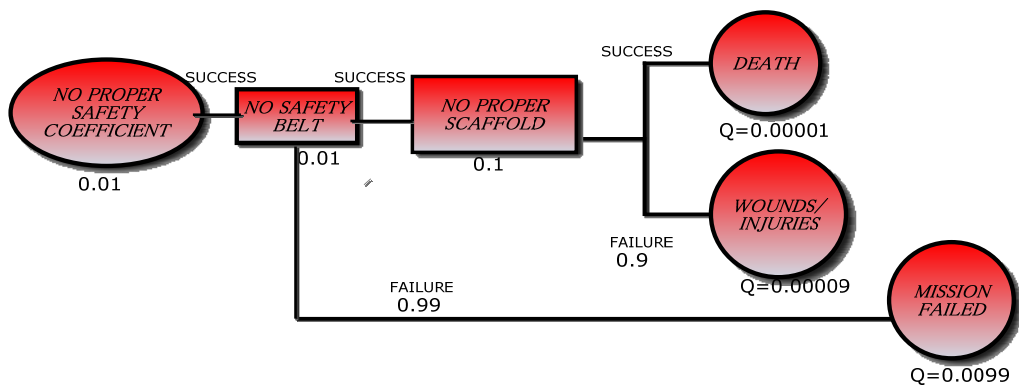


Σχήμα 9. Βήματα για την πιθανοθεωρητική εκτίμηση

Στην προσπάθειά μας να προσδιορίσουμε τους κινδύνους, να βρούμε τους σημαντικότερους παράγοντες που συνεισφέρουν σε αυτούς, καθώς και αποτελεσματικούς τρόπους να μειωθούν και να βελτιώσουμε την κατανόησή μας για αυτούς, χρησιμοποιήθηκαν διαγράμματα ακολουθίας συμβάντων. Το γεγονός έναρξης με τα χρονικά του όρια, οι ακολουθίες γεγονότων και, τελικά, η πιθανότητα αποτυχίας, μας οδηγούν σε πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Διευκρινίζεται ότι τα σενάρια από τα οποία λάβαμε τις διάφορες τιμές πιθανότητας είναι προϊόν πραγματικών γεγονότων, όπως αυτά κατεγράφησαν από το ΚΕ.Π.Ε.Κ.

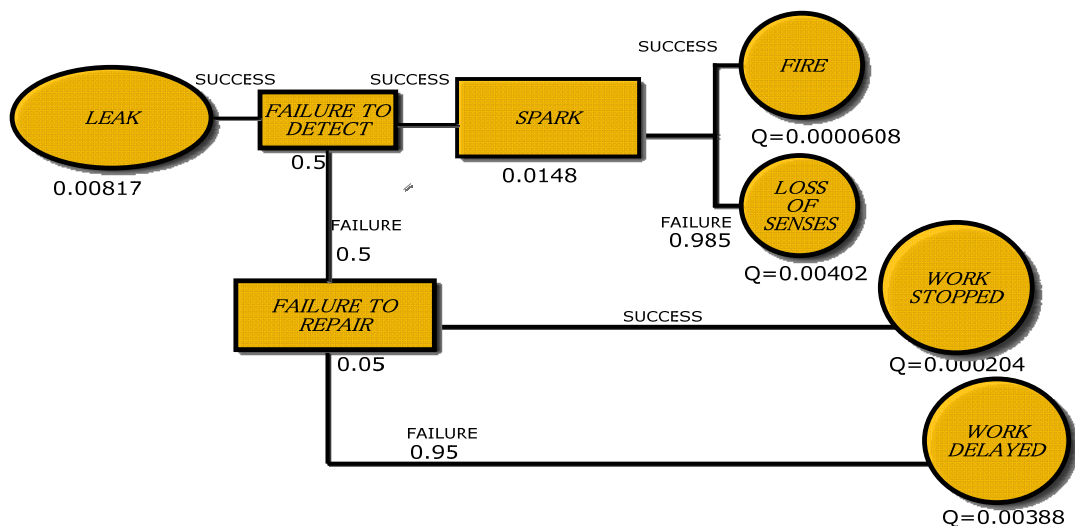
Έτσι σε πρώτη προσέγγιση έγιναν διαγράμματα ακολουθίας γεγονότων (συμβάντων) για τα οποία χρησιμοποιήθηκαν μόνο σημειακές τιμές με γνώμονα τα στατιστικά αποτελέσματα, αλλά και μέσω παραδοχών, για να καταδείξουμε τους κινδύνους που προκύπτουν μέσα από έναν αρνητικό συνδυασμό παραγόντων. Εξετάστηκαν οι παράγοντες της μη τήρησης μέσω ατομικής προστασίας και των εργασιών επάνω σε ικριώματα, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της σκόνης από σιτηρά και πώς αυτή μπορεί να οδηγήσει σε κάποιο ατύχημα. Σημειώνεται ότι οι πυρκαγιές που προκαλούνται από την ανάφλεξη στρώσεων σκόνης δεν είναι τόσο σπάνιες.

Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα που αφορά εργασία επάνω σε ικριώμα και δείχνει το πώς οι διάφοροι αρνητικοί συντελεστές, όπως ο μη κατάλληλος συντελεστής ασφαλείας συγκόλλησης και τύπος ικριώματος, αλλά και η παράλληλη μη τήρηση των μέτρων ατομικής προστασίας κατά την πραγματοποίηση μιας εργασίας, μπορούν να οδηγήσουν σε ένα αρνητικό συμβάν. Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων με βάση τις σημειακές τιμές που έχουν καθοριστεί δίνει πιθανότητα θανάτου  $10^{-5}$  και πιθανότητα τραυματισμού  $10^{-4}$  περίπου.



Σχήμα 10. Διάγραμμα ακολουθίας συμβάντων για εργασία σε ικρίωμα

Μέσα από τις διαφορές κατανομές κατεβλήθη προσπάθεια να βρεθούν οι πιθανότητες από διάφορες περιπτώσεις ατυχημάτων που μπορούν να συμβούν μέσα σε ένα πλοίο. Τα πετρελαιοειδή έχουν έντονη τάση να ατμοποιούνται και οποιαδήποτε τυχαία πηγή ανάφλεξης μπορεί εύκολα να αναφλέξει τέτοιου είδους ατμούς, με συνέπεια να προκληθεί μια φωτιά στο πλοίο. Επιπρόσθετα εξεταστήκαν πιθανότητες μερικής ή ολικής καταστροφής του πλοίου μέσα από φυσικά φαινόμενα όπως στατικός ηλεκτρισμός ή πρόκληση σπινθήρων από πίπτοντα ή εκσφενδονιζόμενα μεταλλικά αντικείμενα. Στα δύο παρακάτω παραδείγματα εξετάζεται η πιθανότητα πρόκλησης φωτιάς λόγω διαρροής και η μερική η ολική καταστροφή του πλοίου εξαιτίας του φαινομένου του στατικού ηλεκτρισμού.

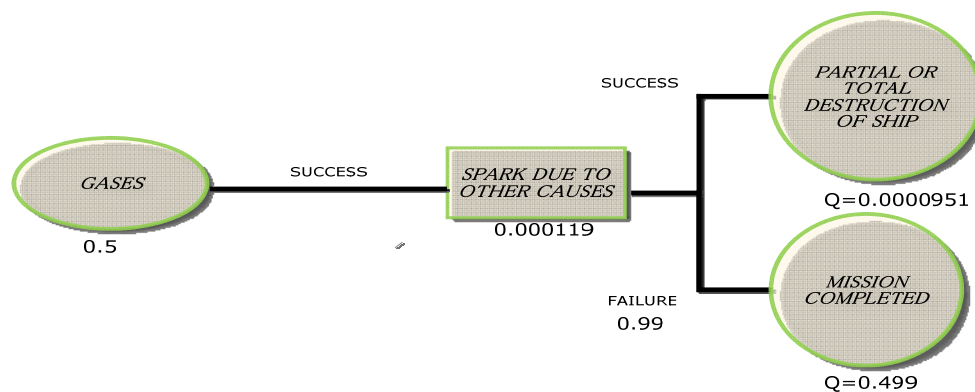


Σχήμα 11. Διάγραμμα ακολουθίας συμβάντων για πρόκληση φωτιάς λόγω διαρροής

Για την πιθανότητα διαρροής (Σχήμα 11) χρησιμοποιήθηκε κανονική κατανομή με αποτέλεσμα τον υπολογισμό πιθανότητας ίσης με 0.00817, ενώ για την πιθανότητα σπινθήρα ομοιόμορφη κατανομή με αποτέλεσμα 0.0148. Με ενδιάμεση πιθανότητα μη ανίχνευσης της διαρροής ίση με 0.5 καταλήξαμε σε πιθανότητα πρόκλησης φωτιάς ίση με 0.0000608. Η πιθανότητα που λαμβάνεται (1/15000) δεν θα πρέπει να θεωρείται αμελητέα, αφού η



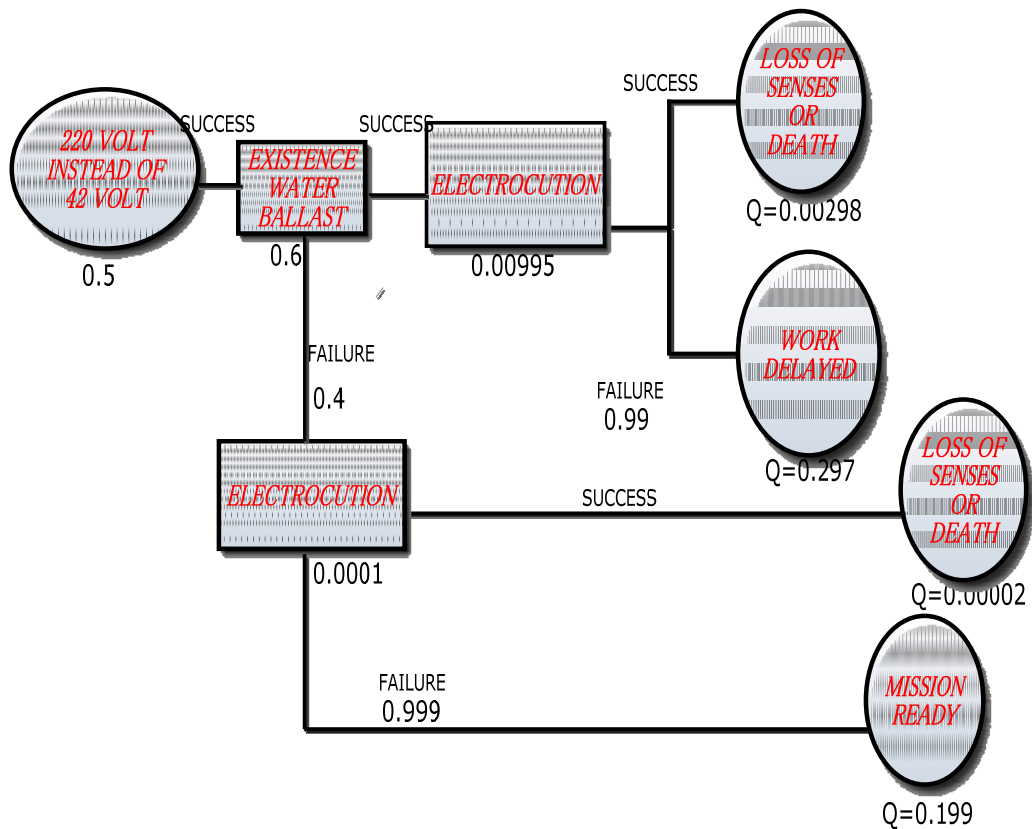
καταγραφή ατυχημάτων που σχετίζονται με την ύπαρξη φωτιάς από τέτοιες περιπτώσεις έχει δείξει ότι οι συνέπειες, εάν αυτή συμβεί, είναι πολύ αρνητικές όσον αφορά στον άνθρωπο αλλά και το ίδιο το πλοίο.



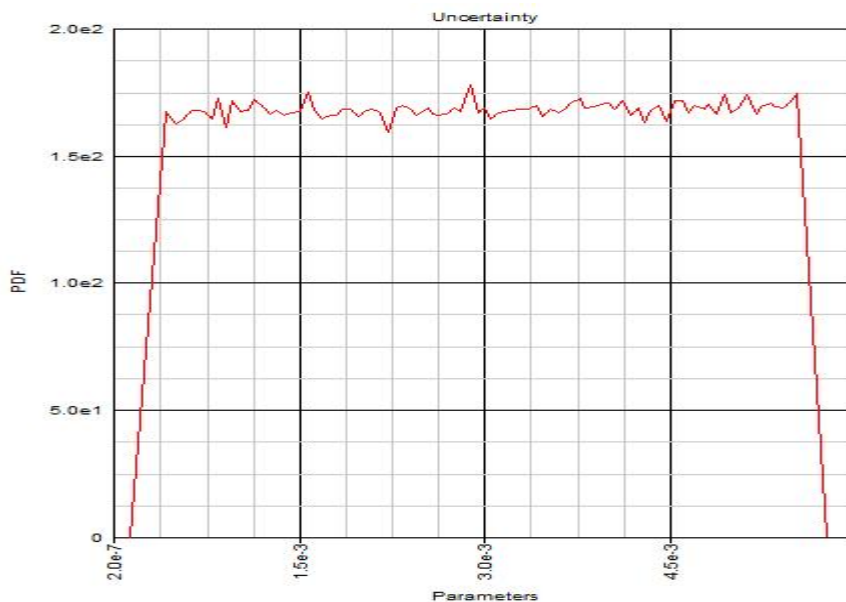
Σχήμα 12. Απλοποιητική κατάσταση που οδηγεί σε μερική ή ολική καταστροφή του πλοίου

Στο δεύτερο παράδειγμα εξετάζεται η πιθανότητα δημιουργίας σπινθήρα σε περιβάλλον εύφλεκτων αερίων και μέσω αυτού η μερική ή ολική καταστροφή ενός πλοίου κατά τη διάρκεια εργασιών επισκευής του. Προς τούτο χρησιμοποιήθηκε η κατανομή Weibull με συντελεστή κλίμακας 0.0001 και σχήματος 10. Οι υποθέσεις βασίζονται στο γεγονός ότι η πιθανότητα καταστροφής αυξάνεται στο χρόνο και πιθανότητα καταστροφής του πλοίου υφίσταται όταν προκαλείται φωτιά. Εδώ θεωρήθηκε ότι σπινθήρας δημιουργείται λόγω στατικού ηλεκτρισμού ανεξαρτήτως των λόγων εμφάνισης του τελευταίου. Σε συνάφεια με τα στατιστικά δεδομένα του Σχήματος 3, θεωρήθηκε ότι ύπαρξη αερίων υφίσταται στο 50% των περιπτώσεων. Ως τελικό αποτέλεσμα εξάγεται πιθανότητα ίση  $0.0000951=1/10500$ , που αφορά στη δημιουργία σπινθήρα ο οποίος θα καταλήξει σε ανάφλεξη λόγω ύπαρξης αερίων. Η μηδενική σχεδόν τιμή δείχνει τη μεγάλη δυσκολία να υπάρξει αντίστοιχη κατάσταση που μπορεί να οδηγήσει σε μερική ή ολική καταστροφή του πλοίου λόγω στατικού ηλεκτρισμού.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα ατυχήματα λόγω ηλεκτροπληξίας που θεωρείται ως ο τρίτος πιο σημαντικός παράγοντας ατυχημάτων κατά τη διάρκεια ναυπηγοεπισκευαστικών εργασιών, αφού συχνά γίνονται εργασίες σε χώρους όπου υπάρχουν υγρά. Θα αντιληφθούμε ότι η εκτίμηση πιθανότητας στο παράδειγμα που θα ακολουθήσει γίνεται με αυστηρά κριτήρια, δεδομένου ότι υπάρχουν διάφοροι συνδυαστικοί παράγοντες που μπορούν πολύ εύκολα να οδηγήσουν σε ατύχημα ηλεκτροπληξίας. Έτσι, η πιθανότητα που λαμβάνεται για ισχυρή ηλεκτροπληξία είναι σχεδόν 1/100 στο πλαίσιο ανάλυσης υψηλής ασφάλειας, ενώ ο τραυματισμός ή ακόμα και θάνατος 1/335. Για την πιθανότητα ηλεκτροπληξίας σε διάστημα εργασιών 2 ωρών χρησιμοποιήθηκε ομοιόμορφη κατανομή, δεδομένης της θεώρησης ότι η πιθανότητα ηλεκτροπληξίας είναι ομοιόμορφη μέσα στο διάστημα αυτό. Για τα υπόλοιπα γεγονότα λαμβάνονται σημειακές πιθανότητες. Ο τρόπος μεταβολής της πιθανότητας στο διάστημα ελέγχου απεικονίζεται στο Σχήμα 14. Είναι εμφανές ότι η μεταβολή είναι ομοιόμορφη, όπως επιβάλλεται από την υιοθετημένη κατανομή.



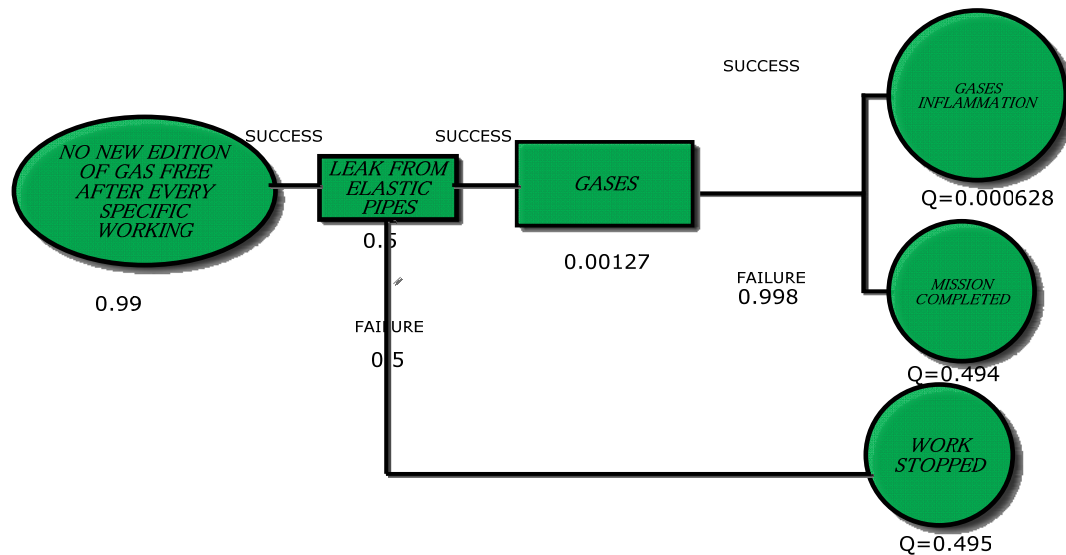
Σχήμα 13. Διάγραμμα ακολουθίας συμβάντων για πρόκληση ηλεκτροπληξίας λόγω χρήσης ακατάλληλης τάσης



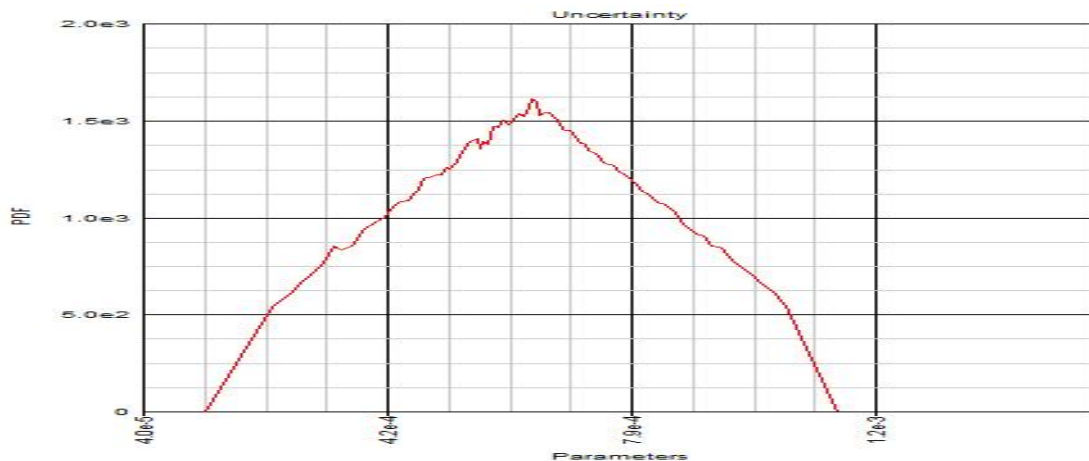
Σχήμα 14. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ακολουθίας συμβάντων του Σχήματος 13

Στη συνέχεια δίνεται έμφαση σε περιπτώσεις ατυχημάτων εξαιτίας της μη επανέκδοσης πιστοποιητικού απαλλαγής αερίων. Συχνά συμβαίνει να υπάρχει πιστοποιητικό, αλλά στην πορεία να πραγματοποιούνται κάποιες εργασίες που να θεωρούνται ότι δεν έχουν προσβάλλει τον χώρο με αέρια και έτσι μετέπειτα εργασίες με χρήση φωτιάς να οδηγούν σε

αναφλέξεις. Στο παράδειγμα που ακολουθεί εξετάστηκε η ύπαρξη αερίων με την τριγωνική κατανομή, με αποτέλεσμα την εύρεση πιθανότητας ίσης με 0.00127. Με βάση την εξεταζόμενη ακολουθία, η πιθανότητα ανάφλεξης των αερίων υπολογίζεται ίση με 0.000628. Επισημαίνεται συναφώς, ότι οι πιθανότητες που υποτέθηκαν για τα ενδιάμεσα γεγονότα θεωρήθηκαν σημειακές. Η αντίστοιχη κατανομή πυκνότητας πιθανότητας παρουσιάζεται στο Σχήμα 16.



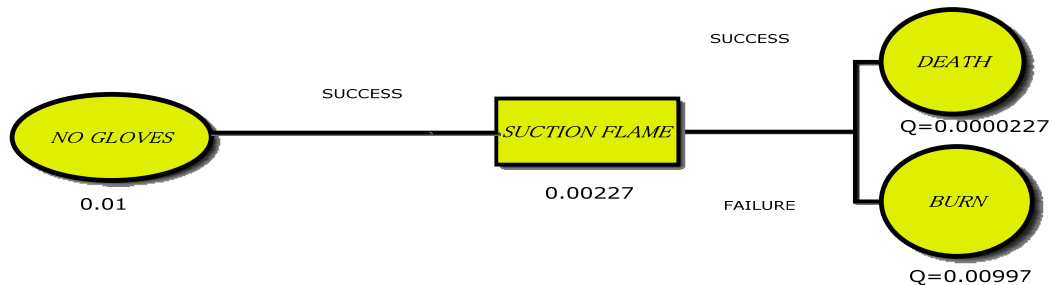
Σχήμα 15. Διάγραμμα ακολουθίας συμβάντων για την ανάφλεξη αερίων στην περίπτωση μη επανέκδοσης πιστοποιητικού ασφαλούς χρήσης φλόγας



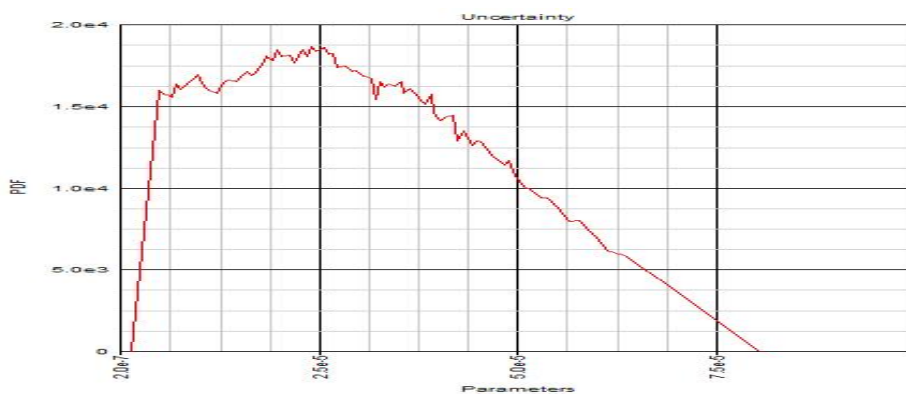
Σχήμα 16. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ακολουθίας συμβάντων του Σχήματος 15

Το τελευταίο παράδειγμα που εξετάζεται αφορά στον κίνδυνο ατυχήματος σε εργαζόμενους των οποίων η ειδικότητα απαιτεί χρήση φλόγας όπως είναι σωληνοουργοί ή ελασματοουργοί. Παράλληλα, γίνεται προσπάθεια για την καλύτερη κατανόηση της κανονικής κατανομής και της κατανομής Weibull καθώς και το πώς μεταβάλλουν την πιθανότητα όταν αναφέρονται στο ίδιο γεγονός και στο ίδιο διάστημα. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η μεταβολή της πιθανότητας με χρήση της κανονικής κατανομής με την υπόθεση ότι το αρχικό γεγονός έχει χρονικό όριο την έναρξή του ( $t=0$ ). Ένα σχετικό παράδειγμα είναι η χρησιμοποίηση εργαλείου φλογοκοπής όπου μπορεί να υπάρξει αναρρόφηση της φλόγας σε μηδενικό χρόνο. Για τα επακόλουθα συμβάντα υποτέθηκαν κατανομές Weibull στην πρώτη περίπτωση (Σχήματα 17-18) με χρήση συγκεκριμένων παραμέτρων μορφής και κλίμακας και στη δεύτερη

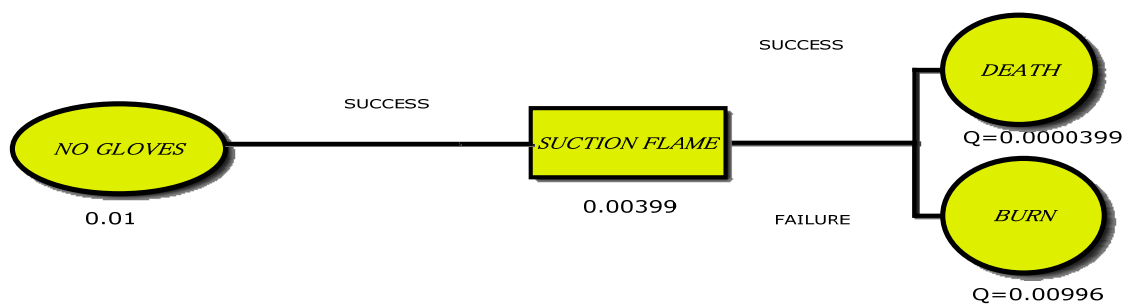
περίπτωση (Σχήματα 19-20) με χρήση αριθμητικών μεγεθών για τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση. Τα αποτελέσματα δεικνύουν την ευαισθησία της διαδικασίας υπολογισμού με εξάρτηση από τις υποθέσεις, γεγονός που αντανακλά την ανάγκη λήψης ορθών κατά το δυνατόν προσεγγίσεων για την εξαγωγή αξιόπιστων τελικών αποτελεσμάτων.



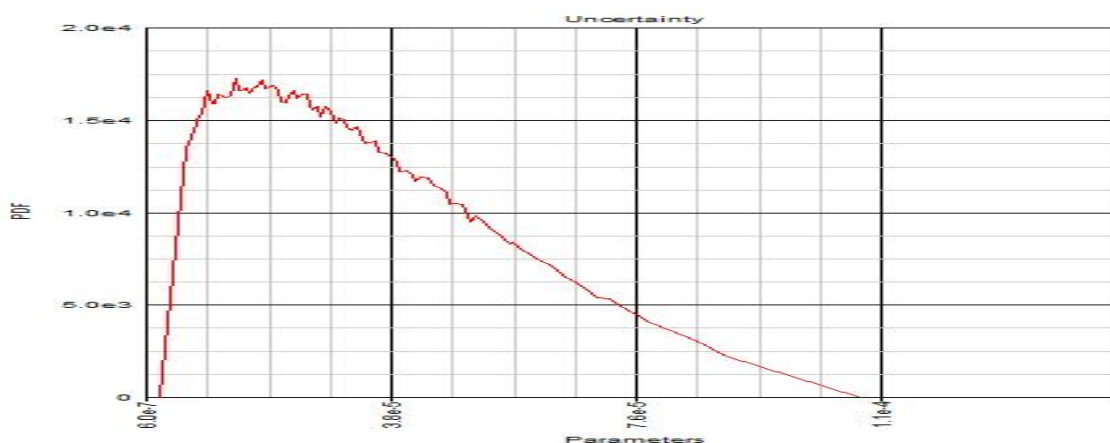
Σχήμα 17. Διάγραμμα ακολουθίας συμβάντων για την περίπτωση ατυχήματος λόγω αναρρόφησης φλόγας



Σχήμα 18. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ακολουθίας συμβάντων του Σχήματος 17



Σχήμα 19. Εναλλακτικό διάγραμμα ακολουθίας συμβάντων για την περίπτωση ατυχήματος λόγω αναρρόφησης φλόγας με χρήση διαφορετικής κατανομής



Σχήμα 20. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ακολουθίας συμβάντων του Σχήματος 19

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία καταβλήθηκε προσπάθεια για τη θεωρητική εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου σε εργασίες που σχετίζονται με επισκευές πλοίων. Η εκτίμηση αφορά στον υπολογισμό της αντίστοιχης πιθανότητας εμφάνισης ενός συμβάντος που εδώ περιγράφεται ως ατύχημα. Προς τούτο αναλύθηκαν πραγματικές καταστάσεις που συνέβησαν στο παρελθόν και κατασκευάστηκαν για κάθε μία εξ' αυτών τα αντίστοιχα ατυχηματικά μοντέλα.

Για την αριθμητική μοντελοποίηση της ακολουθίας των συμβάντων χρησιμοποιήθηκαν εναλλακτικά σημειακές πιθανότητες ή συγκεκριμένες κατανομές. Οι πιθανότητες που υπολογίστηκαν δείχνουν ότι τώνοντι οι πιθανότητες πρόκλησης ανεπιθύμητων συμβάντων είναι πολύ μικρές. Σε κάθε περίπτωση, όμως, επισημαίνεται ότι τα ατυχήματα προκλήθηκαν από διέγερση γνωστών αιτίων, όπως μη χρήση μέτρων ατομικής προστασίας, εφαρμογή μη κατάλληλων διαδικασιών κ.λπ.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σώμα Επιθεώρησης Εργασίας, Αρχείο Ατυχημάτων, ΚΕΠΕΚ Πειραιά και Νοτίου Αιγαίου
- [2] M.T. Todinov (2007). Risk-based reliability analysis and generic principles for risk reduction. Elsevier B.V. Amsterdam.
- [3] iQRAS (2006). Users manual, Item Software Inc.