

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**



**ΤΙΤΛΟΣ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΧΗ ΡΙΣΚΟΥ**

**ΤΕΥΧΟΣ Α
ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΡΙΣΚΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ
ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΧΩΡΟ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΒΟΥΡΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΝΙΚΟΛΑΟΣ Π. ΒΕΝΤΙΚΟΣ**

Αθήνα, Ιούλιος 2007

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Βεντίκο για την συνεχή ενθάρρυνση, καθοδήγηση και εμπιστοσύνη που έδειξε, καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής. Θεωρώ επίσης υποχρέωση μου, να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τη γιαγιά μου, για την στήριξη και την συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια, ιδιαίτερα όμως κατά την περίοδο φοίτησης στη σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την Μαρία Αλευρά για την αγάπη και την υπομονή που έχει δείξει.

Η διπλωματική αυτή δεν έχει σκοπό να αμφισβητήσει την δουλειά άλλων, αλλά μάλλον να δώσει ερεθίσματα προς σκέψη. Θεωρώ ότι τα κριτήρια τι είναι 'σωστό' ή 'αντικειμενικό' σε έναν τόσο υποκειμενικό τομέα, όπως είναι η Ανάλυση Ρίσκου, είναι λανθασμένα, καθώς η έννοιες 'σωστό' ή 'αντικειμενικό' διαφοροποιούνται συνεχώς.

Σύνοψη

Πρόλογος- Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η Διπλωματική Εργασία που ακολουθεί ασχολείται με την ποσοτική εκτίμηση του ρίσκου στον τομέα της ασφάλειας και την συνακόλουθη αποτίμηση του μεγέθους του.

Οι δύο διαδικασίες είναι αναπόφευκτα αλληλένδετες. Κάθε μέτρηση (εκτίμηση) της τιμής του ρίσκου έχει νόημα μόνο στο βαθμό που η τιμή αυτή μπορεί στη συνέχεια να ιεραρχηθεί ως προς κάποιο όριο που θα χρησιμεύει ως μέτρο σύγκρισης. Κατ' αυτό τον τρόπο γεννιούνται τα *Κριτήρια Αποδοχής Ρίσκου*. Ρίσκα μικρότερα από αυτά μπορούν (υπό προϋποθέσεις) να είναι αποδεκτά. Ρίσκα μεγαλύτερα θα πρέπει άμεσα να μειώνονται.

Αυτά όμως είναι η γενική εικόνα. Στην πραγματικότητα τόσο η εκτίμηση όσο και αποτίμηση του ρίσκου είναι διαδικασίες πολύπλοκες και το κυριότερο όχι σαφώς ορισμένες στη βιβλιογραφία. Θα δούμε ότι οι λύσεις που προτείνονται κατά την εκτίμηση του ρίσκου ποικίλουν ανάλογα με τον επιστήμονα ή τον οργανισμό που την πραγματοποιεί, ενώ τα προτεινόμενα όρια αντανακλούν τόσο διαφορετικές συμπεριφορές απέναντι στο ρίσκο, ώστε δεν μπορούμε παρά να είμαστε ιδιαίτερα επιφυλακτικοί κατά την εφαρμογή τους.

Αν έπρεπε στα στενά πλαίσια της Εισαγωγής να δώσουμε μια αιτία γι' αυτή την παρατηρούμενη σύγχυση, αυτή θα είχε να κάνει με την διπλή υπόσταση του ρίσκου.

Καθώς από τον παραδοσιακό του ορισμό είναι,

$$\text{Ρίσκο} = \text{πιθανότητα γεγονότος } i \times \text{συνέπειες γεγονότος } i$$

βλέπουμε ότι στην πραγματικότητα ο υπολογισμός του ρίσκου απαιτεί τη γνώση δύο μεγεθών, τόσο της πιθανότητας όσο και των συνεπειών κάποιου γεγονότος. Η γνώση αυτή όμως δεν είναι εύκολο να κατακτηθεί, απαιτεί την προσεκτική ανάγνωση των στατιστικών στοιχείων και την κατασκευή πιθανοθεωρητικών μοντέλων που θα μπορούν να συνυπολογίζουν όλα τα πραγματοποιήσιμα σενάρια.

Ακόμα κι έτσι, δίνουμε μάλλον μια υπερβολικά απλουστευμένη εικόνα. Το ρίσκο είναι μια καθαρά ψυχολογική, και γι' αυτό βαθιά υποκειμενική, διαδικασία. Κάθε παιδί έχει πραγματοποιήσει μια Ανάλυση Ρίσκου τη στιγμή που σκέφτεται αν θα περάσει πάνω από ένα χαντάκι με το ποδήλατο του, ή αν θα παραμελήσει τα μαθήματα του προς όφελος του παιχνιδιού με τον κίνδυνο όμως να το εξετάσει την άλλη μέρα ο δάσκαλος στην τάξη. Διαφορετικά παιδιά θα δώσουν διαφορετικές απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα, αν και τα ρίσκα είναι σε κάθε περίπτωση τα ίδια.

Τέτοιες συμπεριφορές καταδεικνύουν ότι η τιμή που λαμβάνουμε από τον παραδοσιακό ορισμό πρέπει να «φιλτράρεται» κατάλληλα αν θέλουμε να αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα. Δεν έχουμε όλοι τις ίδιες αντιδράσεις στην αβεβαιότητα που περικλείει η φράση «πιθανότητα γεγονότος *i*», ενώ είναι ευρέως αποδεκτό ότι η στάση μας απέναντι στις «συνέπειες του γεγονότος *i*» δεν μεταβάλλεται γραμμικά με το μέγεθος τους.

Τα παραπάνω οδήγησαν στη διάκριση μεταξύ *αντικειμενικού* και *υποκειμενικού* ρίσκου. Το αντικειμενικό αντλείται από τον παραδοσιακό ορισμό του ρίσκου, ενώ για το υποκειμενικό συνυπολογίζονται όλοι εκείνοι οι παράγοντες που επιδρούν στην αντίληψη του ατόμου (ή μιας ομάδας ατόμων) γι' αυτό.

Από το εύρος των ζητημάτων που ανοίγονται είναι φανερό ότι δεν θα ήταν δυνατόν να καλυφθούν πλήρως στα πλαίσια μιας Διπλωματικής Εργασίας. Αναδεικνύονται όμως, ενώ παράλληλα εξετάζονται οι υπάρχουσες πρακτικές τόσο όσον αφορά στην εκτίμηση όσο και στην αποδοχή του ρίσκου. Παρουσιάζονται τόσο τα προτερήματα όσο και οι αδυναμίες των πρακτικών αυτών, πάντα μέσα στο πλαίσιο των γενικών αρχών που διέπουν το ρίσκο και την αντίληψη του ανθρώπου γι' αυτό.

Η διάθεση μας να ασχοληθούμε με *αρχές* και όχι με συγκεκριμένες εφαρμογές, μας οδήγησε στην περιγραφή πρώτα του γενικού πλαισίου της Ανάλυσης Ρίσκου και κατά δεύτερον (στο βαθμό που αυτό ήταν δυνατό) στην εφαρμογή αυτού του πλαισίου στη ναυτιλία και μάλιστα στα ατυχήματα εντός των ελληνικών χωρικών υδάτων. Η εφαρμογή αυτή έχει να κάνει αποκλειστικά με τη εκτίμηση του ρίσκου. Η πρόταση συγκεκριμένων Κριτηρίων Αποδοχής Ρίσκου κρίθηκε ανεδαφική σε αυτή τη φάση, για λόγους που ελπίζουμε ότι θα διαφανούν στα οικεία κεφάλαια της Εργασίας.

Ίσως φανεί δυσοίωνα μια τέτοια αναφορά στην εισαγωγή, όμως αισθανόμαστε χαρούμενοι γιατί αυτή η Εργασία θέτει πολλά ερωτήματα και δίνει πολύ λιγότερες απαντήσεις. Αυτό γιατί η βιβλιογραφία βρithει από έτοιμες συνταγές, νούμερα αμφίβολης προέλευσης και προσωπικές απόψεις με αξιώσεις αυθεντίας. Δεν υπήρχε συνεπώς καμία ανάγκη για άλλη μια Εργασία γεμάτη εύκολες λύσεις.

Άποψη μας μάλιστα είναι, ότι η κατάσταση στην Ανάλυση Ρίσκου σήμερα, δεν επιτρέπει επ' ουδενί την πρόταση τελικών λύσεων. Τόσο η διαδικασία της εκτίμησης όσο και της αποτίμησης του ρίσκου είναι ακόμα ρευστές και εκτεθειμένες σε πλήθος παγιωμένων υποκειμενικών κρίσεων οι οποίες συχνά διατυπώνονται χωρίς τη στοιχειώδη δικαιολόγηση. Σε αυτά τα πλαίσια θεωρήσαμε ότι ακόμα και μια απλή παράθεση του συνόλου των τρεχουσών αντιλήψεων θα είχε αξία. Πρώτος στόχος μας ήταν συνεπώς να συγκεντρώσουμε όσο δυνατόν περισσότερα από τα μεγέθη και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση και αποτίμηση ρίσκου σήμερα.

Σε δεύτερο επίπεδο διερευνήσαμε την προέλευση, τη διαδικασία κατασκευής και τη συμπεριφορά αυτών των μεγεθών, θεωρώντας ότι για να φτάσουμε σε σημείο να

κάνουμε προτάσεις θα πρέπει πρώτα να είμαστε σίγουροι ότι κατανοούμε το υπόβαθρο των βασικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται κατά την εκτίμηση και κατά την αποτίμηση του ρίσκου.

Τέλος από τα ήδη υπάρχοντα εργαλεία και με βάση την συζήτηση που προηγήθηκε, καταλήξαμε σε αυτά που πιστεύουμε πως μπορούν να φανούν χρήσιμα μελλοντικά και σε αυτά που θεωρούμε ως συμβιβαστικές λύσεις που καλύπτουν την ανεπαρκή μας γνώση γύρω από κάποια δραστηριότητα ή και τους μηχανισμούς του ρίσκου αυτού καθ' αυτούς.

Εάν πρόκειται κάποια στιγμή η Ανάλυση Ρίσκου να αποτελέσει παράγοντα σημαντικό στη λήψη αποφάσεων θα πρέπει αν μη τι άλλο να αποκτήσει σταθερές δομές και δοκιμασμένες μεθοδολογίες. Η άποψη του Α ή του Β ειδικού δεν μπορεί να υποκαθιστά την συστηματική επιστημονική ανάλυση.

Ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση της δομής της Διπλωματικής Εργασίας.

Η Διπλωματική Εργασία με γενικό τίτλο 'Εκτίμηση και Αποδοχή Ρίσκου', έχει χωριστεί σε δύο τεύχη. Στο Τεύχος Α θα μας απασχολήσει η διαδικασία της εκτίμησης του ρίσκου, ενώ στο Τεύχος Β ασχολούμαστε με την παραγωγή Κριτηρίων Αποδοχής Ρίσκου. Σημειώνουμε εδώ ότι ο παραπάνω διαχωρισμός μόνο τυπικούς σκοπούς εξυπηρετεί. Ως συγγραφείς αυτής της Διπλωματικής Εργασίας θεωρούμε τα περιεχόμενα των δύο Τευχών, νοηματικά αδιαχώριστα. Κάθε ένα δίνει το διαφορετικό μισό μιας ενιαίας εικόνας. Γι' αυτό το λόγο επιλέχθηκε η αρίθμηση των Κεφαλαίων να είναι ενιαία, όπως και όλων των σχημάτων και των πινάκων που συνοδεύουν τα κείμενα.

Αναλυτικότερα στο *Τεύχος Α* περιέχονται,

Κεφάλαιο 1: Γενική παρουσίαση των βασικών στόχων και μεθοδολογιών της *Ανάλυσης Ρίσκου* μέσα από την παρουσίαση των στόχων και των μεθοδολογιών της *Τυπικής Αποτίμησης Ασφαλείας (F.S.A.)* όπως προτείνεται από τον ΙΜΟ.

Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή στις βασικές έννοιες που σχετίζονται με το ρίσκο και είναι θεμελιώδεις για την κατανόηση και την εφαρμογή των κύριων τεχνικών εκτίμησης και αποτίμησης του. Διαχωρισμός του *Ατομικού* από το *Κοινωνικό* ρίσκο.

Κεφάλαιο 3: Παρουσίαση του *Ατομικού* ρίσκου με έμφαση στους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τον υπολογισμό του, στις διάφορες μορφές που μπορεί να λάβει καθώς και στις μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιεί.

Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση του *Κοινωνικού* ρίσκου και όλων των επιμέρους μεγεθών που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του, αναλυτική παρουσίαση της κατασκευής των καμπυλών *F-N* και των βασικών στοιχείων από τις πιθανότητες και τη στατιστική που είναι απαραίτητα για την κατανόηση των διαφόρων μεγεθών.

Κεφάλαιο 5: Εισαγωγή στη έννοια του *υποκειμενικού* ρίσκου και του προσδοκώμενου οφέλους, με μια πρώτη απόπειρα για μαθηματική μοντελοποίηση των παραπάνω καθώς και σχολιασμός της θεωρίας της *ομοιόστασης*.

Κεφάλαιο 6: Παρουσίαση των στατιστικών στοιχείων από ναυτικά ατυχήματα στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο (1992- 2005) και επεξεργασία τους ώστε να αποτυπωθούν σε καμπύλες *F-N*.

Κεφάλαιο 7: Βασικές αρχές θεωρίας πιθανοτήτων με έμφαση στην ανάλυση στατιστικών δεδομένων, παρουσίαση των βασικών κατανομών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτή τη διαδικασία και ανάδειξη του ρόλου της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας στις κατανομές πιθανοτήτων.

Κεφάλαιο 8: Εφαρμογή των αρχών που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 7, επί των στατιστικών στοιχείων για τα ατυχήματα στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο. Αποτύπωση της αβεβαιότητας για τη σωστή πρόβλεψη της κατανομής των ατυχημάτων, με φάσμα καμπυλών *F-N*.

Το *Τεύχος Β* περιλαμβάνει:

Κεφάλαιο 9: Εισαγωγικά για τα Κριτήρια Αποδοχής Ρίσκου.

Κεφάλαιο 10: Παρουσίαση ενδεικτικών περιπτώσεων όπου εφαρμόζονται Κριτήρια Αποδοχής για το *Ατομικό Ρίσκο* και ανάδειξη των διαφορετικών προσεγγίσεων στο θέμα.

Κεφάλαιο 11: Παρουσίαση των Κριτηρίων Αποδοχής Κοινωνικού Ρίσκου που βρίσκονται σε χρήση σήμερα, καθώς και ανάλυση των στόχων και της διαδικασίας παραγωγής τους ώστε να είναι φανερά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε μίας από τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται.

Κεφάλαιο 12: Απόπειρα εφαρμογής των Κριτηρίων που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 11 σε ένα μια πραγματική δραστηριότητα, τις σιδηροδρομικές μεταφορές στην Αγγλία.

Κεφάλαιο 13: Εισαγωγή στις συναρτήσεις *μη- χρησιμότητας*. Ανάλυση των στόχων τους και της σχέσης που έχουν με τα παραδοσιακά μέσα εκτίμησης του ρίσκου. Κατασκευή μιας συνάρτησης *μη- χρησιμότητας*.

Κεφάλαιο 14: Συνολική αποτίμηση των Κριτηρίων Αποδοχής Κοινωνικού Ρίσκου και προτάσεις για την κατασκευή μελλοντικών *Κριτηρίων*. Η ανάλυση Ρίσκου-Οφέλους ως μια διαφορετική αντιμετώπιση απέναντι στο ρίσκο.

Abstract

The following Diploma Thesis under the general title ‘Risk Estimation and Risk Acceptance in Safety’, explores the principles that support risk evaluation and the setting of risk acceptance criteria, when it comes to the safety of human life. Particular emphasis is given to the mathematics involved and the broader context that the current techniques of risk evaluation lie in.

This Diploma Thesis makes a distinction between effective and perceived risk, considering the latter to be much a more comprehensive and at the end of the day ‘correct’ measure of risk. Moreover the role of uncertainty about the outcome of accidents is emphasized and it is proposed that this uncertainty is integrated in the process of risk evaluation (as well as the setting of criteria). Finally we examine the potential of a Risk-Benefit Analysis that considers both the risks and the benefits that derive from a particular activity.

As a case study we used the records of shipping accidents inside the Greek waters and in the period between 1992 and 2005.

The structure of the Thesis is as follows.

Chapter 1: Presentation of the basic principles and methodologies of Risk Analysis, as they can be found in Formal Safety Assessment (*F.S.A.*) proposed by IMO.

Chapter 2: Introduction to the basic principles of risk, that are necessary for the understanding of risk evaluation.

Chapter 3: Individual Risk, with emphasis on the different ways available for its calculation and the units that it is expressed in.

Chapter 4: Societal Risk and presentation of the various techniques that are used for its calculation. The construction of *F-N* curves is studied thoroughly, as are the elements of probability theory and statistics that are necessary for the understanding of *F-N* curves.

Chapter 5: Introduction to the concept of *perceived risk* with an attempt for its mathematical modeling. Brief presentation of the homeostasis theory.

Chapter 6: Presentation of the statistical data from shipping accidents within the Greek waters in the period from 1992 to 2005, construction of the *F-N* curve for the same period.

Chapter 7: Elements of probability theory with emphasis given to the fitting of statistical data in probability distributions. The nature of uncertainty as well as its role in risk evaluation are discussed.

Chapter 8: Application of the principles described in Chapter 7, for the modeling of the statistical data presented in Chapter 6. Production of multiple F-N curves that describe our uncertainty about our knowledge on the situation.

Chapter 9: Introduction on Risk Acceptance Criteria.

Chapter 10: Individual Risk Acceptance Criteria and presentation of cases where they are used for advisory or regulatory purposes.

Chapter 11: Presentation of the Societal Risk Acceptance Criteria that are currently in use, in depth Analysis of their goals, methodologies and construction procedures.

Chapter 12: Application of the Criteria discussed in 11, on statistical data from railway accidents in England (1967-2001).

Chapter 13: Introduction to disutility functions, their goals and their relation to the other measures used in risk evaluation. Construction of a disutility function.

Chapter 14: An evaluation of the Societal Risk Acceptance Criteria that are in use today and proposals for the construction of future Criteria. Introduction to Risk-Benefit Analysis, as a different approach for deciding on the acceptance of risk.

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1 : Εποπτική άποψη ατυχήματος.....	3
Σχήμα 2 : Τυπικό παράδειγμα <i>Fault Tree</i>	7
Σχήμα 3 : Τυπικό παράδειγμα <i>Event Tree</i>	8
Σχήμα 4 : Απεικόνιση της <i>ALARP</i> περιοχής σε ένα διάγραμμα <i>F-N</i>	18
Σχήμα 5 : Συνιστώσες στη διαχείριση του ρίσκου.....	21
Σχήμα 6 : Χαρακτηριστικές περιοχές ατομικού ρίσκου γύρω από επικίνδυνη εγκατάσταση.....	37
Σχήμα 7 : Ατομικό ρίσκο στις δυτικές κοινωνίες, από στατιστικές αιτίες θανάτου και αριθμό συμμετοχής ανά δραστηριότητα.....	39
Σχήμα 8 : Παράδειγμα αθροιστικής συνάρτησης κτανομής με αύξουσα διάταξη.....	49
Σχήμα 9 : Παράδειγμα αθροιστικής συνάρτησης κτανομής με φθίνουσα διάταξη.....	51
Σχήμα 10 : Τυπικό παράδειγμα απεικόνισης της σ.π.π.....	52
Σχήμα 11 : Τυπικό παράδειγμα απεικόνισης σ.μ.π. και της αντίστοιχης α.σ.κ.....	54
Σχήμα 12 : Καμπύλη <i>F-N</i> σιδηροδρομικών ατυχημάτων στην Αγγλία (1967-2001).....	65
Σχήμα 13 : Διάγραμμα <i>F-N</i> σιδηροδρομικών ατυχημάτων στην Αγγλία (1967-2001).....	65
Σχήμα 14 : Καμπύλη <i>F-N</i> ναυτικών ατυχημάτων πλοίων που μεταφέρουν πετρέλαιο ή χημικά (1986-1991).....	67
Σχήμα 15 : Καμπύλη <i>F-N</i> σε καρτεσιανές συντεταγμένες.....	73
Σχήμα 16 : Καμπύλη <i>F-N</i> σε λογαριθμική-λογαριθμική κλίμακα.....	73
Σχήμα 17 : Συνάρτηση χρησιμότητας.....	102
Σχήμα 18 : Χρονική εξέλιξη του συνολικού πληθυσμού σε ΚΟΧ (με ΚΟΧ>100).....	107
Σχήμα 19 : Χρονική εξέλιξη του πληθυσμού ανά κατηγορία (με ΚΟΧ>100).....	108
Σχήμα 20 : Μέση ετήσια κατανομή ανά κατηγορία.....	109
Σχήμα 21 : Αριθμός πλοίων ανά ηλικία.....	110
Σχήμα 22 : Ποσοστό συνολικού αριθμού πλοίων ανά ηλικία.....	110
Σχήμα 23 : Μέσος αριθμός πλοίων ανά ηλικία.....	111
Σχήμα 24 : Συνολικός αριθμός πλοίων ανά χωρητικότητα.....	112
Σχήμα 25 : Συνολικός αριθμός πλοίων ανά κατηγορία και χωρητικότητα....	112
Σχήμα 26 : Ποσοστιαία κατανομή των ατυχημάτων ανά κατηγορία.....	114
Σχήμα 27 : Ποσοστιαία κατανομή θανατηφόρων ατυχημάτων ανά κατηγορία.....	115
Σχήμα 28 : Στατιστική καμπύλη <i>F-N</i> συνολικού ελληνικού στόλου.....	119
Σχήμα 29 : Στατιστική καμπύλη <i>F-N</i> πλοίων ανά κατηγορία.....	123
Σχήμα 30 : Τυπικό παράδειγμα κατανομής μεταβλητότητας.....	132
Σχήμα 31 : Τυπικό παράδειγμα κατανομής αβεβαιότητας.....	133
Σχήμα 32 : Παράδειγμα α.σ.κ. στην οποία επικρατεί η αβεβαιότητα.....	135
Σχήμα 33 : Παράδειγμα α.σ.κ. στην οποία επικρατεί η μεταβλητότητα.....	135
Σχήμα 34 : Παραδείγματα Διωνυμικής κατανομής.....	139

Σχήμα 35 : Κατανομή ατυχημάτων για το έτος 2006.....	141
Σχήμα 36 : Παραδείγματα κατανομής Beta.....	142
Σχήμα 37 : Παράδειγμα κατανομής Pareto.....	143
Σχήμα 38 : Απεικόνιση α.σ.κ. Pareto ως προσδιορισμός της ALARP περιοχής.....	144
Σχήμα 39 : Παραδείγματα κατανομής Poisson.....	147
Σχήμα 40 : Παράδειγμα εκθετικής κατανομής.....	149
Σχήμα 41 : Παραδείγματα κατανομής Weibull.....	150
Σχήμα 42 : Παραδείγματα κατανομής Extreme Value.....	151
Σχήμα 43 : Παραδείγματα κατανομής Γάμα.....	154
Σχήμα 44 : Δύναμη Ελληνικής Εμπορικής Ναυτιλίας.....	165
Σχήμα 45 : Παράδειγμα μετατροπής της σ.π.π. σε .α.σ.κ.....	168
Σχήμα 46 : Παράδειγμα για το πώς μικρές μεταβολές στην αθροιστική κατανομή μπορεί να επηρεάσει δραματικά τις συχρότητες/ πιθανότητες f_N	169
Σχήμα 47 : Παράδειγμα περιορισμού της ουράς της κατανομής.....	171
Σχήμα 48 : Παράδειγμα προσδιορισμού ολόκληρης της σ.π.π.....	172
Σχήμα 49 : Φάσμα καμπυλών $F-N$	177
Σχήμα 50 : Σύγκριση στατιστικής - πιθανοθεωρητικής καμπύλης $F-N$	177
Σχήμα 51 : Στατιστική καμπύλη συνολικού ελληνικού στόλου.....	179
Σχήμα 52 : Ετήσιος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων.....	181
Σχήμα 53 : Ετήσια συχνότητα θανατηφόρων ατυχημάτων.....	183
Σχήμα 54 : σ.π.π θανατηφόρων ατυχημάτων $f(a)$	184
Σχήμα 55 : Κατανομή συχνοτήτων g_x	186
Σχήμα 56 : Μορφή κατανομής αριθμού των νεκρών ανά ατύχημα.....	186
Σχήμα 57 : σ.π.π ανθρώπινων απωλειών $g_{sum}(x/a)$	187
Σχήμα 58 : Στατιστική καμπύλη $H-X$	191
Σχήμα 59 : Πιθανοθεωρητική καμπύλη $H-X$	193

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 : Λέξεις οδηγού ανάλυσης HAZOP.....	5
Πίνακας 2 : Ανάλυση HAZOP για το σύστημα συμπίεσης αέρα πλοίου.....	5
Πίνακας 3 : Συχνότητα εμφάνισης επικίνδυνων γεγονότων.....	11
Πίνακας 4 : Βαθμός σοβαρότητας κινδύνων.....	12
Πίνακας 5 : Ποιοτικές κατηγορίες ρίσκου.....	12
Πίνακας 6 : Εκτίμηση Ρίσκου.....	12
Πίνακας 7 : Λογαριθμικοί Δείκτες Συχνότητας.....	14
Πίνακας 8 : Λογαριθμικοί Δείκτες Μεγέθους Συνεπειών.....	15
Πίνακας 9 : Αποτίμηση Ρίσκου.....	15
Πίνακας 10 : Τρόποι έκφρασης της απώλειας ανθρώπινης ζωής (<i>fatality risks</i>).....	31
Πίνακας 11 : Τρόποι έκφρασης της απώλειας ανθρώπινης ζωής στον κλάδο των μεταφορών (<i>fatality risks</i>).....	35
Πίνακας 12 : Δείκτης ασφαλείας β_i	39
Πίνακας 13 : Μέσο ετήσιο ρίσκο θανάτων ως συνέπεια από μια Δραστηριότητα.....	45
Πίνακας 14 : Ετήσιο ρίσκο θανάτων από θανάτων από βιομηχανικά ατυχήματα εργαζομένων.....	45
Πίνακας 15 : Τρόποι χάραξης καμπυλών <i>F-N</i>	48
Πίνακας 16 : Παράδειγμα υπολογισμού πλήθους ατυχημάτων.....	60
Πίνακας 17 : Συνολικός αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς <i>N</i> νεκρούς.....	117
Πίνακας 18 : Συνολικός αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς <i>N</i> νεκρούς.....	118
Πίνακας 19 : Δύναμη ελληνικού εμπορικού στόλου στην Ελλάδα την περίοδο 1992-2005.....	118
Πίνακας 20 : Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του ελληνικού εμπορικού στόλου.....	119
Πίνακας 21 : Συγκεντρωτικά στοιχεία θανατηφόρων ατυχημάτων.....	120
Πίνακας 22 : Δύναμη Ε/Γ στην Ελλάδα την περίοδο 1992-2005.....	121
Πίνακας 23 : Δύναμη Ελληνικού εμπορικού στόλου στην Ελλάδα εκτός των Ε/Γ την περίοδο 1992-2005.....	121
Πίνακας 24 : Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων των Ε/Γ του Ελληνικού εμπορικού στόλου που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς <i>N</i> νεκρούς.....	122
Πίνακας 25 : Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων του ελληνικού εμπορικού στόλου εκτός των Ε/Γ που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς <i>N</i> νεκρούς.....	122
Πίνακας 26 : Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων ατυχημάτων των Ε/Γ του ελληνικού εμπορικού στόλου.....	122
Πίνακας 27 : Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων ατυχημάτων του ελληνικού εμπορικού στόλου εκτός των Ε/Γ.....	123

Πίνακας 28 : Συνολικός αριθμός ατυχημάτων/ στόλου 1992- 2005.....	141
Πίνακας 29 : Αριθμός ατυχημάτων με ακριβώς N νεκρούς ή τραυματίες κατά την περίοδο 1992-2005 στα ελληνικά χωρικά ύδατα.....	164
Πίνακας 30 : Αριθμός ατυχημάτων με N ή παραπάνω νεκρούς ή τραυματίες κατά την περίοδο 1992-2005 στα ελληνικά χωρικά ύδατα (με $N \geq 1$).....	165
Πίνακας 31 : Μέγεθος ελληνικού στόλου (1992-2005).....	166
Πίνακας 32 : Συχνότητα ατυχημάτων συναρτήσει του αριθμού των νεκρών N	166
Πίνακας 33 : Θανατηφόρα ατυχήματα ανά έτος (1992- 2005).....	182
Πίνακας 34 : Συχνότητα ετήσιων θανατηφόρων ατυχημάτων f_a	182
Πίνακας 35 : Αριθμός Ατυχημάτων – Αντίστοιχος αριθμός νεκρών.....	185
Πίνακας 36 : Συχνότητα ατυχημάτων δεδομένου του μεγέθους N (αριθμός νεκρών).....	185
Πίνακας 37 : Συσχέτιση αριθμού ατυχημάτων με τον αριθμό των νεκρών ανά έτος.....	188
Πίνακας 38 : Κατασκευή της αντίστοιχης στατιστικής καμπύλης $H-X$	189
Πίνακας 39 : Υπολογισμός συχνοτήτων h_x	190
Πίνακας 40 : Υπολογισμός συχνοτήτων H_x	191

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σύνοψη.....	I
Synopsis.....	V
Λίστα Σχημάτων.....	VII
Λίστα Πινάκων.....	IX
Περιεχόμενα.....	XI

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία.....1

Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία.....1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου.....21

2.1 Τι είναι ρίσκο;.....	22
2.2 Κατηγορίες του ρίσκου.....	23
2.2.1 Ατομικό Ρίσκο (<i>Individual Risk</i>).....	23
2.2.2 Κοινωνικό Ρίσκο.....	24
2.2.2.1 Καμπύλες <i>F-N</i>	25
2.2.2.2 Άλλα μεγέθη μέτρησης του κοινωνικού ρίσκου.....	26
2.2.2.3 Μια ευρύτερη οπτική του <i>Κοινωνικού Ρίσκου</i>	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Εκτίμηση ρίσκου- *Ατομικό Ρίσκο*.....33

3.1 Γενικά για το <i>Ατομικό Ρίσκο</i>	35
3.2 Προσεγγίσεις στο <i>Ατομικό Ρίσκο</i>	36
3.2.1 Το ρίσκο ως ιδιότητα του επιπέδου.....	36
3.2.2 Το ρίσκο ως συνάρτηση του τρόπου εμπλοκής του ατόμου με τη δραστηριότητα.....	37
3.2.3 Ένας εναλλακτικός τρόπος μέτρησης του ατομικού ρίσκου με εφαρμογή ως κριτήριο αποδοχής- <i>Δείκτης ασφάλειας (S) (safety index)</i>	40
3.2.4 Άλλοι τρόποι μέτρησης του ατομικού ρίσκου.....	43
3.2.4.1 Μέγιστο ατομικό ρίσκο (<i>maximum individual risk</i>).....	43
3.2.4.2 Μέσο ατομικό ρίσκο (<i>average individual risk</i>).....	43
3.2.4.3 <i>Fatal Accident Rate (FAR)</i>	44
3.2.4.4 Ατομικό ρίσκο ανά χρόνο (<i>Individual Risk Per Annum-IRPA</i>).....	44

Κεφάλαιο 4. Εκτίμηση ρίσκου- Κοινωνικό Ρίσκο.....	47
4.1 Καμπύλες $F-N$	47
4.1.1 Πιθανότητες και στατιστική, σχετικά με τις καμπύλες $F-N$	48
4.1.1.1 Στοιχεία πιθανοτήτων.....	48
4.1.1.1.1 Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής, α.σ.κ. – (Cumulative Distribution Function (cdf)).....	49
4.1.1.1.2 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, σ.π.π. – (Probability density function (pdf)).....	52
4.1.1.1.3 Συνάρτηση μάζας πιθανότητας, σ.μ.π.- (Probability mass function).....	53
4.1.1.1.4 Μέση τιμή ή προσδοκώμενη τιμή - $E(X)$ ή μ - (mean).....	54
4.1.1.1.5 Διασπορά V (Variance) – τυπική απόκλιση σ (standard deviation).....	57
4.1.1.1.6 Ετήσια πιθανότητα υπέρβασης – (Annual probability of exceedance).....	60
4.1.1.2 Στοιχεία στατιστικής.....	61
4.1.1.2.1 Η διαφορά μεταξύ πιθανότητας και συχνότητας.....	62
4.1.1.2.2 Μέσος όρος \bar{x} - (average).....	69
4.1.1.2.3 Μέσος όρος τετραγώνων $\overline{x^2}$ (average of the squares).....	70
4.1.1.2.4 Ετήσια συχνότητα υπέρβασης – (Annual frequency of exceedance).....	70
4.1.2 Κατασκευή καμπυλών $F-N$	71
4.1.2.1 Ποιες είναι οι μονάδες του κατακόρυφου άξονα και πώς μπορούν να εκφραστούν.....	74
4.1.2.2 Ποιες είναι οι μονάδες του οριζόντιου άξονα και πώς μπορούν να εκφραστούν.....	75
4.1.2.2.1 Ανθρώπινες απώλειες και τραυματισμοί (καμπύλες $F-N$).....	76
4.1.2.2.2 Οικονομική απώλεια (καμπύλες $F-D$).....	76
4.1.2.2.3 Περιβαλλοντική μόλυνση (καμπύλες $F-T$).....	76
4.1.2.3 Κατασκευή καμπυλών $F-N$ βασισμένες σε βάσεις από ιστορικά ατυχημάτων.....	77
4.1.2.3.1 Βάσεις δεδομένων ναυτικών ατυχημάτων.....	79
4.2 Άλλα μέτρα αποτίμησης Κοινωνικού Ρίσκου.....	79
4.2.1 Αναμενόμενος Αριθμός Νεκρών (Potential Loss of Life, PLL).....	80
4.2.1.1 Γενικός Ορισμός.....	80
4.2.1.2 Επεκτάσεις του Γενικού Ορισμού.....	80
4.2.1.3 Συνολικά.....	82
4.2.2 Rate of Death (ROD).....	82
4.2.3 Δείκτης Επικεντρωμένου Ρίσκου (Aggregate Risk Index, ARI).....	83
4.2.4 Δείκτης Ισοδύναμου Κοινωνικού Κόστους (Equivalent Social Cost Index, ESC).....	83
4.2.5 Risk Integral.....	84
4.2.6 Scaled Risk Integral.....	85

Κεφάλαιο 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιότητας.....	88
5.1 Υποκειμενικό ρίσκο.....	88
5.1.1 Μια πρώτη προσέγγιση.....	89
5.1.2 Μαθηματική Μοντελοποίηση.....	91
5.1.3 Υπολογισμός των raf_i και a_i	93
5.1.4 Η αναλογία με το κοινωνικό ρίσκο.....	95
5.1.5 Παράγοντες επιρροής στο υποκειμενικό <i>Κοινωνικό Ρίσκο</i>	96
5.1.6 Ο Fischhof και το ρίσκο ως αντικείμενο μελέτης για κάθε μεμονωμένο άτομο.....	98
5.2 Ομοιότητα του ρίσκου.....	100
5.2.1 Ορισμός.....	100
5.2.2 Ομοιότητα και ρίσκο.....	101
5.2.3 Η θεωρία της ομοιότητας και το πρόβλημα αναγωγής των συχνοτήτων στην <i>Ανάλυση Ρίσκου</i>	103
Κεφάλαιο 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων–Στατιστικές καμπύλες $F-N$.....	106
6.1 Ανάλυση δεδομένων.....	106
6.1.1 Εισαγωγικά.....	106
6.1.2 Στοιχεία στόλου ελληνικών πλοίων.....	106
6.1.2.1 Κατανομή των ελληνικών εμπορικών πλοίων ανά κατηγορία.....	107
6.1.2.2 Κατανομή των ελληνικών εμπορικών πλοίων κατά ηλικία.....	109
6.1.2.3 Κατανομή των ελληνικών εμπορικών πλοίων ανά κλιμάκια ολικής χωρητικότητας KOX (<i>κόρων ολικής χωρητικότητας</i>).....	111
6.2 Ατυχήματα πλοίων.....	113
6.2.1 Εικόνες ατυχημάτων στην Ελλάδα.....	114
6.2.2 Ατυχήματα μεγάλης κλίμακας.....	115
6.3 Κατασκευή στατιστικής καμπύλης $F-N$ του ελληνικού εμπορικού στόλου.....	117
6.4 Κατασκευή στατιστικών καμπυλών $F-N$ ανά κατηγορία.....	120
Κεφάλαιο 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου.....	126
7.1 Εισαγωγή.....	126
7.2 Τι είναι η Πιθανοθεωρητική Εκτίμηση Ρίσκου (Probabilistic Risk Assessment (PRA);.....	126
7.3 Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου σε άλλες βιομηχανίες.....	127
7.3.1 Αεροδιαστημική βιομηχανία.....	127
7.3.2 Πυρηνική βιομηχανία.....	128
7.3.3 Χημική βιομηχανία.....	129

7.4 Μεταβλητότητα και αβεβαιότητα.....	130
7.4.1 Μεταβλητότητα (variability).....	131
7.4.2 Αβεβαιότητα (uncertainty).....	131
7.4.3 Ένα παράδειγμα διαφοράς της αβεβαιότητας με την μεταβλητότητα.....	131
7.5 Σύνδεση της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας με το ρίσκο στην ναυτιλία.....	133
7.5.1 Καμπύλη $F-N$	134
7.5.2 Κριτήρια Αποδοχής Ρίσκου.....	135
7.6 Στοχαστικές διαδικασίες και κατανομές πιθανοτήτων.....	137
7.6.1 Διωνυμική κατανομή (Binomial distribution).....	138
7.6.1.1 Υπολογισμός του ετήσιου αριθμού ατυχημάτων για την Ελλάδα.....	139
7.6.2 Κατανομή Βήτα (beta distribution).....	142
7.6.3 Κατανομή Pareto (Pareto distribution).....	143
7.6.3.1 Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση για την κατανομή Pareto.....	144
7.6.4 Κατανομή Poisson (Poisson distribution).....	147
7.6.4.1 Παρατηρήσεις για την κατανομή Poisson.....	148
7.6.5 Εκθετική κατανομή (Exponential distribution).....	148
7.6.6 Κατανομή Weibull (Weibull distribution).....	149
7.6.7 Κατανομή Extreme Value.....	151
7.6.7.1 Παρατηρήσεις για την κατανομή Extreme Value.....	152
7.6.8 Κατανομή Γάμα (Gamma distribution).....	153
7.7 Ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας - Bayesian Inference.....	154
7.7.1 Εισαγωγικά.....	154
7.7.2 Bayesian Inference.....	155
7.7.3 Ερμηνεία της τεχνικής Bayesian Inference.....	156
7.7.4 Προσέγγιση της πιθανότητας από τις αντίστοιχες συχνότητες.....	157
7.7.5 Παράδειγμα εφαρμογής της Bayesian Inference.....	157
7.8 Αρχή μέγιστης εντροπίας – (Maximum Entropy Principle).....	159

Κεφάλαιο 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.....

Εισαγωγή.....	162
8.1 Προσδιορισμός της κατανομής θανατηφόρων ατυχημάτων από τα αντίστοιχα στοιχεία	162
8.2 Αρχική περιγραφή του προβλήματος.....	163
8.3 Στατιστικά στοιχεία.....	164
8.4 Κριτήρια για την επιλογή της κατάλληλης κατανομής.....	167
8.4.1 Εκτίμηση των συχνοτήτων f ή των αθροιστικών συχνοτήτων F ;...	167
8.4.2 Διακριτή ή συνεχής κατανομή;.....	169
8.4.3 Πεδίο ορισμού: φραγμένη ή μη φραγμένη κατανομή.....	170
8.4.4 Μορφή κατανομής.....	171

8.4.5 Προσέγγιση της καμπύλης $F-N$ για τα ναυτικά ατυχήματα την Ελλάδα.....	172
8.5 Μια εναλλακτική προσέγγιση των καμπυλών $F-N$ –Καμπύλες $H-X$	178
8.5.1 Εκτίμηση των επιμέρους κατανομών πιθανότητας.....	180
8.5.2 σ.π.π θανατηφόρων ατυχημάτων $f(a)$ / Συχνότητα ετήσιων θανατηφόρων ατυχημάτων f_a	181
8.5.3 Συνολική σ.π.π ανθρώπινων απωλειών $g_{sum}(x/a)$ / Συχνότητα ανθρώπινων απωλειών δεδομένου ατυχήματος g_x	185
8.5.4 σ.π.π συνολικού ρίσκου ανά έτος $h(x)$ / Συχνότητα ανθρώπινων απωλειών ανά έτος h_x	193
Παράρτημα.....	196
Βιβλιογραφία.....	201

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

Σε γενικές γραμμές η Διαχείριση Ρίσκου (Risk Management) ως συγκεκριμένη τεχνική αναγνώρισης κινδύνων, εκτίμησης των συνεπειών, και λήψης μέτρων μετριασμού αυτών, έλκει την καταγωγή της στις δεκαετίες του 1960 και 1970 και συγκεκριμένα στη ραγδαία άνοδο της πυρηνικής και της χημικής βιομηχανίας. Οι αυξημένες συνέπειες σε περίπτωση ατυχήματος, τόσο ως προς τη σοβαρότητα τους όσο και στο μέγεθος του πληθυσμού που θα επηρέαζαν, οδήγησε στην ανάγκη για μια αντιμετώπιση του ρίσκου με τρόπο πιο οργανωμένο και επιστημονικό, ο οποίος συν τοις άλλοις θα περιόριζε δραστικά τα περιθώρια για υποκειμενικές κρίσεις (πχ. τι σημαίνει αποδεκτό ρίσκο ή γενικότερα τι σημαίνει ρίσκο).

Στη θαλάσσια βιομηχανία εισήχθη κατά τη δεκαετία του 1980 και συγκεκριμένα στις εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου, ενώ στη ναυτιλία η Διαχείριση Ρίσκου καθιερώθηκε ως μέθοδος λήψης αποφάσεων τη δεκαετία του 1990.

Μάλιστα το 1997 σε μια προσπάθεια συγκρότησης συγκεκριμένων κανόνων ο IMO, μετά από πρόταση της Αγγλίας από το 1993, ενέκρινε μια προσέγγιση του ρίσκου σε πέντε βήματα η οποία ονομάστηκε Τυπική Αποτίμηση Ασφαλείας, (εδώ θα κρατήσουμε τον αγγλικό όρο *Formal Safety Assessment* και τη συντομογραφία του *F.S.A.*). Στόχος μιας *F.S.A.* είναι να παράσχει αξιόπιστες πληροφορίες όσον αφορά στους κινδύνους, τα ρίσκα που πηγάζουν από αυτούς, τις επιλογές για τον έλεγχο αυτών των ρίσκων (*Risk Control Options*), τα κόστη και τα οφέλη από την εφαρμογή μέτρων ελέγχου του ρίσκου. Είναι δε σημαντικό η *F.S.A.* να πραγματοποιεί τα προηγούμενα με έναν κατά το δυνατό αντικειμενικό τρόπο, με αυστηρή δομή η οποία επιπροσθέτως, να είναι απόλυτα διαφανής ως προς τις διαδικασίες που χρησιμοποιεί και τα εξαγόμενα συμπεράσματα.

Οι παραπάνω εξελίξεις καταδεικνύουν την ολοένα αυξανόμενη επιρροή του ρίσκου ως παράγοντα λήψης αποφάσεων στην ναυτιλία, κάτι που αντανακλάται και στη νέα τάση στη ναυπήγηση πλοίων, γνωστή ως *Risk Based Design*. Η βασική διαφοροποίηση αυτού του τρόπου σχεδίασης σε σχέση με τον παραδοσιακό, είναι ότι αντί να έχουμε πλέον κανονισμούς που επιχειρούν να ελέγξουν τις παραμέτρους της σχεδίασης με αναλυτικές οδηγίες, κατευθυνόμαστε προς κανονισμούς που, λαμβάνοντας υπ' όψιν το ρίσκο, θέτουν στόχους τους οποίους θα πρέπει να πληρεί το πλοίο για να εγκριθεί. Για παράδειγμα αντί να προδιαγράφει συγκεκριμένο πάχος ελάσματος ο κανονισμός θα απαιτεί να σχεδιάζεται πλοίο αξιόπλοο για X χρόνια. Αν ο σχεδιαστής μπορεί μέσα από μια αδιάβλητη διαδικασία να αποδείξει ότι ο στόχος αυτός καλύπτεται, τότε το πάχος ελάσματος με το οποίο πετυχαίνει το στόχο είναι δευτερεύουσας σημασίας. Το *Risk Based Design* βέβαια βρίσκεται ακόμα σε νηπιακό στάδιο, γίνεται φανερό ωστόσο ότι η έννοια του ρίσκου θα αποτελέσει παράγοντα κλειδί για τις εξελίξεις στη ναυτιλία τα επόμενα χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

Θεωρητικό υπόβαθρο Ανάλυσης Ρίσκου με εφαρμογή στη ναυτιλία

Στα επόμενα θα επιχειρήσουμε μια κατά το δυνατό πλήρη περιγραφή των διαφορών μεγεθών και εννοιών που χρησιμοποιούνται στην Ανάλυση Ρίσκου στη ναυτιλία. Ως γνώμονα θα έχουμε την εφαρμογή των τεχνικών Ανάλυσης Ρίσκου σε μια Τυπική Αποτίμηση Ασφαλείας (FSA), αυτό όμως δε σημαίνει σε καμία περίπτωση ότι στερούμε κάτι από τη γενικότητα της χρήσης αυτών σε ευρύτερες εφαρμογές.

Η F.S.A. ορίζεται ως, «μια ορθολογική και συστηματική διαδικασία, που στόχο έχει την αποτίμηση των ρίσκων που συνδέονται με τις δραστηριότητες της ναυτιλίας, την προστασία του θαλασσίου περιβάλλοντος καθώς και την εκτίμηση κόστους/οφέλους από την εφαρμογή μέτρων για το μετριασμό αυτών των ρίσκων».¹

Επιγραμματικά τα πέντε βήματα από τα οποία αποτελείται μια F.S.A. είναι τα εξής:

1. Αναγνώριση των εμπλεκόμενων κινδύνων σε μια δραστηριότητα.
2. Εκτίμηση του ρίσκου που προέρχεται από τους κινδύνους που αναγνωρίστηκαν στο 1^ο βήμα.
3. Διερεύνηση των εργαλείων που διαθέτουμε ώστε να μειωθεί αυτό το ρίσκο (R.C.O.).
4. Ανάλυση Κόστους / Κέρδους από την εφαρμογή των R.C.O.²
5. Προτάσεις για τη λήψη αποφάσεων που θα βασίζονται στις πληροφορίες που συλλέξαμε κατά τα προηγούμενα βήματα.

Ας εξετάσουμε κάθε ένα από τα παραπάνω βήματα ξεχωριστά.

1. Αναγνώριση κινδύνων

Ως κίνδυνο ορίζουμε στο εξής το σύνολο των « καταστάσεων, συνθηκών, χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων που δημιουργούν την πιθανότητα ανεπιθύμητων συνεπειών »³. Έχει σημασία ότι οι κίνδυνοι αυτοί δημιουργούν την πιθανότητα και όχι τη βεβαιότητα ανεπιθύμητων συνεπειών.

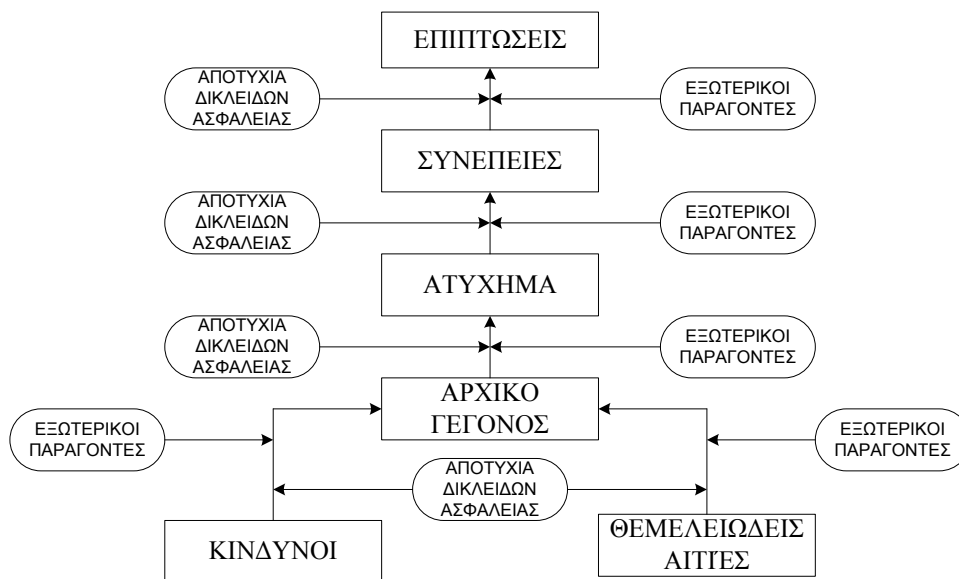
Μια εποπτική άποψη ενός οποιουδήποτε ατυχήματος είναι η παρακάτω.

¹ IMO, *Guidelines for Formal Safety Assessment for use in the IMO rule making process*, April 2002

² *Risk Control Options*

³ ABS Consulting, *MARITIME SAFETY, Tools for Risk- Based Decision Making*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία



Σχήμα 1. Εποπτική άποψη ατυχήματος

Εκτός από τους κινδύνους, παρατηρούμε ότι στη βάση των γεγονότων που οδηγούν σε ατύχημα τίθενται και κάποιες «θεμελιώδεις αιτίες». Αυτές αποτελούν συνήθως αδυναμίες στη διαχείριση του συστήματος, που δημιουργούν ευνοϊκές καταστάσεις για ανθρώπινα λάθη ή/ και προδιάθεση για βλάβες στον εξοπλισμό. Κατά τ' άλλα το διάγραμμα αυτό μας λέει ότι χωρίς την ύπαρξη κινδύνων κανένα ατύχημα δε συμβαίνει. Ταυτόχρονα ωστόσο, θα πρέπει να συντρέχει και άλλη μια (τουλάχιστον) αιτία για να οδηγηθούμε σε ατύχημα. Αυτή μπορεί να είναι είτε κάποια μηχανική βλάβη, είτε ανθρώπινο λάθος, είτε τελικά κάποιος εξωγενής παράγοντας. Ο συνδυασμός αυτών θα οδηγήσει σε ένα αρχικό γεγονός, το οποίο αν δεν καταφέρουν να ελέγξουν οι ασφαλιστικές δικλίδες του συστήματος μας θα εξελιχθεί σε ατύχημα. Με τον όρο ασφαλιστικές δικλίδες εννοούμε ακριβώς τα προγραμματισμένα μέτρα προστασίας που έχουν στόχο να διακόψουν την πορεία των γεγονότων που οδηγούν στο ατύχημα, και μπορούν να είναι από συσκευές και ανθρώπινες ενέργειες έως οργανωτικοί κανόνες. Μετά το αρχικό γεγονός και στην πορεία προς το ατύχημα, τις συνέπειες του στο σύστημα και τις επιπτώσεις του στον άνθρωπο και το περιβάλλον, απαιτείται, συνεχώς, ένας συνδυασμός εξωτερικών αιτιών και αποτυχίας των ασφαλιστικών δικλίδων για να συνεχίζεται η αλυσίδα του διαγράμματος.

Σ' αυτό το στάδιο της ανάλυσης, κεντρικός στόχος μας είναι, να εντοπίσουμε όλους αυτούς τους κινδύνους είτε ενυπάρχουν στο σύστημα μας, είτε είναι εξωγενείς και να προχωρήσουμε σε μία πρώτη ιεράρχηση τους. Όσο γενικό και αν φαίνεται αυτό, ή ακριβώς εξαιτίας αυτού του γεγονότος, υπάρχουν κάποιες βασικές κατά το δυνατόν τυποποιημένες μέθοδοι για την αναγνώριση των κινδύνων σε μια οποιαδήποτε μελέτη ρίσκου. Ακολουθούν οι βασικότερες απ' αυτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

❖ **HAZID (Hazard Identification Technique)**

Αποτελεί γενικό όρο που περιγράφει την αναγνώριση των κινδύνων και των επακόλουθων συνεπειών τους, ξεχωρίζοντας αυτές που φαίνεται να είναι πιο σημαντικές. Η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σύνολο ή μέρος του σκάφους ή και για την αξιολόγηση μιας συγκεκριμένης διαδικασίας.

Συνήθως το σύστημα μας διαιρείται σε υποσύνολα, τα οποία εξετάζονται από ειδικούς με στόχο την ανακάλυψη των πιθανών κινδύνων. Τέλος έχουμε μια πρώτη ταξινόμηση των κινδύνων ανάλογα με τη σοβαρότητα τους.

➤ **What- if Analysis**

Βασίζεται στην χρήση απλών ερωταπαντήσεων οι οποίες έχουν ως στόχο αφενός να αποκαλύψουν τα αδύναμα σημεία του συστήματος μας αφετέρου το αν και κατά πόσο υπάρχουν οι ασφαλιστικές δικλείδες ώστε να μην οδηγεί κάθε αστοχία ενός κομματιού του συστήματος σε ολική κατάρρευση του.

➤ **Checklist Analysis**

Αποτελεί αξιολόγηση του συστήματος μας με βάση προκαθορισμένα κριτήρια τα οποία παρέχονται με τη μορφή checklist. Τελικά δημιουργούνται πίνακες συμβατότητας (ή μη) με τα κριτήρια που θέσαμε και με προτεινόμενες ενέργειες, σε περίπτωση που τα κριτήρια δεν πληρούνται.

➤ **HAZOP (Hazard and Operability Analysis)**

Εδώ χρησιμοποιούνται λέξεις κλειδιά με σκοπό να βοηθήσουν μια ομάδα ειδικών να αναγνωρίσει τους κινδύνους για αστοχία που ενυπάρχουν σ' ένα σύστημα. Αυτές οι λέξεις κλειδιά προκύπτουν ως συνδυασμός προκαθορισμένων επιθέτων (λέξη οδηγός) και συγκεκριμένων μεγεθών ανάλογα και με το σύστημα που εξετάζουμε.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε επίπεδο συστημάτων που αποτελούν ωστόσο υποσύνολα ενός μεγαλύτερου οργανισμού, για παράδειγμα το δίκτυο πόσιμου ύδατος πλοίου αλλά όχι για ολόκληρο το πλοίο.

Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε συνδυασμούς τέτοιων λέξεων οδηγών με μεγέθη του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. <i>Λέξεις οδηγού ανάλυσης HAZOP</i>	
Λέξη Οδηγός	Μέγεθος
Όχι (καθόλου)	Ροή
Περισσότερη (υψηλή)	Πίεση
Λιγότερη (χαμηλή)	Θερμοκρασία
Το ίδιο με	Επίπεδο
Συνεχής (ή μη)	Χρόνος
Αντίστροφη	Διαδικασία
Σωστή/ Λάθος	Κατεύθυνση

Στον Πίνακα 2 βλέπουμε ένα παράδειγμα ανάλυσης HAZOP, όπως παρουσιάζεται σε εγχειρίδιο του ABS⁴.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. <i>Ανάλυση HAZOP για το σύστημα συμπίεσης αέρα πλοίου</i>				
Παρέκκλιση	Αίτια	Παρενέργειες	Ασφ. Δικλείδες	Προτάσεις
<i>Γραμμή Εισαγωγής Συμπιεστή</i>				
Υψηλή ροή		Καμία που να παρουσιάζει ενδιαφέρον		
Χαμηλή/ Καθόλου ροή	Κακή σύνδεση σωληνώσεων/ συσσώρευση βρόχινου ύδατος πιθανότητα	Κακή χρήση συμπιεστή που οδηγεί σε σπατάλη ενέργειας και πιθανή φθορά του	Παρεμβάλλουμε πιεσόμετρο μεταξύ φίλτρου εισαγωγής και συμπιεστή Αλλαγή του φίλτρου σε τακτά χρονικά διαστήματα	Ο έλεγχος του πιεσόμετρου να αποτελεί κομμάτι της καθημερινής εργασίας κάποιου μέλους του πληρώματος
Ροή προς λάθος κατεύθυνση	Δεν εντοπίστηκε			
• •	• •	• •	• •	• •

➤ FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)

Αποτελεί επαγωγική μέθοδο με κύρια εφαρμογή ηλεκτρικά και μηχανολογικά συστήματα, ενώ δεν χρησιμοποιείται για γενικότερες εφαρμογές όπως η ασφάλεια του σκάφους ως σύνολο. Αποκαλύπτει, πώς το μοντέλο αστοχίας κάθε ενός από τα κομμάτια ενός συστήματος, επηρεάζει το ίδιο το σύνολό του, ενώ διασφαλίζει την ύπαρξη ασφαλιστικών δικλείδων για την αποφυγή γενικευμένης αστοχίας.

⁴ American Bureau of Shipping, *Guidance notes on Risk Assessment Applications for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

Ολοκληρώνοντας την παρουσίαση των βασικών μεθόδων αναγνώρισης κινδύνου πρέπει να υπογραμμίσουμε ότι στην πραγματικότητα δεν χρησιμοποιούμε κάποια από αυτές μόνη της, αλλά λειτουργούν συμπληρωματικά η μια προς την άλλη.

2. Εκτίμηση του ρίσκου που προέρχεται από τους κινδύνους που αναγνωρίστηκαν στο βήμα 1.

Στόχος μας είναι, να επεκτείνουμε τις γνώσεις μας πάνω στους κινδύνους που επισημάνθηκαν στο βήμα 1 (υποθέτουμε πως στο 1 έχει ήδη γίνει μια πρώτη ιεράρχηση των κινδύνων οπότε μπορούμε να διαλέξουμε αυτούς που είναι πιο σημαντικοί), ώστε να έχουμε μια σαφέστερη άποψη για το *ρίσκο*, που προκύπτει από κάθε σενάριο αστοχίας. Μπορούμε να πούμε πως το βήμα 2 αποτελείται από δύο κύρια μέρη, την *ανάλυση αιτίου – συχνότητας (Cause and Frequency Analysis)* και την *ανάλυση συνεπειών*.

Τα εξαγόμενα κρίνονται αποδεκτά ή μη ανάλογα με τη συμμόρφωση προς προκαθορισμένα *κριτήρια αποδοχής ρίσκου (Risk Acceptance Criteria)*.

❖ **Ανάλυση αιτίου - συχνότητας**

Σε αυτό το στάδιο θέλουμε να διαπιστώσουμε σε λεπτομέρεια τους μηχανισμούς αστοχίας του συστήματος μας, υπολογίζοντας ταυτόχρονα και τη συχνότητα με την οποία συμβαίνει κάθε μοντέλο αστοχίας που οδηγεί τελικά σε ατύχημα. Ξανά, προς αυτό το στόχο χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες τεχνικές, η κάθε μια με αυστηρά ορισμένη δομή, και συνήθως συμπληρωματικές μεταξύ τους. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότερες.

➤ **Ανάλυση Ιστορικών Δεδομένων**

Ίσως η προτιμότερη από όλες τις μεθόδους, καθώς μειώνει την υποκειμενικότητα της ανθρώπινης κρίσης αντλώντας πληροφορίες από πραγματικά γεγονότα. Συνίσταται στη συλλογή στοιχείων, για περιπτώσεις ατυχημάτων που σχετίζονται με την υπό μελέτη περίπτωση, από Βάσεις Δεδομένων. Πολύ σημαντικό είναι πριν προχωρήσουμε σε οποιονδήποτε συσχετισμό μεταξύ των στοιχείων της Βάσης με τη μελέτη μας, να έχουμε ελέγξει αρχικά την αξιοπιστία της Βάσης, την ποιότητα των στατιστικών που μας παρέχει και εν συνεχεία, αν ο συσχετισμός που επιχειρούμε είναι « νόμιμος ». Το τελευταίο πολύ απλά μας λέει ότι, αν προσπαθήσουμε να εφαρμόσουμε συμπεράσματα από στατιστικά στοιχεία πάνω σε ναυτικά ατυχήματα στην αρκτική ζώνη, σε μια ανάλυση που αφορά ατυχήματα στο Αιγαίο, μάλλον θα πάρουμε παραπλανητικά αποτελέσματα εξ αιτίας των τελείως διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στις δύο περιοχές.

Στην περίπτωση που δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε Ιστορικά Δεδομένα, προσεγγίζουμε τη συχνότητα με τους τρόπους που ακολουθούν.

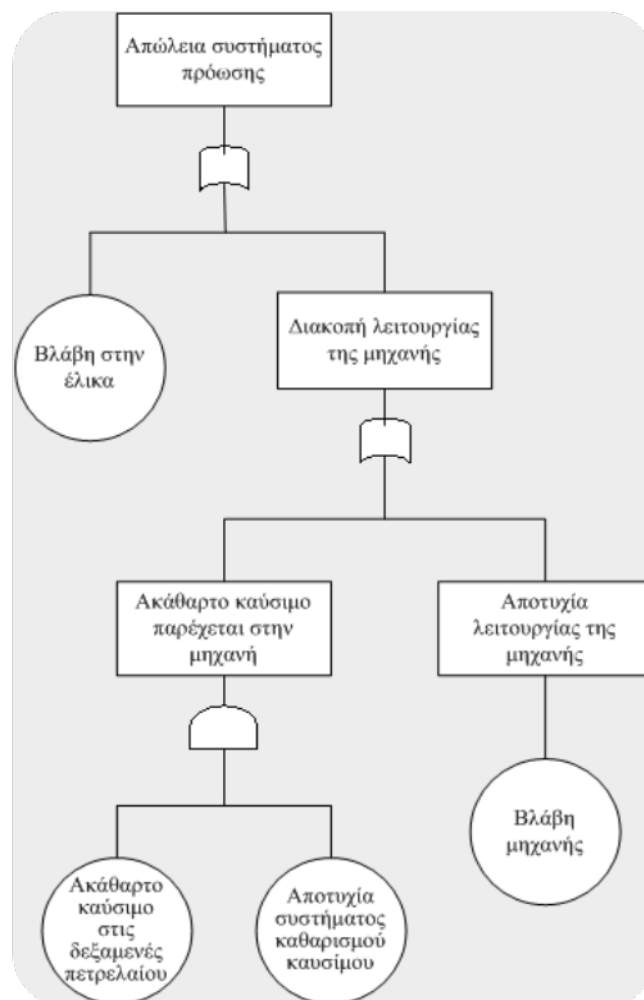
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

➤ Δένδρα Σφαλμάτων (*Fault Trees*)

Αποτελούν μέθοδο για την γραφική/ αναλυτική αναπαράσταση των λογικών συνδυασμών αιτιών που δυνητικά προκαλούν ένα ανεπιθύμητο γεγονός. Η δομή ενός Δένδρου Σφαλμάτων βασίζεται στη διασύνδεση των διαφόρων επιπέδων των γεγονότων μέσω λογικών πυλών μορφής AND/OR, ΠΛΕΙΟΨΗΦΙΑΣ κλπ.. Βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι,

- βοηθά στην αναγνώριση κινδύνων σε πολύπλοκα συστήματα
- προσφέρει μια εποπτική εικόνα για το πώς τα σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητες συνέπειες.
- παρέχει ποσοτικά συμπεράσματα πάνω στην πιθανότητα (συχνότητα) μια τοπική αστοχία να οδηγήσει σε γενικευμένη και ακολούθως σε ατύχημα.

Παρουσιάζουμε ένα ενδεικτικό Fault Tree που περιγράφει ποιοτικά το πως μπορεί να οδηγηθεί ένα πλοίο στο τελικό γεγονός «απώλεια συστήματος πρόωσης».

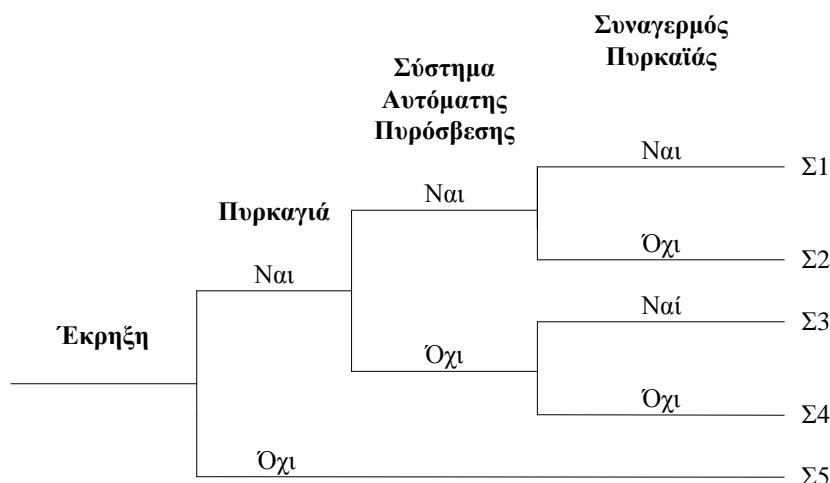


Σχήμα 2. Τοπικό παράδειγμα Fault Tree

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

➤ Δένδρα Γεγονότων (*Event Trees*)

Τα Δένδρα Γεγονότων είναι μια συστηματική προσέγγιση - διάγραμμα που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των επιπτώσεων ενός ατύχηματος, μιας αστοχίας, ή γενικότερα ενός ανεπιθύμητου γεγονότος⁵. Παρέχουν ποιοτική περιγραφή των πιθανών συνεπειών που ξεκινούν από ένα ατύχημα, αστοχία, ανεπιθύμητο γεγονός και δίνουν την πιθανότητα το ατύχημα αυτό να προκαλέσει συνέπειες συγκεκριμένου τύπου. Στηρίζονται στην ύπαρξη ασφαλιστικών δικλείδων που έχουν ως στόχο να μετριάσουν τις συνέπειες από το αρχικό γεγονός και ελέγχουν το αν και κατά πόσο επιτυγχάνουν το στόχο τους. Τελικά, η πιθανότητα υλοποίησης της εκάστοτε προκαθορισμένης συνέπειας προκύπτει ως η πιθανότητα πρόκλησης ατύχηματος (μπορεί να προκύπτει ως αποτέλεσμα ενός *Fault Tree*) επί την πιθανότητα επιτυχίας ή αποτυχίας των ασφαλιστικών δικλείδων, για κάθε αναπτυσσόμενη διαδρομή γεγονότων.



Σχήμα 3. Τυπικό παράδειγμα *Event Tree*

Όπου το Αρχικό Γεγονός «Έκρηξη» οδηγεί ανάλογα με την επιτυχία ή αποτυχία κάποιων δικλείδων ασφαλείας σε συνέπειες διαφορετικής έκτασης, κωδικοποιημένες ως Σ1, Σ2, Σ3, Σ4, Σ5.

➤ Ανάλυση Αστοχιών Κοινού Αιτίου (*Common Cause Failure Analysis, CCFA*)⁶

Αποτελεί συστηματική προσέγγιση, που εξετάζει ακολουθίες γεγονότων οι οποίες είναι αποτελέσματα πολλαπλών αστοχιών, με ένα όμως κοινό αίτιο. Πρέπει να

⁵ Βλ. Νικόλαος Π. Βεντίκος, *ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΙΙΙ*, σελ 32

⁶ American Bureau of Shipping, *Guidance notes on Risk Assessment Applications for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

προσέξουμε ότι από τη στιγμή που πολλαπλές αστοχίες έχουν μια κοινή ρίζα, αυτό σημαίνει ότι μπορούν να υπερνικήσουν πολλά επίπεδα προστασίας ταυτόχρονα.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι,

- βασίζεται κατά πολύ στην εμπειρία του ατόμου που κάνει την ανάλυση και στην ικανότητα του να ανακαλύπτει τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των διαφόρων αστοχιών, ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν δικλίδες που δεν θα επιτρέπουν σε ένα αίτιο να δημιουργεί αλυσίδες ανεπιθύμητων γεγονότων.
- χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε επίπεδο συστημάτων.
- γενικά απαιτεί «επί τόπου» επιθεωρήσεις από κάποιον ειδικό.
- παράγει τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά συμπεράσματα για τις αλληλεξαρτήσεις των διαφόρων γεγονότων και παράλληλα προτείνει τρόπους ώστε να εξαλειφθούν αυτές.
- η ποιότητα της ανάλυσης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην ικανότητα του αναλυτή, καθώς και στην κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα έγγραφα που συνοδεύουν το σύστημα μας (κατασκευαστικά σχέδια κλπ.).

➤ Ανάλυση Αξιοπιστίας Ανθρώπινου Παράγοντα (*Human Reliability Analysis*)

Επιχειρεί να υπολογίσει την πιθανότητα, η επέμβαση του ανθρώπου στο σύστημα να το οδηγήσει σε αστοχία είτε ενεργητικά (με τον άνθρωπο είτε να αποτελεί την πρωταρχική αιτία είτε με τις ενέργειες του να μην καταφέρνει να ελέγξει ένα ανεξάρτητο αίτιο αστοχίας), είτε παθητικά με τη μορφή αμέλειας.

Για παράδειγμα, έστω Δένδρο Γεγονότων, σε κάποιο κλαδί του οποίου εμφανίζεται η πρόταση, «ο χειριστής ανταποκρίνεται στον συναγερμό λαμβάνοντας κατάλληλα μέτρα προστασίας του συστήματος». Η πρόταση αυτή περικλείει στην πραγματικότητα έναν σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας, καθώς προϋποθέτει αρχικά ότι ο χειριστής βρίσκεται στη θέση του, ότι είναι σε θέση να αντιληφθεί το συναγερμό, ότι γνωρίζει ποια είναι τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας κλπ.. Την αβεβαιότητα αυτή καλείται να αποδώσει τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά η *H.R.A.*.

Εκμεταλλεζόμενος τα πορίσματα από τις προηγούμενες εκτιμήσεις ρίσκου ο μελετητής μπορεί να διαλέξει εκείνες τις περιπτώσεις που οδηγούν σε πιο σοβαρά αποτελέσματα και να προσπαθήσει να διακρίνει, σε ποια σημεία του μοντέλου αστοχίας υπεισέρχεται ο ανθρώπινος παράγοντας και να ανακαλύψει το τι θα μπορούσε να γίνει λάθος από την πλευρά του ανθρώπου.

Μια λίστα από πιθανά προβλήματα είναι:

- προβληματικές οδηγίες για την αντιμετώπιση αστοχιών
- κακή κατάσταση των οργάνων ενδείξεων
- κακή κατάρτιση χειριστή
- κακή εργονομία
- δυσκολία στην επικοινωνία κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

Μετά την ποιοτική παρουσίαση των καταστάσεων στις οποίες καλείται να επέμβει ο άνθρωπος και των λαθών που μπορεί να συμβούν, μπορεί να γίνει η ποσοτική εκτίμηση της πιθανότητας να αντιδράσει τελικά ο χειριστής λάθος, αντλώντας στοιχεία από ήδη υπάρχουσες Βάσεις Δεδομένων ανθρώπινου σφάλματος. Για παράδειγμα, θεωρώντας ότι ισχύουν και οι 5 παραπάνω προβληματικές συνθήκες καταλήγουμε σε μια πιθανότητα να έχουμε λάθος οφειλόμενο στον άνθρωπο ίση με 0,02 (το νούμερο είναι αυθαίρετο και εξυπηρετεί απλά τις ανάγκες του παραδείγματος).

Μετά το πέρας της ανάλυσης θα πρέπει να έχουμε στα χέρια μας τα παρακάτω στοιχεία,

- λίστα εργασιών προσωπικού
- λίστα με τα πιθανά λάθη
- την πιθανότητα να συμβεί κάθε ένα από αυτά
- στρατηγικές μείωσης του ανθρώπινου λάθους
- πληροφόρηση σχετικά με τη βελτίωση της εκπαίδευσης και των διαδικασιών
- πληροφόρηση σχετικά με το σύστημα διαχείρισης ασφάλειας

❖ Ανάλυση Συνεπειών

Σκοπός της είναι, κάνοντας χρήση αναλυτικών μοντέλων, να παράσχει λεπτομερή πληροφόρηση σχετικά με τις πιθανές συνέπειες κάθε σεναρίου αστοχίας. Η χρήση αυτών των μοντέλων συνήθως απαιτεί:

- τον χαρακτηρισμό του υλικού ή της μορφής ενέργειας που σχετίζεται με τον κίνδυνο που εξετάζουμε.
- τη μέτρηση (μπορεί να αποδειχτεί ιδιαίτερα δαπανηρή) ή εκτίμηση (μέσα από μαθηματικά μοντέλα) της μεταφοράς του υλικού ή της μετάδοσης της ενέργειας, μέσα στο περιβάλλον και προς τον εκτεθειμένο στον κίνδυνο στόχο.
- αναγνώριση των συνεπειών από την «συνάντηση» του υλικού ή της ενέργειας με το στόχο.
- ποσοτικοποίηση των συνεπειών στο περιβάλλον, την οικονομία, την ασφάλεια και την υγεία του στόχου.

Κάποια από τα παραπάνω μπορεί να αποδειχτούν ιδιαίτερα ακριβά στην εφαρμογή τους, κάτι που σημαίνει ότι ο αναλυτής θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός σχετικά με το τι στοιχεία χρειάζεται το μοντέλο του για τρέξει και ο ίδιος για να βγάλει συμπεράσματα.

Τελικά τα συμπεράσματα μιας ανάλυσης συνεπειών πρέπει να είναι μια εκτίμηση του βαθμού έκθεσης, του πληθυσμού- στόχου στον κίνδυνο που μας ενδιαφέρει και των επιπτώσεων στην υγεία του, ή την ασφάλεια του γενικότερα, από αυτή την έκθεση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

❖ Τελική Εκτίμηση του Ρίσκου

Έχοντας στα χέρια μας τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις Συχνότητας και Συνεπειών, μπορούμε συνδυάζοντας τα να καταλήξουμε στο ρίσκο της υπό εξέταση δραστηριότητας.

Μια συνήθης πρακτική είναι να αποδίδουμε δείκτες τόσο στις συχνότητες όσο και στις συνέπειες. Οι δείκτες αυτοί μπορούν να εκφράζουν το μέγεθος είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά.

Τελικά καταλήγουμε σε Πίνακες Ρίσκου (*Risk Matrices*). Ακολουθούν παραδείγματα Πινάκων Ρίσκου, όπως τα βρήκαμε στο *SAFEDOR, Risk Evaluation Criteria*⁷, του DNV.

➤ Ποιοτική προσέγγιση.

Οι Πίνακες που ακολουθούν αφορούν στις σιδηροδρομικές μεταφορές στην Ευρώπη.

<i>Πίνακας 3. Συχνότητα εμφάνισης επικίνδυνων γεγονότων</i>	
Κατηγορία	Περιγραφή
Σύνηθες	θα συμβαίνει συχνά, ο κίνδυνος απαντάται συνεχώς
Πιθανό	θα συμβαίνει αρκετές φορές, ο κίνδυνος αναμένεται να απαντάται συχνά
Περιστασιακό	πιθανόν να συμβεί αρκετές φορές, ο κίνδυνος αναμένεται να απαντάται αρκετές φορές
Απομακρυσμένο	πιθανόν να συμβεί κάποια στιγμή στον κύκλο ζωής του συστήματος, ο κίνδυνος λογικά αναμένεται κάποια στιγμή να εμφανιστεί
Σπάνιο	δύσκολα θα συμβεί αλλά όχι και απίθανο, μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο κίνδυνος κατ' εξαίρεση θα εμφανιστεί.
Απίθανο	πολύ δύσκολα θα συμβεί, μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο κίνδυνος μάλλον δεν θα εμφανιστεί

⁷ Rolf Skjong, Erik Vanem, Oyvind Endresen, *SAFEDOR, Risk Evaluation Criteria*, DNV 2005

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

<i>Πίνακας 4. Βαθμός σοβαρότητας κινδύνων</i>		
Βαθμός	Επιπτώσεις σε ανθρώπους και περιβάλλον	Επιπτώσεις στην υπηρεσία
Καταστροφικός	θάνατοι και/ ή σοβαροί τραυματισμοί και/ ή μεγάλη ζημιά στο περιβάλλον	
Κρίσιμος	θάνατος και/ ή σοβαρός τραυματισμός και/ ή σημαντική ζημιά στο περιβάλλον	απώλεια ενός κυρίου συστήματος
Οριακός	ελαφρός τραυματισμός και/ή σημαντική απειλή προς το περιβάλλον	σοβαρότατη ζημιά του συστήματος
Ασήμαντος	πιθανότητα για ελαφρύ τραυματισμό	μικρής έκτασης ζημιά του συστήματος

<i>Πίνακας 5. Ποιοτικές κατηγορίες ρίσκου</i>	
Κατηγορία	Ενέργειες ενάντια σε κάθε κατηγορία ρίσκου
Απαράδεκτο	Πρέπει να εξαιρεθεί
Ανεπιθύμητο	Μπορεί να είναι αποδεκτό, μόνο στην περίπτωση που η μείωση του ρίσκου είναι πρακτικά αδύνατη και με τη σύμφωνη γνώμη της Αρχής των Σιδηροδρόμων ή της Αρχής κατάρτισης κανονισμών για την Ασφάλεια, ανάλογα με την περίπτωση
Ανεκτό	Αποδεκτό με επαρκή έλεγχο και τη σύμφωνη γνώμη της Αρχής των Σιδηροδρόμων
Αμελητέο	Αποδεκτό με ή χωρίς συμφωνία

Οι Πίνακες 1, 2, 3 δίνουν τελικά τον συγκεντρωτικό Πίνακα 4 για το ρίσκο.

<i>Πίνακας 6. Εκτίμηση Ρίσκου</i>				
Συχνότητα επικίνδυνων γεγονότων	Επίπεδο Ρίσκου			
	Σύνηθες	Ανεπιθύμητο	Απαράδεκτο	Απαράδεκτο
Πιθανό	Ανεκτό	Ανεπιθύμητο	Απαράδεκτο	Απαράδεκτο
Περιστασιακό	Ανεκτό	Ανεπιθύμητο	Ανεπιθύμητο	Απαράδεκτο
Απομακρυσμένο	Αμελητέο	Ανεκτό	Ανεπιθύμητο	Ανεπιθύμητο
Σπάνιο	Αμελητέο	Αμελητέο	Ανεκτό	Ανεκτό
Απίθανο	Αμελητέο	Αμελητέο	Αμελητέο	Αμελητέο
	Ασήμαντος	Οριακός	Κρίσιμος	Καταστροφικός
	Βαθμός σοβαρότητας κινδύνων			

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

Έχουμε έτσι μια αρκετά εύληπτη ποιοτική παρουσίαση του ρίσκου που υπολογίζεται με απλά λόγια ως εξής. Έστω μια δυσλειτουργία στο τρένο που κρίνεται μη σημαντική, συμβαίνει ωστόσο κάθε μέρα. Τότε έχουμε,

$$\text{ασήμαντο γεγονός (x) συνήθης συχνότητα} = \text{ανεπιθύμητο ρίσκο}$$

Σε αυτό το σημείο θα ήταν χρήσιμο να ανοίξουμε μια παρένθεση σχετική με το παράδειγμα που μόλις παραθέσαμε. Παρατηρούμε ότι στον Πίνακα των ρίσκων δεν συναντάμε διαβαθμίσεις όπως χαμηλό, μεσαίο ή υψηλό αλλά ανεπιθύμητο, ανεκτό κλπ.. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια προηγούμενη μελέτη που καθορίζει τα επίπεδα του ρίσκου που η κοινωνία θεωρεί αποδεκτά.

Ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγραφεί αυτή η μελέτη είναι, Κριτήρια Αποτίμησης Ρίσκου (*Risk Evaluation Criteria*) που προφανώς οδηγούν σε Κριτήρια Αποδοχής Ρίσκου (*Risk Acceptance Criteria*).

Εδώ, μόνο ονομαστικά έχουμε αναφερθεί προς το παρόν σε αυτά και αυτό ήταν συνειδητή επιλογή, καθώς θεωρήσαμε ότι δεν έχει νόημα να ορίσουμε Κριτήρια Αποδοχής Ρίσκου, πριν αναλυθούν πλήρως έννοιες βασικές, όπως το τι σημαίνει ρίσκο, τι είναι μια ανάλυση ρίσκου κλπ..

Μάλιστα η συγκεκριμένη περιοχή της Ανάλυσης Ρίσκου, εμφανίζει τις περισσότερες θεωρητικές δυσκολίες, καθώς «κοινά αποδεκτά επίπεδα ρίσκου» σημαίνει εντελώς απλά, την αποδοχή εκ μέρους της κοινωνίας, ότι ένα μέρος του πληθυσμού θα έρχεται αντιμέτωπο με κινδύνους που θα προσβάλλουν την ασφάλεια του. Είναι προφανές ότι η μοντελοποίηση μιας τέτοιας «ευθύνης», οφείλει αν μη τι άλλο να είναι αντικειμενική, διαφανής ως προς τα ζητούμενα και τις μεθόδους, και ξεκάθαρη ως προς τα συμπεράσματα.

Οι Πίνακες Ρίσκου δεν φαίνεται να προσφέρουν αυτά τα πλεονεκτήματα. Κατ' αρχήν λόγω της μορφής τους το υπολογιστικό κομμάτι της αποτίμησης του Ρίσκου αποκρύπτεται. Ποιος τραυματισμός θεωρείται ασήμαντος; Ποια συχνότητα θεωρείται «σπάνια». Για παράδειγμα μια συχνότητα της τάξης του 10^{-3} θάνατοι ανά έτος είναι μικρή ή μεγάλη; Μήπως ο τύπος της δραστηριότητας που εξετάζεται θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν αν θέλουμε να απαντήσουμε στα παραπάνω ερωτήματα; Τέλος αφού δεν παρέχεται κάποιο υπολογιστικό μοντέλο που θα δίνει τις απαντήσεις, είναι θεμιτό να αρκεστούμε απλά και μόνο στις απαντήσεις των ειδικών που βασίζονται στην εμπειρία τους και τις προσωπικές τους απόψεις;

Αποψη μας είναι ότι οι Πίνακες Ρίσκου (πολύ περισσότερο όταν αποτελούν ποιοτικές προσεγγίσεις), γενικώς είναι ακατάλληλοι για τη διαδικασία της *Αποτίμησης Ρίσκου*. Σαφώς και αποτελούν σημαντικά εργαλεία για μια πρώτη διερεύνηση των επιπέδων του ρίσκου, καθώς συν τοις άλλοις είναι και εξαιρετικά απλοί στην ανάγνωση. Θεωρούμε ωστόσο ότι για την *Αποτίμηση Ρίσκου* και την παραγωγή *Κριτηρίων* -από τα μέσα που έχουμε σήμερα στη διάθεση μας- είναι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

μακράν προτιμότερες οι καμπύλες *FN* σε συνδυασμό και με άλλα μεγέθη όπως το *PLL*.

Την άποψη αυτή φαίνεται να συμμερίζεται και ο *DNV*, ο οποίος αναφέρει: «Μερικές φορές αυτοί οι πίνακες περιέχουν και ενδείξεις αποδοχής (του ρίσκου). Αυτό δεν συνίσταται»⁸.

➤ Ποσοτική προσέγγιση

Σε αυτή την περίπτωση είναι σύνηθες να αποδίδουμε τόσο στην πιθανότητα όσο και στο μέγεθος των συνεπειών του ατυχήματος, τιμές σε λογαριθμική κλίμακα τις οποίες ονομάζουμε δείκτες συχνότητας και συνεπειών αντίστοιχα.

<i>Πίνακας 7. Λογαριθμικοί Δείκτες Συχνότητας</i>			
<i>Λογαριθμικός Δείκτης</i>	<i>Συχνότητα (F)</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>F (ανά πλοίο ανά έτος)</i>
7	Συχνό	Πιθανόν θα συμβεί μια φορά τον ένα μήνα σε 1 πλοίο	10
6			
5	Αρκετά Πιθανό	Πιθανόν θα συμβεί μια φορά το χρόνο ανά 10 πλοία ή αλλιώς πιθανόν θα συμβεί μια φορά στη διάρκεια ζωής ενός πλοίου	0,1
4			
3	Απομακρυσμένο	Πιθανόν θα συμβεί μια φορά το χρόνο ανά 1000 πλοία ή αλλιώς πιθανότατα θα συμβεί στο συνολικό χρόνο ζωής όμοιων πλοίων	10^{-3}
2			
1	Μάλλον Απίθανο	Πιθανόν θα συμβεί μια φορά στο χρόνο ζωής 5000 πλοίων	10^{-5}

⁸ Rolf Skjong, Erik Vanem, Oyvind Endresen, *SAFEDOR, Risk Evaluation Criteria*, DNV 2005, page 93. Να σημειώσουμε πάντως ότι γενικώς υπάρχει και η άποψη που υποστηρίζει τη χρήση Πινάκων Ρίσκου για την αξιολόγηση του ρίσκου, όπως για παράδειγμα στο American Bureau of Shipping, *Guidance notes on Risk Assessment Applications for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries*, page 38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

Πίνακας 8. Λογαριθμικοί Δείκτες Μεγέθους Συνεπειών

Λογαριθμικός Δείκτης	Μέγεθος Συνεπειών	Αποτελέσματα στον άνθρωπο	Αποτελέσματα στο πλοίο	Αντίστοιχος αριθμός νεκρών
1	Μικρό	Ένας μόνο τραυματισμός ή περισσότεροι αλλά ελαφροί	Τοπικές ζημιές σε μηχανήματα	0,01
2	Σημαντικό	Πολλοί ή σοβαροί τραυματισμοί	Ζημιά στο πλοίο αλλά όχι σοβαρή	0,1
3	Σοβαρό	Ένας νεκρός ή πολλοί σοβαροί τραυματισμοί	Σοβαρή ζημιά στο πλοίο	1
4	Καταστροφικό	Πολλοί νεκροί	Ολική απώλεια	10

Ακόμα όπως έχουμε δει είναι,

$$Risk = Frequency \times Consequence$$

και ως εκ τούτου,

$$\log(Risk) = \log(Frequency) + \log(Consequence)$$

Από την τελευταία σχέση και τους Πίνακες 5 και 6 παίρνουμε τον Πίνακα 7.

Πίνακας 9. Αποτίμηση Ρίσκου

Δείκτης Συχνότητας	Συχνότητα	Δείκτης Σοβαρότητας Ατυχήματος			
		1	2	3	4
		Μικρό	Σημαντικό	Σοβαρό	Καταστροφικό
7	Συχνό	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Αρκετά Πιθανό	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Απομακρυσμένο	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Μάλλον Απίθανο	2	3	4	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

Παρατηρούμε ότι εδώ το ρίσκο παρουσιάζεται ως μια 11-βάθμια λογαριθμική κλίμακα, όπου το μέγεθος του ρίσκου αυξάνει μονόσημα με τον δείκτη του χωρίς ωστόσο να υπάρχει η οποιαδήποτε αξιολογική κρίση αναφορικά με το κατά πόσο το προκύπτον κάθε φορά ρίσκο είναι ανεκτό. Αυτή είναι και η κατά τη γνώμη μας σωστότερη χρήση των Πινάκων Ρίσκου.

3. Διαθέσιμες επιλογές για τον έλεγχο του ρίσκου

Στο προηγούμενο βήμα της *F.S.A.* πραγματοποιήσαμε μια λεπτομερή ανάλυση των διαφόρων μοντέλων ρίσκου ξεκινώντας από τους πρωταρχικούς κινδύνους που θα οδηγήσουν στο ατύχημα ως και τις επιπτώσεις που θα έχει το ατύχημα αυτό στον άνθρωπο, το περιβάλλον και την οικονομία. Μάλιστα στο βήμα 2 της *F.S.A.*, προχωρούμε και σε μια αξιολογική κρίση των διαφόρων μοντέλων αποδίδοντας τους χαρακτηρισμούς όπως υψηλό, αποδεκτό, μη αποδεκτό κλπ.

Στο 3^ο βήμα θα ασχοληθούμε πλέον με εκείνα τα ρίσκα που εμφανίζονται να είναι υψηλότερα από τα υπόλοιπα με στόχο να προτείνουμε μια σειρά μέτρων (*Risk Control Options*) για την μείωση (αν όχι την εξάλειψή τους). Δύο διαφορετικές πορείες είναι δυνατόν να ακολουθήσει κανείς,

- η πρώτη αφορά στην προσπάθεια να μειωθεί η συχνότητα ενός τύπου ατυχήματος,
- ενώ η δεύτερη εστιάζει στον μετριασμό των συνεπειών του ατυχήματος.

Είναι σημαντικό η ομάδα των ειδικών που θα προτείνει τα Μέτρα Ελέγχου του Ρίσκου, να έχει ευρεία γνώση του ζητήματος ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει όλες τις εκφάνσεις του είτε αυτές είναι τεχνικές, επιχειρησιακές ή οργανωτικές.

Η στόχευση των *R.C.O.* οφείλει να επικεντρώνεται στις εξής περιπτώσεις,

- Εκεί που η ανάλυση κατά το Βήμα 2 της *F.S.A.* έδειξε υψηλά επίπεδα ρίσκου.
- Όπου το επίπεδο του ρίσκου είναι μεν αποδεκτό, ωστόσο η σοβαρότητα των συνεπειών από τυχόν ατύχημα είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Σε αυτή την περίπτωση η πιθανότητα να συμβεί το ατύχημα είναι εξαιρετικά χαμηλή συντελώντας στο να κατατάσσεται το ρίσκο ατυχήματος ως αποδεκτό. Ωστόσο από τη στιγμή που θα συμβεί θα είναι τέτοιες οι συνέπειες του ώστε να μας επιβάλλουμε να πάρουμε μέτρα για περαιτέρω μείωση του ρίσκου.
- Όπου το επίπεδο του ρίσκου είναι μεν αποδεκτό, ωστόσο η πιθανότητα να έχουμε ατύχημα είναι πολύ υψηλή. Εδώ έχουμε να κάνουμε με ασήμαντες κυρίως συνέπειες, η συχνότητα όμως των περιστατικών θα έχει επίπτωση στην

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

επιχειρησιακή απόδοση του συστήματος μας με προφανείς σωρευτικές οικονομικές συνέπειες.

- Όπου οι εκτιμήσεις μας σχετικά με την πιθανότητα ατυχήματος και την εκτίμηση των συνεπειών απ' αυτό διέπονται από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας και συνεπώς χαμηλή αξιοπιστία.

Ακολούθως προτείνονται εκείνα τα μέτρα που είναι κατάλληλα αλλά και πρακτικά εφαρμόσιμα για τη μείωση του ρίσκου. Αυτά μπορούν να είναι είτε μεμονωμένες ασφαλιστικές δικλείδες σε τοπικό επίπεδο, είτε και ολόκληρες επιχειρησιακές διαδικασίες.

Μετά την αναγνώριση των κατάλληλων *R.C.O.* και πριν την εφαρμογή τους πρέπει να επανεκτιμήσουμε τα επίπεδα του ρίσκου, αρχικά σε επίπεδο μοντέλου, ώστε να έχουμε εικόνα της αποτελεσματικότητάς τους. Υπολογίζεται έτσι, το κατά πόσο το κάθε μέτρο που εφαρμόζουμε, συμμετέχει στην μείωση του ρίσκου.

4. Ανάλυση Κόστους/ Οφέλους από την εφαρμογή των *R.C.O.*

Στόχος είναι να υπολογιστούν τα κόστη και τα οφέλη που σχετίζονται με την εφαρμογή των *R.C.O.* και τις επιπτώσεις από αυτά στη λειτουργία του συστήματος μας. Μια σωστή ανάλυση Κόστους/ Οφέλους οφείλει να εμβαθύνει όσο το δυνατόν περισσότερο στο πώς θα επηρεάσουν τα *R.C.O* μια δραστηριότητα.

Πρακτικά υπάρχουν δύο τρόποι για να εκφραστεί η αποτελεσματικότητα τέτοιων μέτρων. Ο πρώτος με τον υπολογισμό του Ακαθάριστου Κόστους Αποτροπής ενός Θανάτου (*Gross Cost of Averting a Fatality, GCAF*) ενώ ο δεύτερος με τον υπολογισμό του Καθαρού Κόστους Αποτροπής ενός Θανάτου (*Net Cost of Averting a Fatality, NCAF*).

- $$GCAF = \frac{\text{Cost Increase}}{\text{Risk Reduction}}$$
- $$NCAF = \frac{\text{Cost Increase} - \text{Economic Benefits}}{\text{Risk Reduction}}$$

Για τον υπολογισμό του *NCAF*, τα οφέλη μεταφράζονται σε χρηματικές μονάδες (πχ με τον προσδιορισμό του κόστους του να έχουμε ατύχημα, το οποίο με *R.C.O.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

μπορεί να αποφευχθεί, το κόστος του ατυχήματος που « γλιτώσαμε » αποτελεί ουσιαστικά το κέρδος από την εφαρμογή των *R.C.O.*).

Έτσι ορισμένες από τις εκφράσεις που τυπικά συναντάμε είναι « η μείωση της συχνότητας θανατηφόρων ατυχημάτων/ τραυματισμών », « η μείωση της συχνότητας των ατυχημάτων », « μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις », « αύξηση της εκμεταλλεύσιμης ζωής του σκάφους ή της εγκατάστασης » κλπ.

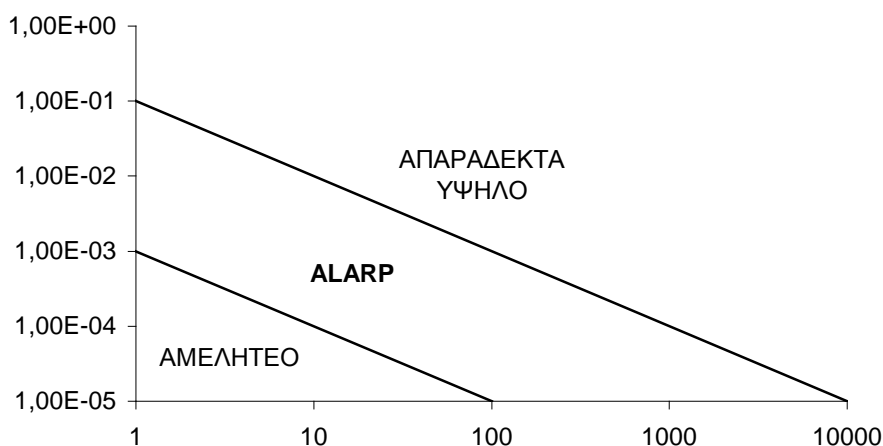
Αντίθετα τα κόστη των *R.C.O.* σχετίζονται με την εγκατάστασή τους, με το κόστος λειτουργίας τους, με την αναγκαία εκπαίδευση του προσωπικού για τη σωστή εφαρμογή τους και με την τακτή επιθεώρηση και πιστοποίηση της αποτελεσματικής λειτουργίας τους.

Τελικά το 4^ο βήμα μιας *F.S.A.* πρέπει να αποτελεί μια τεκμηριωμένη μελέτη πάνω στα Κόστη και τα Οφέλη από την εφαρμογή *R.C.O.* καθώς και συμπεράσματα για τον αν τελικά τέτοια μέτρα είναι ορθολογικά και αν η εφαρμογή τους κρίνεται σκόπιμη ή όχι.

Όπως θα δούμε μια τέτοια ανάλυση Κόστους/ Οφέλους, αναπόδραστα συνδέεται και με τη λεγόμενη *ALARP* (*As Low As Reasonably Practible*) αντιμετώπιση του ρίσκου. Όπως προκύπτει και από την ονομασία της σημαίνει την διάθεση μας να κρατήσουμε το ρίσκο σε επίπεδα τόσο χαμηλά όσο είναι πρακτικά εφικτό.

Η λέξη « πρακτικά » σαφέστατα αντανακλά τα οικονομικά μέσα που διαθέτουμε, οριοθετώντας το σημείο εκείνο από το οποίο και μετά ξοδεύουμε δυσανάλογα πολύ, για μικρή μείωση του ρίσκου.

Ενδιαφέρον έχει η απεικόνιση της *ALARP* πάνω σε ένα διάγραμμα *F-N*.



Σχήμα 4. Απεικόνιση της *ALARP* περιοχής σε ένα διάγραμμα *F-N*

Οι τιμές που παρουσιάζονται στο διάγραμμα εξυπηρετούν αποκλειστικά τις ανάγκες μιας παρουσίασης του τρόπου με τον οποίο αποτυπώνονται τα όρια της *ALARP* σε ένα διάγραμμα *F-N* και δεν απεικονίζουν την πραγματικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση ρίσκου/ Εφαρμογή στη Ναυτιλία

Κατά τη συνήθη πρακτική η ανάλυση Κόστους/ Οφέλους εφαρμόζεται μέσα στη ζώνη της *ALARP*, δηλαδή στην περιοχή μεταξύ των δύο ευθειών του παραπάνω σχήματος. Υψηλότερα της « πάνω » ευθείας το ρίσκο είναι πλέον πολύ μεγάλο ώστε να πρέπει να αντιμετωπισθεί ανεξαρτήτως κόστους, ενώ αντίθετα χαμηλότερα της « κάτω » ευθείας δεν έχει νόημα η εφαρμογή μέτρων περιορισμού του καθώς είναι ήδη αρκετά χαμηλό.

5. Προτάσεις

Τέλος κάθε *F.S.A.* πρέπει να καταλήγει σε συγκεκριμένες προτάσεις, παρέχοντας μια αντικειμενική σύγκριση μεταξύ των διαφόρων εναλλακτικών, με βάση την ικανότητα τους στον μετριασμό του ρίσκου και την οικονομική τους βιωσιμότητα.

➤ Συμπερασματικά

Η διαδικασία που παρουσιάστηκε αφορά μεν συγκεκριμένα στην Τυπική Αποτίμηση Ασφαλείας όπως προτείνεται από τον ΙΜΟ, ωστόσο θα μπορούσε να γενικευτεί ώστε να περιγράφει οποιαδήποτε δραστηριότητα χωρίς να μεταβληθεί η δομή της και τα πέντε βήματα που περιγράψαμε.

Στα επόμενα θα επικεντρωθούμε αποκλειστικά στο δεύτερο βήμα, την εκτίμηση δηλαδή του ρίσκου και την αξιολόγηση του κατά πόσο το μέγεθος του ρίσκου που υπολογίσαμε μπορεί να είναι αποδεκτό ή απαιτεί διορθωτικές κινήσεις. Τονίζεται ότι αν και σε αυτό το πρώτο κεφάλαιο μεταχειριστήκαμε το παράδειγμα της ναυτιλίας για την εξήγηση βασικών εννοιών της Διαχείρισης Ρίσκου στη συνέχεια ήταν συνειδητή επιλογή να εξετάσουμε την Αποτίμηση Ρίσκου όσο τον δυνατόν αυτόνομα και χωρίς να επιμείνουμε στην ειδική περίπτωση κάποιας βιομηχανίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

Κατά την διάρκεια των τριών τελευταίων δεκαετιών, ερευνητές, κοινωνιολόγοι και ειδικοί έχουν μελετήσει το ρίσκο, δίνοντας του πολλές διαφορετικές διαστάσεις και ορισμούς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο πολυδιάστατο χαρακτήρα του ρίσκου καθώς και στην υποκειμενικότητα της αντίληψης του ανθρώπου για την έννοια του.

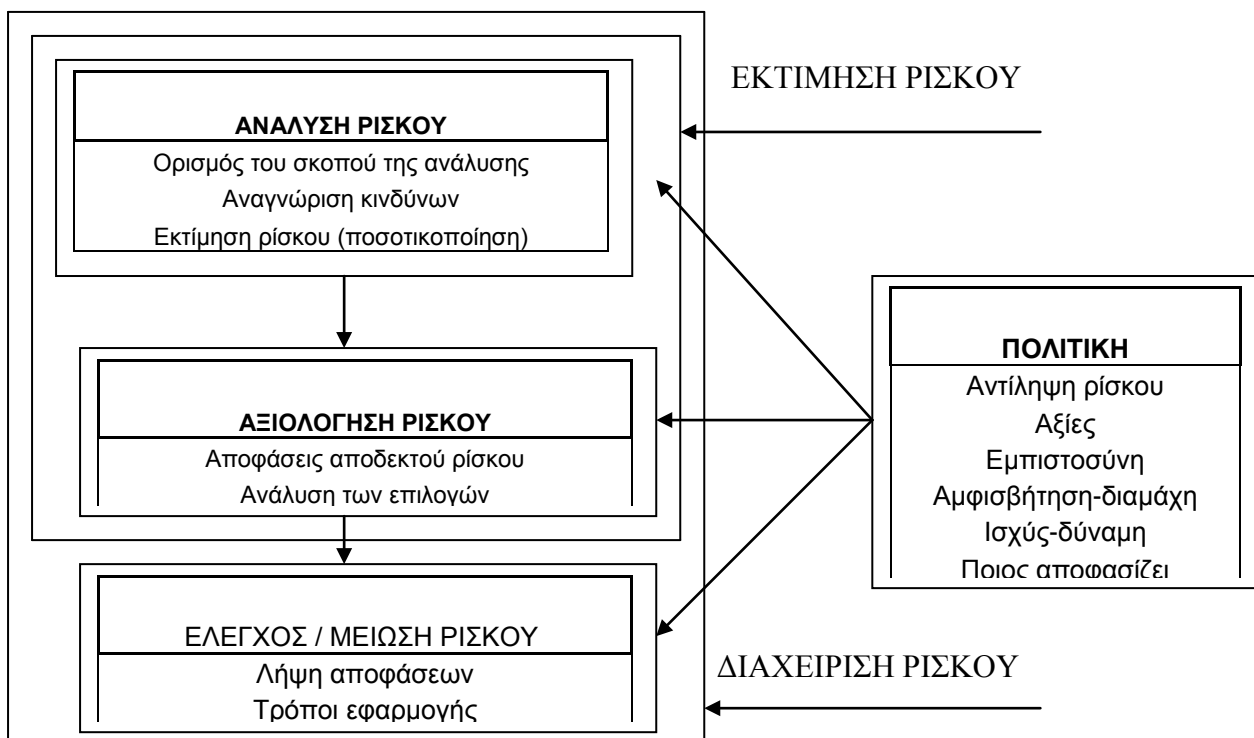
Το πεδίο της διαχείρισης ρίσκου (**Risk Management**) έχει αναπτυχθεί σημαντικά κυρίως όσον αφορά στους τομείς της Ανάλυσης ρίσκου (**Risk Analysis**) και του υπολογισμού / εκτίμησης ρίσκου (**Risk Assessment**). (Σχ.5)

Αναλύοντας τα παραπάνω :

Risk Analysis : είναι η συστηματική χρήση διαθέσιμων πληροφοριών για την αναγνώριση των κινδύνων καθώς και η εκτίμηση ρίσκου σε ατομικό, κοινωνικό, περιβαλλοντολογικό επίπεδο.

Risk Assessment : είναι η επανεξέταση του αποδεκτού ρίσκου το οποίο έχει αναλυθεί και αξιολογηθεί βασισμένο σε κριτήρια ανοχής του ρίσκου

Risk Management : είναι η εφαρμογή της εκτίμησης ρίσκου με πρόθεση να πληροφορήσει για τα κατάλληλα μέτρα μείωσης ρίσκου και τους πιθανούς τρόπους εφαρμογής



Σχήμα 5. Συνιστώσες στη διαχείριση του ρίσκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

Αυτό που δεν πρέπει να ξεχνάμε είναι πως η διαχείριση ρίσκου εκτός από επιστημονικό, είναι και πολιτικό εγχείρημα. Η κοινή γνώμη και η αντίληψη της κοινωνίας για το ρίσκο λαμβάνουν ενεργό ρόλο για την ανάλυση και κυρίως την αξιολόγηση και την διαχείριση του ρίσκου.

2.1 Τι είναι ρίσκο;

Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει κανείς κατά τη διενέργεια μιας Ανάλυσης Ρίσκου είναι η έννοια αυτή καθ' αυτή του ρίσκου. Η λέξη ρίσκο σημαίνει διαφορετικά πράγματα για διαφορετικούς ανθρώπους σε διαφορετικές χρονικές στιγμές οδηγώντας σε σύγχυση και παρερμηνείες. Το γεγονός, ότι, δεν υπάρχει κοινή διεθνής ορολογία και πάρα πολλές 'διάλεκτοι του ρίσκου', δυσχεραίνει ακόμη περισσότερο τη κατάσταση. Μάλιστα ο Stan Kaplan διατύπωσε τα εξής θεωρήματα :

-*θεώρημα 1*: Το 50% των προβλημάτων στον κόσμο προκύπτουν από ανθρώπους που χρησιμοποιούν ίδιες λέξεις για διαφορετικές έννοιες.

-*θεώρημα 2*: Το άλλο 50% των προβλημάτων προέρχεται από ανθρώπους που χρησιμοποιούν διαφορετικές λέξεις για ίδιες έννοιες.

Οι ευρύτερα διαδεδομένες χρήσεις της λέξης είναι:

- Το ρίσκο ως κίνδυνος.
- Το ρίσκο ως πιθανότητα.
- Το ρίσκο ως συνέπεια.
- Το ρίσκο ως απειλή ή ανεπιθύμητο γεγονός

Ένας κάπως γενικός ορισμός του θα μπορούσε να είναι ο εξής:

‘ Ρίσκο είναι πιθανότητα μιας συγκεκριμένης δυσμενούς επίπτωσης. ’

Βέβαια αυτός ο ορισμός δεν μας βοηθάει και τόσο ούτε στην κατανόηση του ρίσκου, ούτε πολύ περισσότερο στην ποσοτικοποίηση του. Το βασικό πρόβλημα του, είναι ότι θεωρώντας το ρίσκο πιθανότητα, δεν λαμβάνει υπ' όψιν τις συνέπειες που θα έχει το ανεπιθύμητο γεγονός αν τελικά συμβεί. Ο παρακάτω ορισμός προσπαθεί να πραγματοποιήσει ακριβώς αυτή τη διασύνδεση πιθανότητας και συνεπειών.

‘ Ρίσκο θεωρείται το γινόμενο της πιθανότητας ανεπιθύμητου συμβάντος επί της όποιες μετρήσιμες επιπτώσεις προκύπτουν από αυτό. ’⁹

$$R = \sum p_i \cdot C_i$$

⁹ Νικόλαος Π. Βεντίκος, *ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΙΙΙ*, σελ 20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

Παρ' ότι ο προηγούμενος ορισμός μας παρέχει ένα φαινομενικά απόλυτο μέτρο του ρίσκου, η αξιολόγηση αυτού του μέτρου (πχ. έστω καταλήξαμε σε έναν αριθμό για το ρίσκο, τελικά είναι υψηλό ή χαμηλό;) είναι διαδικασία έντονα υποκειμενική. Εξ' άλλου τόσο ο προσδιορισμός του p_i όσο και του C_i διέπονται από σε μεγάλο βαθμό από υποκειμενικότητα, ενώ υποκειμενική είναι και η αντίληψη του κάθε ατόμου σχετικά με το μέγεθος των συνεπειών από κάποια δραστηριότητα.

Το ρίσκο δεν υπάρχει ανεξάρτητο από την κουλτούρα, το πολιτισμό και την κοσμοθεωρία μας, περιμένοντας να μετρηθεί. Αντιθέτως, ως έννοια δείχνει να έχει 'επινοηθεί' από τον άνθρωπο για να κατανοήσει και να αντιμετωπίσει τους κινδύνους και τις αβεβαιότητες τις ζωής. Παρόλο που οι κίνδυνοι είναι πραγματικοί δεν υφίστανται έννοιες όπως 'πραγματικό ρίσκο' ή 'αντικειμενικό ρίσκο'.

2.2 Κατηγορίες του ρίσκου

Παρόλο που η έννοια του ρίσκου δεν είναι ένα πρόβλημα που θα λυθεί γρήγορα, κατά κάποιο τρόπο φαίνεται ότι απορρέει ένα μεγάλο πλεονέκτημα από το γεγονός ότι δεν υπάρχει επακριβής ορισμός του. Και αυτό γιατί τουλάχιστον επιτρέπεται η ευελιξία στο χειρισμό για κάτι που είναι αδιαμφισβήτητα ένα πολύπλοκο θέμα.

Στην προσπάθεια να κατανοήσουμε το ρίσκο αρχικά θα το διαχωρίσουμε σε 2 βασικές κατηγορίες. Όταν θεωρούμε το ρίσκο με βάση τον άνθρωπο, συχνά γίνεται ο διαχωρισμός μεταξύ του ρίσκου σε ατομικό επίπεδο (ατομικό ρίσκο) και του ρίσκου σε ομάδα ατόμων (κοινωνικό ρίσκο).

2.2.1 Ατομικό Ρίσκο (*Individual Risk*)

Το ατομικό ρίσκο κατά CCPS (1989)¹⁰, ορίζεται ως:

‘ Το ρίσκο που αντιμετωπίζει ένα άτομο όταν βρεθεί αντιμέτωπο με έναν κίνδυνο. Αυτό συμπεριλαμβάνει τη φύση του τραυματισμού που είναι δυνατόν να υποστεί, την πιθανότητα να τραυματιστεί και την χρονική διάρκεια κατά την οποία το άτομο είναι εκτεθειμένο στον κίνδυνο. ’

Πρακτικά το ατομικό ρίσκο εκφράζει τη συχνότητα τραυματισμού ενώ ένα άτομο βρίσκεται εκτεθειμένο σε κάποιο κίνδυνο, γι αυτό και συνήθως στις εφαρμογές εμφανίζεται με μονάδες (τραυματισμοί/ μονάδα χρόνου).

Ποσοτικά το ατομικό ρίσκο μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις παρακάτω σχέσεις:

¹⁰ αντλήσαμε τον ορισμό από το άρθρο του Dennis C. Henderhot, *A Simple Problem to Explain and Clarify the Principles of Risk Calculation*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

$$IR = \sum_i^n IR_{i,j}$$

$$\text{με } IR_{i,j} = f_i \cdot P_{ij}$$

όπου:

IR είναι το συνολικό ατομικό ρίσκο

IR_{i,j} είναι το ρίσκο για ένα άτομο να υποστεί τραυματισμό τύπου *j* ως αποτέλεσμα του γεγονότος *i*

n ο συνολικός αριθμός των γεγονότων *i*

f_i η συχνότητα του γεγονότος *i*

και *P_{ij}* η πιθανότητα το γεγονός *i* να οδηγήσει σε τραυματισμό τύπου *j*

Είναι ενδιαφέρον να εξετάσουμε την περίπτωση που όντως έχουμε ατύχημα, τότε

$$f_i = 1 \text{ και συνεπώς } IR_{i,j} = P_{i,j}$$

δηλαδή για ένα συγκεκριμένο γεγονός (ατύχημα) και συγκεκριμένο τύπο τραυματισμού έχουμε το ατομικό ρίσκο να ισούται με την πιθανότητα να έχουμε τον τραυματισμό.

2.2.2 Κοινωνικό Ρίσκο

*‘Κοινωνικό ρίσκο είναι η σχέση μεταξύ συχνότητας και αριθμού ατόμων που είναι δυνατόν να υποστούν ένα συγκεκριμένο είδος τραυματισμού σε δεδομένο πληθυσμό από την πραγματοποίηση ενός συγκεκριμένου κίνδυνου.’*¹¹

Ως όρος το *Κοινωνικό Ρίσκο* προέκυψε από την ανάγκη, να αποτυπωθεί ο τρόπος με τον οποίο οι διάφοροι κίνδυνοι επηρεάζουν μεγαλύτερες ομάδες του πληθυσμού, που βρίσκονται σε συγκεκριμένο τόπο, σε κάποια χρονική στιγμή και όχι πλέον μεμονωμένα άτομα.

Δευτερογενώς χρησιμοποιείται και ως αντικατοπτρισμός της αποστροφής της κοινωνίας, προς ατυχήματα που έχουν συνέπειες σε μεγάλους πληθυσμούς. Για να το θέσουμε απλά, σε χρονική διάρκεια ενός έτους, 100 ατυχήματα με 1 νεκρό το κάθε ένα δε θα γίνονταν ποτέ θέμα στις ειδήσεις, ενώ 1 ατύχημα με 100 νεκρούς μπορεί να έχει σοβαρότατες πολιτικές και οικονομικές συνέπειες. Όσο και αν αυτό φαίνεται κάπως σκληρό, είναι ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν οι κοινωνίες και εξηγεί και το ενδιαφέρον για μέτρηση των ρίσκων που επηρεάζουν άμεσα ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων. Από τα παραπάνω καθίσταται φανερό, ότι το κοινωνικό ρίσκο βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή στις μεταφορές (είτε πρόκειται για οδικές, είτε για θαλάσσιες, είτε για αερομεταφορές), καθώς σε περίπτωση ατυχήματος το σύνολο των επιβαινόντων εκτίθεται σε κίνδυνο.

¹¹ IChemE, 1992

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

2.2.2.1 Καμπύλες $F-N$

Για την ποσοτικοποίηση του κοινωνικού ρίσκου το κύριο εργαλείο που χρησιμοποιούμε είναι οι καμπύλες $F-N$ (*Frequency- Number curves*). Αυτές αποτελούν μια απεικόνιση της συχνότητας του να έχουμε N ή παραπάνω τραυματισμούς ανά ατύχημα και μέσα σε ένα συγκεκριμένο διάστημα. Σημειώνουμε εδώ ότι στην εφαρμογή τους οι καμπύλες $F-N$ απεικονίζουν συχνότητα θανάτων και όχι απλά τραυματισμών, οπότε στο εξής θα θεωρείται δεδομένο ότι η συχνότητα F αφορά μόνο θανάτους.

Για τη δημιουργία μιας καμπύλης $F-N$, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

- Αρχικά προσδιορίζουμε τον αριθμό των νεκρών που προκύπτουν από ένα Ατύχημα, είτε αναλύοντας τα στατιστικά στοιχεία και καταγράφοντας των αριθμό των νεκρών ανά ατύχημα είτε αν δεν υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία ως,

$$N_i = P_i \cdot P_{di} \cdot \Pi \longrightarrow N_i = IR_i \cdot \Pi$$

όπου,

N_i ο αριθμός των νεκρών από το ατύχημα i

IR_i το ατομικό ρίσκο ως αποτέλεσμα του γεγονότος i

P_i η πιθανότητα του να συμβεί το ατύχημα i

P_{di} η πιθανότητα το γεγονός i να οδηγήσει σε τουλάχιστον 1 θάνατο

και Π ο συνολικός αριθμός των ατόμων που εκτίθενται σε ρίσκο

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε την αθροιστική συχνότητα όλων των ατυχημάτων που έδωσαν N ή περισσότερους νεκρούς, με N ακέραιο ο οποίος κυμαίνεται από 1 έως τον μέγιστο αριθμό νεκρών που μπορεί να έχουμε ως αποτέλεσμα του ατυχήματος

$$F_N = \sum_i F_i$$

για όλα τα ατυχήματα που έδωσαν $N_i > N$

- Τέλος με βάση τα παραπάνω στοιχεία σχηματίζουμε την καμπύλη $F-N$

Να σημειωθεί, ότι αυτός ο τρόπος κατασκευής καμπυλών $F-N$ είναι θεωρητικός και αφορά κυρίως στην κατασκευή ενός μοντέλου για την πρόβλεψη καταστάσεων. Στην πράξη, συνήθως έχουμε επαρκή στατιστικά στοιχεία ώστε να μην χρειάζεται να υπολογίζουμε τον αριθμό θανάτων όπως παραπάνω, αλλά να τους λαμβάνουμε από πραγματικά ατυχήματα. Παρομοίως, η συχνότητα F_i δεν είναι ένα μέγεθος που υπολογίζουμε θεωρητικά αλλά η πραγματική συχνότητα καταγραφής ατυχημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

Πρέπει να υπογραμμίσουμε ακόμα ότι, η περιγραφή που κάναμε αφορά σε μια ουδέτερη προσέγγιση ως προς το ρίσκο, δηλαδή η καμπύλη $F-N$ απλώς καταγράφει την αναμενόμενη σχέση μεταξύ συχνότητας και αριθμού θανάτων. Άλλες προσεγγίσεις ακολουθούν μια πιο υποκειμενική οπτική, μοντελοποιώντας το πρόβλημα έτσι ώστε όσο πλησιάζουμε προς μεγαλύτερο αριθμό θανάτων η συχνότητα να μειώνεται εκθετικά.

Αυτό σχετίζεται κυρίως με τα Κριτήρια Αποτίμησης Ρίσκου (*Risk Evaluation Criteria*), που εφαρμόζουμε και γι' αυτό θα επανέλθουμε στο θέμα με μεγαλύτερη λεπτομέρεια όταν μιλήσουμε γι' αυτά.

2.2.2.2 Άλλα μεγέθη μέτρησης του κοινωνικού ρίσκου

Παρά την αδιαφιλονίκητη σπουδαιότητα των καμπυλών $F-N$, πολλές φορές στην επικοινωνία με το κοινό κρίνεται αναγκαίο να αποτυπώσουμε τα αποτελέσματα τους με τη μορφή ενός μόνο αριθμού, διευκολύνοντας έτσι την αξιολόγηση του ρίσκου και τη σύγκριση του με ρίσκα που προκύπτουν από άλλες δραστηριότητες.

Το σημαντικότερο και ευρύτερα διαδεδομένο μέγεθος που εξυπηρετεί αυτή την ανάγκη, είναι η *πιθανότητα απώλειας ζωής*, στην οποία θα αναφερόμαστε στο εξής με το αγγλικό της ακρωνύμιο, *PLL (Potential Loss of Life)*¹². Το *PLL* ορίζεται γενικά ως,

‘ο αναμενόμενος αριθμός θανάτων από μια δραστηριότητα σε διάστημα ενός χρόνου’

και προκύπτει από τη σχέση,

$$PLL = \int x \cdot f_N(x) dx$$

όπου,

x ο αριθμός των νεκρών

$f_N(x)$ η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της καμπύλης $F-N$

Πέρα απ' αυτό τον ορισμό, το *PLL* θα το δούμε να αποκτά και άλλες μορφές (πχ. ως κριτήριο αποτίμησης του κοινωνικού ρίσκου μιας δραστηριότητας, ανάλογα με την οικονομική της σημασία). Ωστόσο στην παρούσα φάση θα μείνουμε σε αυτόν θεωρώντας ότι αρκεί για μια πρώτη κατανόηση του μεγέθους.

¹² το συναντήσαμε και ως ‘average Rate Of Death, *ROD*’, Dennis C. Hendershot, *A Simple Problem to Explain and Clarify the Principles of Risk Calculation*. Διατηρούμε ωστόσο τον όρο *PLL*, ως τον πλέον καθιερωμένο στη βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

Άλλα μεγέθη που θα συναντήσουμε είναι το συγκεντρωτικό ρίσκο¹³, που επικεντρώνει το ενδιαφέρον σε μια αυστηρά εντοπισμένη ομάδα του πληθυσμού και ο δείκτης ισοδύναμου κοινωνικού κόστους⁴ που επικεντρώνει στην αποστροφή της κοινωνίας προς γεγονότα που θέτουν σε κίνδυνο μεγάλο αριθμό ανθρώπων.

Μέχρι στιγμής πραγματοποιήσαμε μια συνοπτική παρουσίαση των βασικών εννοιών που εμπλέκονται σε μια ανάλυση ρίσκου. Στόχος σε αυτό το σημείο δεν ήταν να ορίσουμε τα μεγέθη αυτά με τη μεγαλύτερη λεπτομέρεια, ούτε να δώσουμε τα ακριβή μαθηματικά μοντέλα που τα αποτυπώνουν ποσοτικά, αλλά κυρίως να πραγματοποιηθεί μια πρώτη «γνωριμία» του αναγνώστη με τα βασικά εργαλεία και τη στοχοθεσία της ανάλυσης ρίσκου. Στα μεγέθη αυτά θα επανέλθουμε στα επόμενα Κεφάλαια, όπου θα έχουμε την ευκαιρία να δούμε, τόσο εναλλακτικούς ορισμούς τους, όσο και διάφορες μεθόδους για την ποσοτικοποίησή τους.

2.2.2.3 Μια ευρύτερη οπτική του Κοινωνικού Ρίσκου

Ιστορικά η μελέτη του κοινωνικού ρίσκου φαίνεται να σχετίζεται έντονα με την έννοια του ατυχήματος. Αυτό είναι κατανοητό υπό το πρίσμα ότι κάθε ατύχημα εξ ορισμού έχει υψηλό βαθμό εντοπισιμότητας συνεπειών σε πολύ συγκεκριμένα κομμάτια του πληθυσμού. Μια πιο προσεκτική ματιά ωστόσο αποκαλύπτει ότι το κοινωνικό ρίσκο μπορεί να είναι ένα πολύ πιο σύνθετο ζήτημα περιλαμβάνοντας το κόστος μιας δραστηριότητας στο περιβάλλον, την οικονομία ακόμα και σε επίπεδο πολιτικής στρατηγικής. Για να το αναλύσουμε καλύτερα θα χωρίσουμε το κοινωνικό ρίσκο σε 4 κατηγορίες

- **Συλλογικό ρίσκο**

Εδώ συμπεριλαμβάνονται τα ρίσκα που αντιμετωπίζει μια μεγάλη ομάδα του πληθυσμού εξ αιτίας της έκθεσής της σε κάποιον κίνδυνο (για παράδειγμα μια επικίνδυνη ουσία), ο οποίος βρίσκεται σταθερά παρών ως αποτέλεσμα κάποιας δραστηριότητας και δεν είναι προϊόν συγκυριών ή ενός ασυνήθιστου γεγονότος (πχ. ατύχημα). Ως παράδειγμα μπορούμε να δώσουμε το ρίσκο μιας ευπαθούς κοινωνικής ομάδας (μικρά παιδιά, έγκυες μητέρες κτλ.) του να μένει στην πόλη λόγω της μόλυνσης του περιβάλλοντος.

Από ποσοτικής αντίληψης του συλλογικού ρίσκου μπορεί να εκφραστεί ως :

$$\text{Ατομικό ρίσκο} \times \text{αριθμός εκτιθέμενων ανθρώπων}$$

¹³ μτφρ. των αγγλικών όρων 'aggregate risk' και 'Equivalent Social Cost Index, ESC', αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

Όπου ουσιαστικά ταυτίζεται με τον δείκτη *PLL (Potential Loss of Life)*

- **Απλό ρίσκο**

Κατά δεύτερον έχουμε το ρίσκο που απορρέει από συγκεκριμένα γεγονότα (ατυχήματα), τα οποία μπορεί ως κατάληξη να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις σε ομάδες του πληθυσμού με κυρίαρχο θέμα την ανθρώπινη ζωή και ασφάλεια. **Αυτή την κατηγορία ρίσκου συναντούμε συνήθως με τον γενικό όρο Κοινωνικό Ρίσκο και γραφική απεικόνιση του αποτελούν οι καμπύλες FN.**

Η υιοθέτηση των θανάτων για την αναλυτική μέτρηση των συνεπειών μας δίνει μια αξιόπιστη βάση για την αποτίμηση του κοινωνικού ρίσκου. Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα για απλοποιημένους μαθηματικούς τύπους και κατά συνέπεια υπολογισμών σε ποσοτική ανάλυση του ρίσκου. Επεκτείνοντας τον συλλογισμό διάφορα μοντέλα ποσοτικοποίησης των συνεπειών όπως δέντρα σφαλμάτων (*fault trees*) και δέντρα γεγονότων (*event trees*) παράγουν αποτελέσματα τα οποία μπορούν να εκφραστούν στη μορφή των *F-N* καμπυλών.

Βέβαια σε καμία περίπτωση δεν έπεται ότι άλλες συνέπειες όπως, οικονομική απώλεια ή ζημιά προς το περιβάλλον, δεν είναι σχετικές και αγνοούνται. Ωστόσο η χρήση του αριθμού θανάτων μας δίνει μια απλουστευμένη μέθοδο για την αξιολόγηση του ρίσκου για την συγκεκριμένη εφαρμογή / εγκατάσταση.

Πρέπει ωστόσο να επιστήσουμε την προσοχή στο γεγονός ότι, αυτή η δισδιάστατη απεικόνιση του ρίσκου δε μας δίνει την δυνατότητα ευρύτερης σύγκρισης με άλλους τομείς. Για παράδειγμα αν υποθέσουμε ότι η καμπύλη κοινωνικού ρίσκου στα ελληνικά ΕΓ/ΟΓ έχει 100 φορές υψηλότερη συχνότητα πραγματοποίησης θανατηφόρου ατυχήματος σε σχέση με μια συγκεκριμένη πυρηνική εγκατάσταση, αυτό δεν έχει σχέση με τη σχετική αποδοχή του ρίσκου.

- **Πολλαπλό ρίσκο**

Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα ατυχήματα στα οποία εμπεριέχονται όλες οι πιθανές συνέπειες, καθώς η ανάλυση συνεπειών σε επίπεδο θανάτων κρίνεται ανεπαρκής. Έτσι οι συνολικές συνέπειες συνυπολογίζουν και τις δεύτερης τάξεως επιπτώσεις του ατυχήματος, δηλαδή της συνέπειες των συνεπειών, καθώς και τις πιθανότητες αυτών.

Για παράδειγμα θεωρώντας ένα ατύχημα πλοίου που μεταφέρει παράγωγα πετρελαίου, παρατηρούμε ότι προφανώς η συνολική επίπτωση των συνεπειών δεν εξαρτάται μόνο από τις απώλειες ανθρώπινης ζωής αλλά και από τη ζημιά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

που υπέστη το περιβάλλον. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι είναι δυνατή η παραγωγή καμπυλών $F-N$ μόνο που πλέον ο οριζόντιος άξονας δεν εκφράζει μονοσήμαντα τους θανάτους, αλλά γενικά απώλειες.¹⁴

Επειδή όμως είναι ευκολότερο να ορίσει κανείς κριτήρια αποδοχής για κάθε τύπο ανεπιθύμητης συνέπειας ξεχωριστά, συνιστάται ο οριζόντιος άξονας να εκφράζει από μία συγκεκριμένη συνέπεια τη φορά. Αυτή η πρακτική θα μας οδηγήσει σε πολλαπλές καμπύλες $F-N$ κάθε μία από τις οποίες θα απεικονίζει την αθροιστική συχνότητα του να έχουμε μια και μόνο συγκεκριμένη δυσμενή επίπτωση.

- **κοινωνικός προβληματισμός**

Τέλος, με τον γενικό όρο *κοινωνικός προβληματισμός*, θα αναφερθούμε στην κατηγορία εκείνη του ρίσκου που ασχολείται με τα συνολικά και μακροχρόνια αποτελέσματα που έχει η εφαρμογή συγκεκριμένων τεχνολογιών, ή ευρύτερα πολιτικών, στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Στη δημοσίευση του **Health and Safety Executive (HSE)**, *‘Reducing risks, protecting people’* ως κοινωνικός προβληματισμός αναφέρεται :

‘...τα ρίσκα από κινδύνους ή απειλές τα οποία έχουν επιδράσεις στην κοινωνία, και τα οποία εάν πραγματοποιηθούν μπορούν να έχουν δυσμενές αντίκτυπο στους οργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για τα προληπτικά μέτρα προστασίας των ατόμων, π.χ. το κοινοβούλιο. Αυτού του τύπου οι προβληματισμοί συχνά συσχετίζονται με κινδύνους που προκαλούν ρίσκα τα οποία όταν πραγματοποιηθούν μπορούν να προκαλέσουν κοινωνικό-πολιτικές αντιδράσεις...’

Τυπικό παράδειγμα τέτοιου προβληματισμού θα μπορούσε να είναι η συζήτηση για δημιουργία πυρηνικού αντιδραστήρα σε κάποια περιοχή.

Σε αυτό το επίπεδο η λήψη αποφάσεων με βάση κριτήρια που παράγονται από καμπύλες $F-N$ που βασίζονται σε ανθρώπινες απώλειες δεν έχει νόημα. Αναλύοντας το παράδειγμα του πυρηνικού αντιδραστήρα η πιθανότητα αστοχίας του πυρηνικού αντιδραστήρα, μπορεί μεν να έχει διασφαλιστεί ότι θα βρίσκεται σε πάρα πολύ μικρά επίπεδα, αλλά παράμετροι όπως η υποβάθμιση της περιοχής, δημιουργία πιθανών καρκινογόνων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα που πηγάζουν από τις ‘κανονικές’ δραστηριότητες της εγκατάστασης, αντιδράσεις των πολιτών στις γύρω περιοχές κτλ., αν και δεν είναι δυνατόν να παρασταθούν μέσα από καμπύλες $F-N$ έχουν ωστόσο ενεργό ρόλο στη λήψη αποφάσεων.

¹⁴ Τέτοια προσπάθεια έχει επιχειρηθεί από την Ελβετία για να ενσωματώσει καλύτερα τα κριτήρια αποδοχής ρίσκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

Η λήψη αποφάσεων σε αυτό το στρατηγικό επίπεδο πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν τις συνολικές πιθανές επιπτώσεις, και από ατυχήματα αλλά και από αυτές καθ' αυτές τις δραστηριότητες. Συμπεριλαμβάνοντας έτσι,

- ανθρώπινες απώλειες
- τραυματισμούς
- καταστροφή περιουσίας
- οικολογική καταστροφή
- οικονομική απώλεια
- ψυχολογικό-κοινωνικές βλάβες
- πολιτικές συνέπειες
- κόστος
- απόψεις όλων των κοινωνικών ομάδων που επηρεάζονται
- εξέταση πιθανών εναλλακτικών λύσεων (ρίσκα και οφέλη)
- εξοικείωση με τις δραστηριότητες αυτές
- φήμη

Όπως γίνεται η ανάλυση ρίσκου δεν είναι δυνατό να ποσοτικοποιήσει τις παραπάνω παραμέτρους, ενώ ακόμη και μια ποιοτική ανάλυση φαίνεται να είναι πολύ δύσκολη.

Στη πράξη βέλτιστες λύσεις λαμβάνονται συνυπολογίζοντας τους στόχους και τα οφέλη. Έτσι συνεχίζοντας το παράδειγμα με τον πυρηνικό αντιδραστήρα είναι ανάγκη να ληφθούν υπ' όψιν και οι ανάγκες του κράτους για εύρεση εναλλακτικών μορφών ενέργειας αλλά και τα οφέλη ή οι ζημιές που θα αποκομίσουν διάφορες κοινωνικές ομάδες, ακόμη και η δύναμη άσκησης πολιτικής της κυβέρνησης.

Πάντως δημοκρατικές αποφάσεις και κυρίως σε εθνικό επίπεδο πρέπει να λαμβάνουν υπ' όψιν τους ότι όλες οι διαφορετικές απόψεις έχουν συνυπολογιστεί και κυρίως ότι προασπίζονται τα ατομικά δικαιώματα. Άλλωστε οι βάσεις της δημοκρατίας βασίζονται στη 'λαϊκή θέληση', έτσι ώστε οι εξουσίες να μετατρέπονται σε υπηρεσίες.

➤ Περαιτέρω ανάλυση του 'απλού' (κοινωνικού) ρίσκου

Όπως αναφέρεται και παραπάνω η κατηγορία αυτή του ρίσκου είναι που κατά κύριο λόγο αποτυπώνεται με τις καμπύλες F-N. Η απεικόνιση των συνεπειών με τη μορφή ανθρώπινων απωλειών μας δίνει την δυνατότητα παραγωγής μαθηματικών εργαλείων για την μέτρηση των συνεπειών και μια αξιόπιστη βάση αποτίμησης του κοινωνικού ρίσκου.

Ωστόσο ο τρόπος με τον οποίο θα επιλέξουμε να μετρήσουμε τις ανθρώπινες απώλειες από κάποια δραστηριότητα (και πιο συγκεκριμένα τη συχνότητα τους), μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αποκλίσεις στα τελικά εξαγόμενα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Εισαγωγή στην έννοια του ρίσκου

Ο Πίνακας 10 δείχνει μερικούς διαφορετικούς τρόπους για την μέτρηση του μεγέθους « συχνότητα απώλειας ανθρώπινης ζωής » σε πλοία τύπου ΕΓ /ΟΓ.

<i>ΠΙΝΑΚΑΣ 10. ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΦΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΖΩΗΣ (FATALITY RISKS)</i>
Θάνατοι ανά έτος
Θάνατοι ανά μέγιστο αριθμό επιβατών
Θάνατοι ανά πλόες το χρόνο
Θάνατοι ανά το συνολικό στόλο (shipyears)
Θάνατοι ανά μιλιομετρικούς επιβάτες
Θάνατοι ανά συνολικά μετακινηθέντες επιβάτες
Θάνατοι ανά συγκεκριμένο ατύχημα
Μείωση προσδόκιμου ζωής
Θάνατοι ανά δραστηριότητα / ιδιότητα

Βέβαια η εκλογή του τρόπου μέτρησης αναμένεται να φέρει κάπως διαφορετικά αποτελέσματα στο τρόπο αντίληψης και αξιολόγησης του ρίσκου.

- ✓ Έτσι η μείωση της διάρκειας ζωής (reduction in life expectancy) αντιμετωπίζει την απώλεια ζωής ενός εφήβου ως πιο σημαντικό από την απώλεια ζωής ενός ηλικιωμένου.
- ✓ Απλώς υπολογίζοντας τους θανάτους κάθε απώλεια ζωής λαμβάνεται ισότιμα ανεξάρτητα απ' το αν πέθανε ακαριαία ή μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα αντιμετωπίζοντας καθημερινά το πόνο και το φόβο του θανάτου για αυτόν και τους συγγενείς του.
- ✓ Χρησιμοποιώντας τον 'αριθμό θανάτων' ανά δραστηριότητα διαχωρίζει τους ανθρώπους σε αυτούς που εκτίθενται στο κίνδυνο οικειοθελώς και έχουν κέρδος από την δραστηριότητα αυτή και σε όσους εκτίθενται στον κίνδυνο χωρίς να το έχουν θελήσει.

Είναι αρκετά απλό να παρουσιαστεί μία άποψη ή μέτρηση σχετικά με το ρίσκο. Η πρόκληση είναι αφενός να δημιουργηθεί ένα ικανό μοντέλο πρόβλεψης του ρίσκου και αφετέρου ένα κατά το δυνατόν αντικειμενικό σύστημα που θα κρίνει την αποδοχή του.

Κεφάλαιο 3. Εκτίμηση ρίσκου- Ατομικό Ρίσκο

Στο Κεφάλαιο 2 υποστηρίξαμε ότι το ρίσκο γίνεται αντιληπτό με διαφορετικούς τρόπους από διαφορετικούς ανθρώπους, και χρησιμοποιήσαμε τον παραδοσιακό ορισμό του,

$$\text{Ρίσκο} = \text{Πιθανότητα γεγονότος } i \times \text{Συνέπειες γεγονότος } i$$

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει προσπάθεια ανάδειξης του στατιστικού χαρακτήρα του ρίσκου.

«Το ρίσκο ισοδυναμεί με τη διασπορά της κατανομής της πιθανότητας για όλες τις πιθανές συνέπειες που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη επικίνδυνη ροή γεγονότων»¹⁵

Ενώ τονίζεται, ότι ο παραπάνω ορισμός δεν αναιρεί αλλά συμπληρώνει τον παραδοσιακό.

Πριν οριστεί το ρίσκο, για να γίνει κατανοητή η παραπάνω διαφορά, ας θεωρηθεί η εξής απλή ερώτηση:

-Ποιο είναι το ρίσκο που εμπεριέχεται στο αν κάποιος πέσει από αεροπλάνο χωρίς αλεξίπτωτο;

Ένας μηχανικός θα μπορούσε να ισχυριστεί:

-Πολύ μεγάλο ρίσκο, καθώς ο θάνατος είναι σχεδόν βέβαιος

Ένας οικονομολόγος θα μπορούσε επίσης να ισχυριστεί:

-Καθόλου ρίσκο, καθώς ο θάνατος είναι σχεδόν βέβαιος

Όμως και οι δύο έχουν δίκιο καθώς ο πρώτος σχετίζει το ρίσκο με την πιθανή απώλεια, ενώ ο δεύτερος το σχετίζει με την αβεβαιότητα.

Έτσι έστω ότι:

- $P(E_i)$: η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί το ατυχηματικό γεγονός i
- Δεδομένου ότι το ατυχηματικό γεγονός i έχει πραγματοποιηθεί, οι συνέπειες C_j είναι αβέβαιες και περιγράφονται από την δεσμευμένη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

$$\pi(C_1, C_2, \dots / E_i)$$

Το ρίσκο από το ατυχηματικό γεγονός i ορίζεται :

¹⁵ Vleck& Stallen, 1981, Harms-Ringdahl, 2001, Βεντικός 2002

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Εκτίμηση ρίσκου- Ατομικό Ρίσκο

$$R_i = P(E_i) \times \pi(C_1, C_2, \dots / E_i)$$

Στην παραπάνω σχέση ενδεχομένως ξενίζει το γεγονός ότι δεν λαμβάνεται υπ' όψιν η έκταση των συνεπειών όπως θα γινόταν στον παραδοσιακό ορισμό του ρίσκου,

$$R = p_i \times C_i$$

Αντίθετα φαίνεται να περιέχεται μόνο η πιθανότητα των συνεπειών C_i .

Αυτό αντανakλά μια πολύ συνηθισμένη πρακτική στην *Ανάλυση Ρίσκου* στον τομέα της Ασφάλειας όπου για δεδομένες συνέπειες αρκεί ο προσδιορισμός της πιθανότητας εμφάνισης τους για να οριστεί το ρίσκο. Έτσι για το Ατομικό Ρίσκο συναντάμε συχνά μια έκφραση της μορφής,

$$IR = 10^{-3}$$

η οποία θεωρείται ισοδύναμη με την έκφραση

$$10^{-3} \text{ (πιθανότητα)} \times 1 \text{ θάνατος (συνέπειες)}$$

Στη πράξη είναι ευκολότερο να διαχωριστεί η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κάθε συνέπειας C_j . Έτσι :

$$R_i = P(E_i) \times [\pi_j(C_j / E_i)] = P(E_i) \times [\pi_1(C_1 / E_i) + \pi_2(C_2 / E_i) + \dots]$$

Και το ολικό ρίσκο από το άθροισμα όλων των επιμέρους ρίσκων του κάθε ατυχηματικού γεγονότος i και δίνεται από :

$$R = \sum_i R_i$$

Ήδη στο 1^ο κεφάλαιο, διαχωρίσαμε το ρίσκο σε 5 κατηγορίες :

- ✓ ατομικό ρίσκο
- ✓ συλλογικό ρίσκο
- ✓ 'απλό' κοινωνικό ρίσκο
- ✓ 'πολλαπλό' κοινωνικό ρίσκο
- ✓ κοινωνικός προβληματισμός

Ενώ θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι, επειδή η κατηγορία 'κοινωνικός προβληματισμός' είναι ευρύτερη ως έννοια, κατά συνέπεια οι υπόλοιπες κατηγορίες είναι υποσύνολα του ρίσκου ως κοινωνικός προβληματισμός. Ο διαχωρισμός αυτός όμως, είναι απαραίτητος αφού ο κοινωνικός προβληματισμός εμπεριέχει παραμέτρους, όπως για παράδειγμα, έλλειψη εμπιστοσύνης στην κυβέρνηση, όπου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Εκτίμηση ρίσκου- Ατομικό Ρίσκο

δύσκολα μπορούν να υπολογιστούν σε μια ανάλυση ρίσκου και αφήνονται σε αυτούς που τελικά παίρνουν τις αποφάσεις.

Αφετέρου σε μια μελέτη ανάλυσης και εκτίμησης ρίσκου είναι σωστό να έχουν υπολογιστεί όλες οι παράμετροι και από κάθε σκοπιά αφού κάθε κατηγορία επικεντρώνεται σε διαφορετικές εκφάνσεις του ρίσκου.

Έτσι ενώ το ατομικό ρίσκο είναι υποσύνολο του κοινωνικού ρίσκου είναι δυνατό το κοινωνικό ρίσκο να βρίσκεται σε αποδεκτά επίπεδα, ενώ το ατομικό πάνω από αυτά.

3.1 Γενικά για το Ατομικό Ρίσκο

Πολύ συχνά το ατομικό ρίσκο αναφέρεται σε σύνολο ατόμων τα οποία εκτίθενται σε επιπλέον ρίσκο. Δηλαδή ρίσκο που σχετίζεται με επαγγελματικούς κινδύνους, με συγκεκριμένες δραστηριότητες κτλ.

Όταν εξετάζουμε το ατομικό ρίσκο είναι χρήσιμο να επικεντρωνόμαστε σε φανταστικό πρόσωπο το οποίο εκτίθεται σε κινδύνους από μια δεδομένη δραστηριότητα.

Το ατομικό ρίσκο μπορεί να εκφράζει θάνατο, τραυματισμό ή ασθένεια. Το επίπεδο του ρίσκου περιγράφεται από την πιθανότητα έκβασης τέτοιων περιστατικών ανά κάποια κατάλληλη μονάδα μέτρησης. Έτσι αν εκφράσουμε ότι¹⁶:

- ✓ 1 θάνατος ισοδυναμεί με 10 σοβαρούς τραυματισμούς
- ✓ 1 σοβαρός τραυματισμός ισοδυναμεί με 10 ελαφρύς τραυματισμούς

έχουμε (με τον πίνακα να επικεντρώνεται στον κλάδο των μεταφορών):

ΠΙΝΑΚΑΣ 11. ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΦΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΖΩΗΣ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ (FATALITY RISKS)
Θάνατοι ανά μέγεθος πληθυσμού σε ένα έτος
Θάνατοι ανά μέγιστο αριθμό επιβατών
Θάνατοι ανά πλόες το χρόνο
Θάνατοι ανά το συνολικό στόλο (shipyears)
Θάνατοι ανά μιλιομετρικούς επιβάτες
Θάνατοι ανά συνολικά μετακινηθέντες επιβάτες
Θάνατοι ανά συγκεκριμένο ατύχημα
Μείωση προσδοκώμενης ζωής
Θάνατοι ανά δραστηριότητα / ιδιότητα
Θάνατοι ανά ώρα έκθεσης

¹⁶ πχ. κατά την πρακτική του IMO (MSC 81/18, February 2006)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Εκτίμηση ρίσκου- Ατομικό Ρίσκο

Οι παραπάνω τρόποι διαφορετικής έκφρασης του ατομικού ρίσκου εξυπηρετούν δύο σκοπούς :

- ✓ σύγκριση με άλλες δραστηριότητες (βιομηχανίες, μεταφορές, φυσικοί κίνδυνοι κτλ.)
- ✓ προσαρμογή στα διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία

Τέλος πρέπει να τονίσουμε ότι η σύγκριση ρίσκου διαφορετικών δραστηριοτήτων πρέπει να λαμβάνεται πρώτιστα με γνώμονα το ατομικό ρίσκο και με προσοχή ότι σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται οι ίδιες μονάδες μέτρησης. Ωστόσο ακόμα και στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε κοινές μονάδες για σύγκριση μεταξύ διαφορετικών βιομηχανιών, πρέπει να είμαστε προσεκτικοί ως προς την επιρροή που έχει η επιλογή των μονάδων στη σύγκριση.

Για παράδειγμα η σύγκριση του ατομικού ρίσκου επιβάτη μεταξύ αεροπορικών και θαλάσσιων μεταφορών, θα οδηγήσει σε υπερεκτίμηση του ατομικού ρίσκου στο τομέα των αερομεταφορών εάν η μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιήσουμε είναι «ανά μιλιομετρικούς επιβάτες», δεδομένου ότι τα μίλια που διανύει ένα αεροπλάνο δεν είναι τις ίδιες τάξης μεγέθους με ένα ΕΓ/ΟΓ. Σε αντίθετη περίπτωση εάν εκφράσουμε το ατομικό ρίσκο στη μορφή (επιβάτες έκθεσης) τα αποτελέσματα θα υποεκτιμούν το ατομικό ρίσκο στο τομέα των αερομεταφορών σε σχέση πάντα με τις θαλάσσιες μεταφορές.

3.2 Προσεγγίσεις στο Ατομικό Ρίσκο

3.2.1 Το ρίσκο ως ιδιότητα του επιπέδου

Προσδιορίζοντας την ακριβή θέση (x,y) ενός ατόμου σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων XY . Ουσιαστικά χωρίζουμε το ατομικό ρίσκο σε περιοχές.

Μονάδες : 1/έτος δηλαδή ετήσια συχνότητα θανατηφόρων περιστατικών.

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n IR_{x,y,i}$$

όπου,

$$IR_{x,y,i} = P_f \cdot P_{df}$$

και:

$IR_{x,y}$ είναι το συνολικό ατομικό ρίσκο της περιοχής XY (πιθανότητα θανάτου ανά έτος)

$IR_{x,y,i}$ είναι το ατομικό ρίσκο θανάτου στην περιοχή XY από την έκβαση του ατυχηματικού γεγονότος i (πιθανότητα θανάτου ανά έτος)

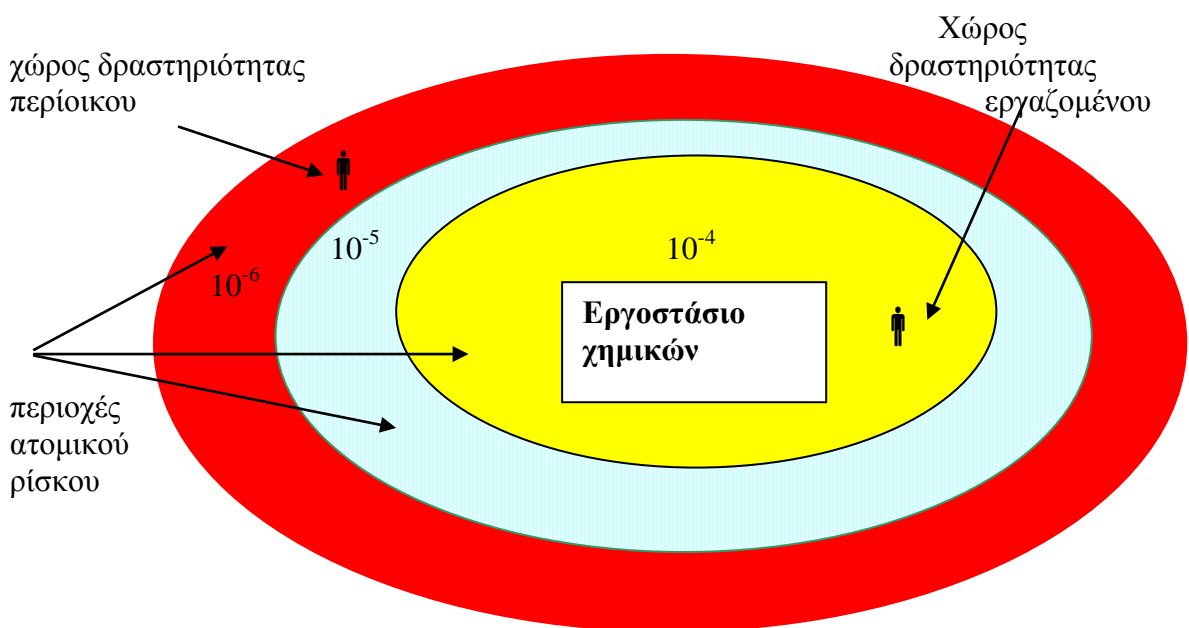
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Εκτίμηση ρίσκου- Ατομικό Ρίσκο

n ο συνολικός αριθμός των ατυχηματικών γεγονότων i

P_f η συχνότητα του ατυχηματικού γεγονότος i (ανά έτος)

P_{dif} η πιθανότητα το ατυχηματικό γεγονός i να οδηγήσει σε θάνατο στη περιοχή XY

Με την τοπογραφική τοποθέτηση του ατόμου μας δίνεται το πλεονέκτημα κατανομής του ατομικού ρίσκου σε περιοχές επίδρασης του ατυχήματος.



Σχήμα 6. Χαρακτηριστικές περιοχές ατομικού ρίσκου γύρω από επικίνδυνη εγκατάσταση

Κάθε έκβαση ατυχήματος προσδιορίζεται από τη δική του ζώνη επίδρασης.

3.2.2 Το ρίσκο ως συνάρτηση του τρόπου εμπλοκής του ατόμου με τη δραστηριότητα

Το ατομικό ρίσκο του ατόμου αντιμετωπίζεται, ως υποκειμενικό μέγεθος που εξαρτάται από το βαθμό της εθελοντικής ή μη παρουσίας του ατόμου στο χώρο ή τη δραστηριότητα που αποτελεί την πηγή του ρίσκου. Έτσι το ίδιο «απόλυτο» ρίσκο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Εκτίμηση ρίσκου- Ατομικό Ρίσκο

μετασχηματίζεται ώστε να παίρνει διαφορετική τιμή ανάλογα με τον τρόπο εμπλοκής του ατόμου με τη δραστηριότητα.

Μονάδες : 1/έτος δηλαδή ετήσια συχνότητα θανατηφόρων περιστατικών

$$IR_i = \beta_j \cdot P_f \cdot P_{df} \quad ^{17}$$

P_f = η πιθανότητα να συμβεί το ατυχηματικό γεγονός i

P_{df} = η πιθανότητα ανθρώπινης απώλειας σε περίπτωση πραγματοποίησης του ατυχηματικού γεγονότος i

β_i = δείκτης που προσδιορίζει το βαθμό εθελοντισμού στη δραστηριότητα αλλά και τα πιθανά οφέλη που αποκομίζει το άτομο με $0,01 \leq \beta_i \leq 100$

Ουσιαστικά δηλαδή το β_i εμπεριέχει το πώς αποδέχεται το άτομο που εκτίθεται σε κίνδυνο, το ρίσκο αυτό, και πως ο ίδιος το αξιολογεί.

Αυτό δεν είναι παράξενο καθώς το σημαντικό ερώτημα είναι **πώς το άτομο εκτέθηκε στον κίνδυνο**, πώς τον επηρεάζει εκείνον, την οικογένεια του και γενικά τα πράγματα που αξιολογεί ο ίδιος πολύτιμα.

Έτσι κάποιος μπορεί να αποδέχεται εθελοντικά το κίνδυνο σε κάποιες δραστηριότητες και παράλληλα να είναι λιγότερο ανεκτικός σε δραστηριότητες με μικρότερο ρίσκο, στις οποίες όμως δεν συμμετέχει με τη θέληση του ή από τις οποίες δεν αναμένει κάποιο όφελος.¹⁸

Βέβαια στατιστικές δείχνουν ότι τα επίπεδα ατομικού ρίσκου που συνδέονται με διάφορες δραστηριότητες δείχνουν μια σταθερότητα στο χρόνο για τις δυτικές κοινωνίες.¹⁹ Συνεπώς η πιθανότητα απώλειας ζωής από οδήγηση αυτοκινήτου παρουσιάζεται 100 φορές μεγαλύτερη από μια δραστηριότητα καθαρά εθελοντική, όπως ορειβασία.

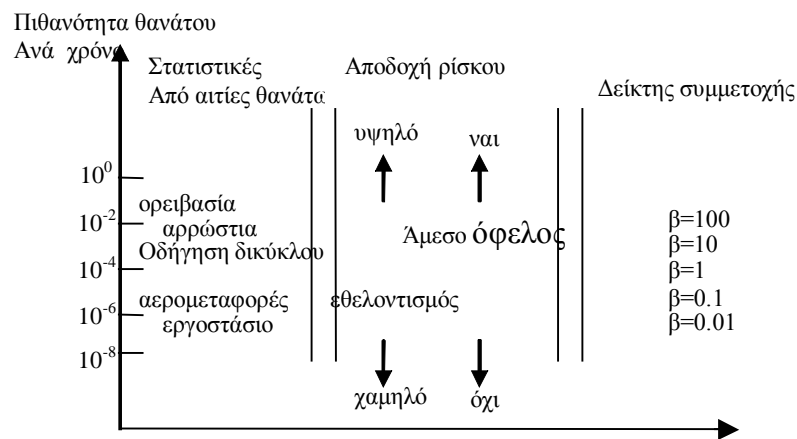
Αυτή η παρατήρηση δείχνει ότι η κοινωνική ανοχή είναι 1000 φορές μεγαλύτερη σε ρίσκο από εθελοντική και μη εθελοντική δραστηριότητα με το ίδιο όφελος είχε επισημανθεί και από τον Starr το 1969.

¹⁷ Kontovas Christos, 'Formal Safety Assessment, Critical Review and Future Role', Diploma Thesis

¹⁸ HSE, 'Reducing risks, protecting people'

¹⁹ J.K. Vrijling et al. 'A Framework for Risk Criteria for Critical Infrastructures, Fundamentals and Case Studies in the Netherlands'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Εκτίμηση ρίσκου- Ατομικό Ρίσκο



Σχήμα 7. Ατομικό ρίσκο στις δυτικές κοινωνίες, από στατιστικές αιτίες θανάτου και αριθμό συμμετοχής ανά δραστηριότητα.

Η πρόταση για την τιμή του δείκτη ασφαλείας β_i ως συνάρτηση του εθελοντισμού και του οφέλους δίνεται στον παρακάτω πίνακα :

ΠΙΝΑΚΑΣ 12. Δείκτης ασφαλείας β_i			
β_i	εθελοντισμός	Άμεσο όφελος	Παράδειγμα
100	Απόλυτα εθελοντικά	Άμεσο όφελος	ορειβασία
10	εθελοντικά	Άμεσο όφελος	Οδήγηση μηχανής
1.0	ουδέτερο	Άμεσο όφελος	Οδήγηση αυτοκινήτου
0.1	Μη εθελοντικά	μερικό όφελος	εργοστάσιο
0.01	Μη εθελοντικά	Καθόλου όφελος	Σταθμός-LPG

Βέβαια πολύ συχνά το ατομικό ρίσκο περιορίζεται στην πιθανότητα απώλειας ζωής.

Συνεπώς :

$$IR_i = P_f \cdot P_{d|f}$$

P_f = η πιθανότητα να συμβεί το ατυχηματικό γεγονός i

$P_{d|f}$ = η πιθανότητα ανθρώπινης απώλειας σε περίπτωση πραγματοποίησης του ατυχηματικού γεγονότος i .

Όπου αφήνεται ο δείκτης ασφαλείας να συμπεριληφθεί στα κριτήρια αποδοχής του ρίσκου. Η χρήση του δείκτη δίνει την δυνατότητα διαχωρισμού ομάδων που εκτίθενται σε κίνδυνο. Για παράδειγμα, έστω ο πιλότος, ο επιβάτης του αεροπλάνου και οι κάτοικοι που ζουν κάτω από την διαδρομή του αεροπλάνου. Είτε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι έχουν ένα ατομικό ρίσκο θανάτου χωρίς να τους διαχωρίζουμε στην ανάλυση ρίσκου αλλά στα κριτήρια αποδοχής ή λαμβάνοντας στην ανάλυση ρίσκου την διαφορετική οπτική αποδοχής ρίσκου της κάθε εκτιθέμενης ομάδας.

3.2.3 Ένας εναλλακτικός τρόπος μέτρησης του ατομικού ρίσκου με εφαρμογή ως κριτήριο αποδοχής - Δείκτης ασφάλειας (S) (safety index)

Ο δείκτης ασφάλειας παρέχει ένα λειτουργικό εργαλείο για τον υπολογισμό του ατομικού ρίσκου. Είναι αδιάστατος, δηλαδή εκφράζεται με μια αριθμητική τιμή η οποία όμως εμπεριέχει κριτήρια αποδοχής ρίσκου. Αρχικά υιοθετήθηκε από τις ιατρικές επιστήμες και από τις ασφαλιστικές εταιρίες.²⁰ Μπορεί όμως να εφαρμοστεί και σε περιοχές γύρω από επικίνδυνες εγκαταστάσεις καθώς και στη μεταφορά επικίνδυνων υλικών.

Όπως φαίνεται παραπάνω παραδοσιακά το ατομικό ρίσκο υπολογίζεται σε δύο διαστάσεις, διαχωρίζοντάς το, σε περιοχές ρίσκου, αφού το ατομικό ρίσκο ορίζεται ως η πιθανότητα απώλειας ζωής του ατόμου που βρίσκεται σε συγκεκριμένη περιοχή γύρω από μια δραστηριότητα, εξ αιτίας της οποίας υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος ή γενικότερα ανεπιθύμητων συνεπειών.

Ο δείκτης ασφάλειας χρησιμοποιείται σε λογαριθμική κλίμακα. Υπενθυμίζουμε τη σχέση για το Ατομικό Ρίσκο,

$$IR_i = P_f \cdot P_{d/f}$$

με P_f και $P_{d/f}$ όπως ορίστηκαν προηγουμένως.

Οι *Vrijling & Vrouwenvelder* πρότειναν ως όριο αποδοχής, για την πιθανότητα να συμβεί ατυχηματικό γεγονός, P_f ,

$$P_f \leq \frac{\beta_i \cdot 10^{-4}}{P_{d/f}} \quad 21$$

όπου το 10^{-4} εκφράζει τη στατιστική πιθανότητα θανάτου νέου ανθρώπου ανά έτος

Προσοχή, το όριο σε αυτή του τη μορφή δεν αφορά στο μέγιστο αποδεκτό ρίσκο αλλά εναλλακτικά στη μέγιστη πιθανότητα να συμβεί το γεγονός- πηγή του ρίσκου.

Αξιοποιώντας τις δύο προηγούμενες σχέσεις,

$$\begin{aligned} IR_i = P_f \cdot P_{d/f} &\leq \beta_i \cdot 10^{-4} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{P_f \cdot P_{d/f}}{\beta_i \cdot 10^{-4}} \leq 1 \end{aligned}$$

²⁰ Boudier et. Al 1985

²¹ S.I. Suddle, 'A logarithmic approach for Individual Risk: the Safety Index', 2003

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Εκτίμηση ρίσκου- Ατομικό Ρίσκο

η παραπάνω σχέση είναι όντως αδιάστατη αλλά δεν εκφράζει τίποτα παραπάνω από το λόγο του ατομικού ρίσκου με το κριτήριο αποδοχής του ατομικού ρίσκου, ο οποίος σε αυτή τη μορφή δεν έχει χρησιμότητα.

Μετατρέποντας την σε αρνητική λογαριθμική κλίμακα έχουμε :

$$S = -\log\left(\frac{P_f \cdot P_{d|f}}{\beta_i \cdot 10^{-4}}\right)$$

Η επιλογή της βάσης του 10 στο λογάριθμο, έγινε με το σκεπτικό ότι μια αξιοσημείωτη μεταβολή στη βελτίωση αποδοχής του ρίσκου γίνεται ανά τάξη μεγέθους, δηλαδή με το πολλαπλασιαστικό παράγοντα 10.

Τελικά έχουμε για τον δείκτη ασφάλειας :

$$S = \log\left(\frac{\beta_i \cdot 10^{-4}}{P_f \cdot P_{d|f}}\right)$$

Όπου S = δείκτης ασφάλειας και εκφράζει το λόγο ασφάλεια / ατομικό ρίσκο

Ο δείκτης ασφαλείας (S) ως αδιάστατος αριθμός οριοθετεί τρεις περιοχές πεδίου τιμών :

- **(S) < 0**

ο λόγος $\frac{\text{όριο αποδοχής ατομικού ρίσκου}}{\text{ατομικό ρίσκο}} < 0$ δείχνει ότι ο βαθμός του ατομικού

ρίσκου είναι μεγαλύτερος από το επίπεδο αποδοχής ατομικού ρίσκου, συνεπώς πρέπει να ληφθούν περαιτέρω μέτρα. Αξιοσημείωτο είναι ότι όσο το ατομικό ρίσκο υπερβαίνει τη τιμή $\beta_i \cdot 10^{-4}$ τόσο μικρότερος γίνεται ο δείκτης S και συνεπώς μη ασφαλής η δραστηριότητα.

- **(S) > 0**

ο λόγος $\frac{\text{όριο αποδοχής ατομικού ρίσκου}}{\text{ατομικό ρίσκο}} > 0$ δείχνει ότι ο βαθμός του ατομικού

ρίσκου είναι μικρότερος από το επίπεδο αποδοχής ατομικού ρίσκου, συνεπώς δεν είναι απαραίτητο να ληφθούν περαιτέρω μέτρα, διότι το ρίσκο βρίσκεται σε αποδεκτά επίπεδα.

- **(S) = 0**

ο λόγος $\frac{\text{όριο αποδοχής ατομικού ρίσκου}}{\text{ατομικό ρίσκο}}$ δείχνει ότι ο βαθμός του ατομικού ρίσκου

είναι ίσος με το επίπεδο αποδοχής ατομικού ρίσκου.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω έχουμε την απαίτηση για το S:

$$S = \log\left(\frac{\beta_i \cdot 10^{-4}}{P_f \cdot P_{d|f}}\right) \geq 0$$

- ✓ $\lim_{IR \rightarrow 0} (S) = \infty$ δηλαδή όταν το ρίσκο είναι ανύπαρκτο η ασφάλεια τείνει στο άπειρο
- ✓ άθροιση διαφορετικών δεικτών δεν είναι επιτρεπτή. Είναι δυνατό όμως να υπολογίσουμε το $IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n IR_{x,y,i}$ και κατόπιν τον δείκτη S

Παράδειγμα

Με το παρακάτω παράδειγμα θα προσπαθήσουμε, αφενός να παρουσιάσουμε τον τρόπο υπολογισμού του Δείκτη Ασφαλείας σε πρακτικές εφαρμογές, αφετέρου να αναδείξουμε την αξία και το μέγεθος της επιρροής του βαθμού εθελοντισμού του ατόμου σε κάποια δραστηριότητα.

Ας θεωρήσουμε ένα χημικό εργοστάσιο και την πιθανότητα ατυχήματος σε αυτό $p_f = 10^{-5}$ /έτος.

Έστω ένας οδηγός (A) μέσα στο εργοστάσιο με πιθανότητα θανάτου (με δεδομένο ότι συνέβη ατύχημα) $p_{d|f} = 1$ και ένας κάτοικος (B) στην γύρω περιοχή με πιθανότητα θανάτου (επίσης με δεδομένο ότι συνέβη ατύχημα), $p_{d|f} = 0,99$.

Έχουμε ότι :

$$IR_A = 1 \cdot 10^{-5} \quad \text{και} \quad \beta_{i,A} = 1 \quad (\text{εθελοντική συμμετοχή στη δραστηριότητα})$$

$$IR_B = 0,99 \cdot 10^{-5} \cong 10^{-5} \quad \text{και} \quad \beta_{i,B} = 0,01 \quad (\text{μη εθελοντική συμμετοχή})$$

Θα δείξουμε ότι παρόλο που έχουμε το ίδιο ατομικό ρίσκο ο δείκτης ασφαλείας θα δείξει ότι το ατομικό ρίσκο είναι αποδεκτό στη περίπτωση του εργαζομένου όχι όμως και του κάτοικου της γύρω περιοχής.

$$S_A = \log\left(\frac{\beta_i \cdot 10^{-4}}{P_f \cdot P_{d|f}}\right) = \log\left(\frac{1 \cdot 10^{-4}}{10^{-5} \cdot 1}\right) = 1$$

$$S_B = \log\left(\frac{\beta_i \cdot 10^{-4}}{P_f \cdot P_{d|f}}\right) = \log\left(\frac{0.01 \cdot 10^{-4}}{10^{-5} \cdot 0.99}\right) \cong -1$$

Δηλαδή τα επίπεδα του ατομικού ρίσκου έχουν υπερβεί το αποδεκτό στις γύρω περιοχές.

3.2.4 Άλλοι τρόποι μέτρησης του ατομικού ρίσκου

3.2.4.1 Μέγιστο ατομικό ρίσκο (maximum individual risk)

Είναι η υψηλότερη τιμή του ατομικού ρίσκου μετά από την έκβαση του ατυχηματικού γεγονότος i , σε όλη τη γεωγραφική περιοχή x,y .

Μονάδες : 1/έτος, δηλαδή ετήσια συχνότητα θανατηφόρων περιστατικών

$$\max \{IR_{x,y,i}\} = \max \{f_i \cdot p_{f,i}\}$$

3.2.4.2 Μέσο ατομικό ρίσκο (average individual risk)

Ο μέσος όρος όλων των ατομικών ρίσκων σε ορισμένο πληθυσμό / ομάδα.

Μονάδες : 1/έτος δηλαδή ετήσια συχνότητα θανατηφόρων περιστατικών.

$$AIR = IR_{AV} = \frac{\sum_{x,y} IR_{x,y} \cdot P_{x,y}}{\sum_{x,y} P_{x,y}}$$

$P_{x,y}$ είναι ο αριθμός των ανθρώπων στην περιοχή x,y δηλαδή μερικές πιθανές ομάδες είναι:

- ✓ συνολικός πληθυσμός
- ✓ αριθμός εργατών
- ✓ αριθμός εκτιθέμενων

Αξίζει να σημειώσουμε ότι ο ορισμένος πληθυσμός δεν θα πρέπει να αποτελείται από μεγάλο πλήθος ατόμων. Διότι ενδεχομένως ένα μέρος του πληθυσμού να υποβάλλεται σε πολύ μικρό ρίσκο, υποεκτιμώντας έτσι το μέσο ατομικό ρίσκο IR_{AV} .

3.2.4.3 Fatal Accident Rate (*FAR*)

Εκφράζει τον αριθμό των νεκρών σε μια δραστηριότητα κάθε 10^8 ώρες έκθεσης στη δραστηριότητα αυτή.

Η συνήθης χρήση του είναι για τον υπολογισμό του ατομικού ρίσκου των εργαζομένων. Σχετίζεται άμεσα με το μέσο ατομικό ρίσκο και το πώς αυτό υπολογίστηκε.

Μονάδες : θάνατοι $\times 10^8$ εργατοώρες

$$FAR = k \cdot IR_{AV}$$

όπου $k=10^8 /$ (ώρες εργασίας το χρόνο)

Δηλαδή αν υποθέσουμε ότι κάποιος βρίσκεται πάντα παρών στο χώρο εργασίας του τότε,

$$k=10^8 / (24 \times 365)=1,14 \times 10^4$$

$$FAR = 1.14 \cdot 10^4 \cdot IR_{AV}$$

3.2.4.4 Ατομικό ρίσκο ανά χρόνο (Individual Risk Per Annum – IRPA)

Ένας από τους κυριότερους τρόπους για τον υπολογισμό είτε του ατομικού είτε του κοινωνικού ρίσκου είναι η χρήση στατιστικών στοιχείων. Συχνά όμως απαιτείται η σύγκριση των ρίσκων αυτών με ρίσκα από διαφορετικές δραστηριότητες για την διεξαγωγή αποτελεσμάτων.

Συγκρίνοντας τον βαθμό του ατομικού/ κοινωνικού ρίσκου αλλά και τις πιθανότητες δεν είναι ένας εύκολο έργο. Μερικά ρίσκα όπως θάνατος από αστραπή ή θάνατος από αυτοκινητιστικό ατύχημα συμπεριλαμβάνουν ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων ή ακόμη και όλους εμάς απ' την καθημερινή μας ζωή καθ' όλη την διάρκεια. Είναι λογικό λοιπόν να δίνουμε την πιθανότητα ανά χρόνο ή ανά εκατομμύριο, ακόμη και αν μερικοί έχουν περισσότερες πιθανότητες από άλλους.

Έτσι το ατομικό ρίσκο ανά χρόνο ορίζεται :

$$IRPA = P(\text{το άτομο να σκοτωθεί κατά την διάρκεια έκθεσης σε κίνδυνο ενός χρόνου})$$

Όπου P μπορεί να εκφράζει είτε συχνότητα είτε πιθανότητα

Παρόλα αυτά μερικά διαφορετικά είδη κινδύνων, όπως προαναφέραμε, πρέπει να συγκριθούν μεταξύ για την διεξαγωγή αποτελεσμάτων. Όμως το μέγεθος της βάσης του ρίσκου το οποίο διατρέχουν πρέπει να είναι συγκρίσιμο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Εκτίμηση ρίσκου- Ατομικό Ρίσκο

Για παράδειγμα είναι λανθασμένη η σύγκριση θανάτων από τις αερομεταφορές, τις σιδηροδρομικές μεταφορές και τις οδικές μεταφορές με βάση τα χιλιόμετρα ή τον αριθμό των ταξιδιών αφού τα διανυόμενα χιλιόμετρα ενός αεροπλάνου δεν είναι συγκρίσιμα με ενός αυτοκινήτου.

Ένας εναλλακτικός τρόπος είναι η σύγκριση στη μορφή μέσω ετήσιων θανατηφόρων ατυχημάτων. Μια τέτοια οπτική μας δίνει την δυνατότητα επέκτασης της σύγκρισης και σε κοινωνικά επίπεδα και η παραγωγή καμπυλών F-N για τη σύγκριση.

Οι παρακάτω πίνακες δίνουν μερικές ιδέες πως τέτοια ρίσκα μπορούν να αναλυθούν και να συγκριθούν μεταξύ τους σε μέγεθος και πιθανότητες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.

Μέσο ετήσιο ρίσκο θανάτων ως συνέπεια από μια δραστηριότητα²²

	Ετήσιο ρίσκο	Ετήσιο ρίσκο Ανά εκατομμύριο	Θανατηφόρα ατυχήματα ανά έτος	Θάνατοι ανά έτος
Σιδηροδρομικές μεταφορές	1 στις $43 \cdot 10^6$ (ταξίδια·επιβάτες)	0,02326	68,9	81,5
Αερομεταφορές	1 στις $125 \cdot 10^6$ (ταξίδια·επιβάτες)	0,008	18,4	64,5
Οδικές μεταφορές	-	-	4949,6	5402,4

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.

Ετήσιο ρίσκο θανάτων από θανάτων από βιομηχανικά ατυχήματα εργαζομένων²³

Βιομηχανικός τομέας	Ετήσιο ρίσκο	Ετήσιο ρίσκο ανά εκατομμύριο
Κατασκευές	1 στις 17000	59
Θάνατοι εργαζομένων	1 στις 125000	8
Βιομηχανία μετάλλων	1 στις 34000	29
Βιομηχανία ηλεκτρικών εξοπλισμών	1 στις 500000	2
Ορυχεία	1 στις 9200	109
Γεωργία	1 στις 17200	58

²² Health and Safety Statistics (1996-2001) HSE Books
Health and Safety Executive, 'Transport fatal accidents and F-N curves 1967-2001'

²³ Health and Safety Statistics (1996-2001) HSE Books

Κεφάλαιο 4. Εκτίμηση ρίσκου- Κοινωνικό Ρίσκο

4.1 Καμπύλες $F-N$

Οι καμπύλες $F-N$ είναι μια γραφική απεικόνιση, σε λογαριθμική – λογαριθμική κλίμακα, των πληροφοριών σχετικά με τη συχνότητα των ατυχημάτων και την κατανομή των νεκρών από αυτά τα ατυχήματα.

Ο κατακόρυφος άξονας ($F(N)$) εκφράζει την αθροιστική συχνότητα / πιθανότητα να γίνει ατύχημα με N ή περισσότερους νεκρούς, ενώ ο οριζόντιος άξονας (N) εκφράζει τον αριθμό των νεκρών και κυμαίνεται από 1 έως N_0 όπου :

N_0 : ο μέγιστος πιθανός αριθμός νεκρών για δεδομένη δραστηριότητα

Ανάλογα με τον τρόπο που εκφράζεται ο κατακόρυφος άξονας, υπάρχουν και εναλλακτικές απεικονίσεις των καμπυλών αυτών. Ουσιαστικά αυτό που διαφοροποιείται είναι το πως μετρείται η πιθανότητα / συχνότητα. Το τι εκφράζει η πιθανότητα, και συνεπώς τι μονάδες έχει ο κατακόρυφος άξονας θα αναφερθεί παρακάτω. Προς το παρόν θα εξετασθούν οι τρόποι μέτρησης της πιθανότητας.

Υπάρχουν τρεις γενικές μέθοδοι²⁴ κατασκευής των καμπυλών αυτών, βάση του τρόπου μέτρησης της πιθανότητας :

- Στατιστικές από βάσεις δεδομένων με ιστορικά ατυχημάτων
- Πιθανοθεωρητικά μοντέλα υπολογισμού της αναμενόμενης πιθανότητας
- Εκτιμήσεις ειδικών

Τα κύρια μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα της κάθε μεθόδου προσέγγισης της πιθανότητας να γίνει ατύχημα αναφέρονται στο παρακάτω πίνακα.

²⁴ 16th International Ship And Offshore Structures Congress, 2006

Πίνακας 15: Προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό της πιθανότητας / συχνότητας

ΠΙΝΑΚΑΣ 15. Τρόποι χάραξης καμπυλών F-N		
Προσέγγιση	Κύριο πλεονέκτημα	Κύριο μειονέκτημα
Στατιστική ατυχημάτων	Η μοναδική αξιόπιστη πηγή	Δυσκολία στο να προβλέψει μελλοντικές καταστάσεις, ιδιαίτερα αν δεν έχουν ξαναγίνει, περιορισμός στην έκταση της βάσης δεδομένων
Πιθανοθεωρητικά μοντέλα	Λογική, περιέχει τις συνέπειες, προβλέπει δυσμενείς καταστάσεις, ανεξάρτητα αν έχουν πραγματοποιηθεί ή όχι, μικρό κόστος	Δεδομένα σενάρια, περιορίζεται στην πιθανότητα ατυχήματος
Εκτιμήσεις ειδικών	Χρησιμοποιείται όταν υπάρχει έλλειψη δεδομένων	Υποκειμενική

Στις επόμενες παραγράφους θα γίνει αναφορά στις δυο πρώτες προσεγγίσεις.

4.1.1 Πιθανότητες και στατιστική, σχετικά με τις καμπύλες F-N

Παρακάτω, θα συζητηθεί η χρησιμότητα των καμπυλών F-N (αλλά και η κριτική που τους ασκείται), ενώ θα παρουσιαστεί και η διαδικασία κατασκευής τους. Αρχικά, σκόπιμο θεωρείται να αναπτυχθούν μερικές βασικές θεωρίες των πιθανοτήτων και της στατιστικής με έμφαση, γενικά, στις πρακτικές εφαρμογές στη διαχείριση ρίσκου αλλά και ειδικότερα σε ό,τι αφορά στην κατασκευή των καμπυλών αυτών.

4.1.1.1 Στοιχεία πιθανοτήτων

Η **πιθανότητα** είναι ένα αριθμητικό μέτρο του κατά πόσο είναι πιθανή μια έκβαση κάποιας στοχαστικής διαδικασίας. Είναι μια από τις δυο παραμέτρους που προσδιορίζει την μεταβλητότητα ενός συστήματος. Η άλλη παράμετρος είναι αυτή που προσδιορίζει το σύνολο των δυνατών τιμών. Γενικά η πιθανότητα χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις κατανομές, οι οποίες περιγράφουν το εύρος των τιμών των οποίων μπορεί να πάρει μια μεταβλητή μαζί με το κατά πόσο είναι πιθανό η μεταβλητή να πάρει μια οποιοδήποτε τιμή.^{25,26}

²⁵ David Vose, 'Risk Analysis. A quantitative guide- second edition' John Wiley & Sons, LTD

³ Γ. Κοκολάκης, Ι. Σπηλιώτης, 'Εισαγωγή στη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστική' Εκδόσεις Συμεών

4.1.1.1.1 Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής, α.σ.κ. - (Cumulative Distribution Function (cdf))

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής, $G(x)$, εκφράζει την πιθανότητα ώστε η τυχαία μεταβλητή X είναι μικρότερη ή ίση κάποιας τιμής x .

$$G(x)=P(X \leq x), \forall x$$

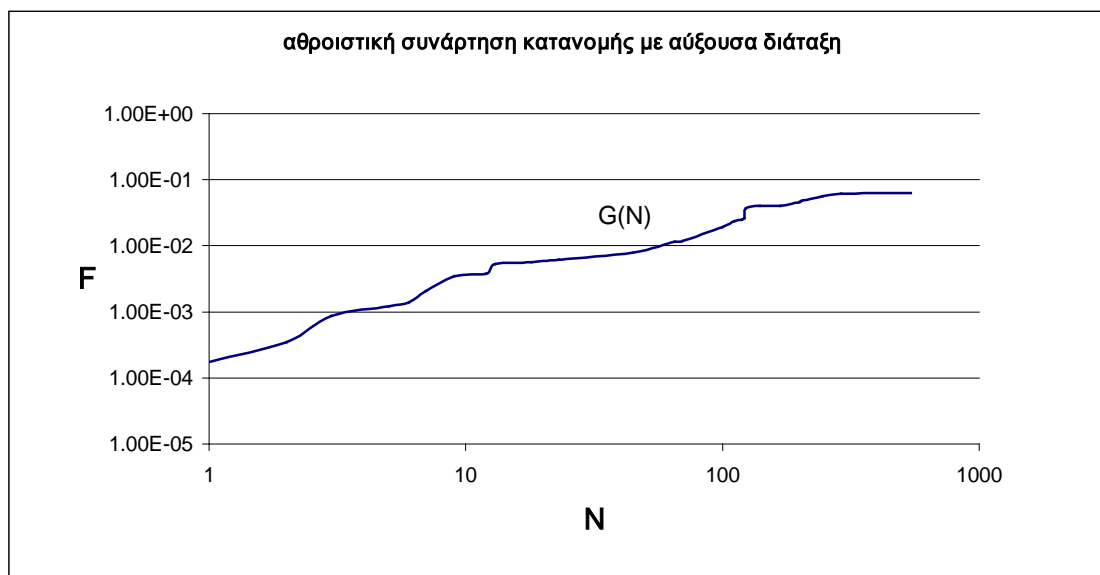
Όπου X η τυχαία μεταβλητή,
 x μια τιμή της τυχαίας μεταβλητής X ,
και $P(X \leq x)$ η πιθανότητα του γεγονότος $X \leq x$

Στις καμπύλες $F-N$ η μεταβλητή X αντιπροσωπεύει τον αριθμό των νεκρών (N). Κατά συνέπεια ο οριζόντιος άξονας εκφράζει τον αριθμό των νεκρών (συνεπώς $X=N$), ενώ η $G(X)$ εκφράζει την αύξουσα αθροιστική κατανομή με πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ατύχημα έως N νεκρούς .

Η παραπάνω πιθανότητα $P(X \leq x)$ υπολογίζεται μέσω της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας²⁷ από την σχέση :

$$G_N = \int_0^N f(x) \cdot dx$$

Γραφικά μια τυχαία τέτοια κατανομή απεικονίζεται ως :



Σχήμα 8: Παράδειγμα αθροιστικής συνάρτησης κατανομής με αύξουσα διάταξη

²⁷ Αναλυτική περιγραφή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας αναφέρεται στην παράγραφο 4.1.1.1.2

Η παραπάνω μορφή αν και χρησιμοποιείται ευρέως, δεν βρίσκει εφαρμογή στον τομέα διαχείρισης ρίσκου, καθώς αυτό που ενδιαφέρει στην ανάλυση ρίσκου, και ειδικότερα στις καμπύλες $F-N$ είναι η πιθανότητα υπέρβασης κάποιας τιμής, το γεγονός να γίνει ατύχημα με $X \geq x$, δηλαδή ατύχημα με N ή περισσότερους νεκρούς.

Και αυτό, γιατί, οι καμπύλες $F-N$, εκτός από δείκτης κοινωνικού ρίσκου, χρησιμοποιούνται συνολικά, ως γραφική απεικόνιση, για την παραγωγή κριτηρίων.

Αυτό που ενδιαφέρει συνεπώς είναι αν η συχνότητα υπερβαίνει κάποιο όριο. Ορίζουμε λοιπόν την φθίνουσα αθροιστική κατανομή :

$$F(N)=P(N \geq n)$$

Όπου $P(N \geq n)$ η πιθανότητα να γίνει ατύχημα με n ή περισσότερους νεκρούς και **σε συγκεκριμένη εγκατάσταση ή δραστηριότητα.**

Για αυτό το λόγο μια εναλλακτική ορολογία των καμπυλών, που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στην Αμερική, είναι « **καμπύλες υπέρβασης** (*exceedance curves*)».

Η παραπάνω πιθανότητα $P(X \geq x)$ υπολογίζεται μέσω της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας²⁸ από την σχέση :

$$F_N = \int_N^{+\infty} f(x) \cdot dx$$

Για την περίπτωση όπου περιορίζεται ο μέγιστος αριθμός νεκρών (N_u), τότε η αθροιστική κατανομή F_N υπολογίζεται από την σχέση:

$$F_N = \int_N^{N_u} f(x) \cdot dx$$

Κρίνουμε σκόπιμο να αναφερθούμε στη σημασία που έχει το γεγονός ότι η *σ.π.π.* από την οποία προκύπτει η $F-N$, τουλάχιστον για τις καμπύλες που συναντήσαμε στη βιβλιογραφία, αφορά κάθε φορά μία συγκεκριμένη εγκατάσταση.

Το τι σημαίνει ο όρος εγκατάσταση δέχεται διάφορες ερμηνείες.

- Καθώς παραδοσιακά η ανάλυση ρίσκου έχει τις ρίζες της στην χημική και πυρηνική βιομηχανία, σε πρώτη ανάγνωση με τον όρο εγκατάσταση αναφερόμαστε σε ένα συγκεκριμένο εργοστάσιο. Έτσι η F_N αντιπροσωπεύει την πιθανότητα (συχνότητα) να συμβεί ατύχημα (ατυχήματος) μεγέθους N ή περισσότερων νεκρών στα πλαίσια του εργοστασίου και μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα.

²⁸ Αναλυτική περιγραφή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας αναφέρεται στην παράγραφο 4.1.1.1.2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Εκτίμηση ρίσκου- Κοινωνικό Ρίσκο

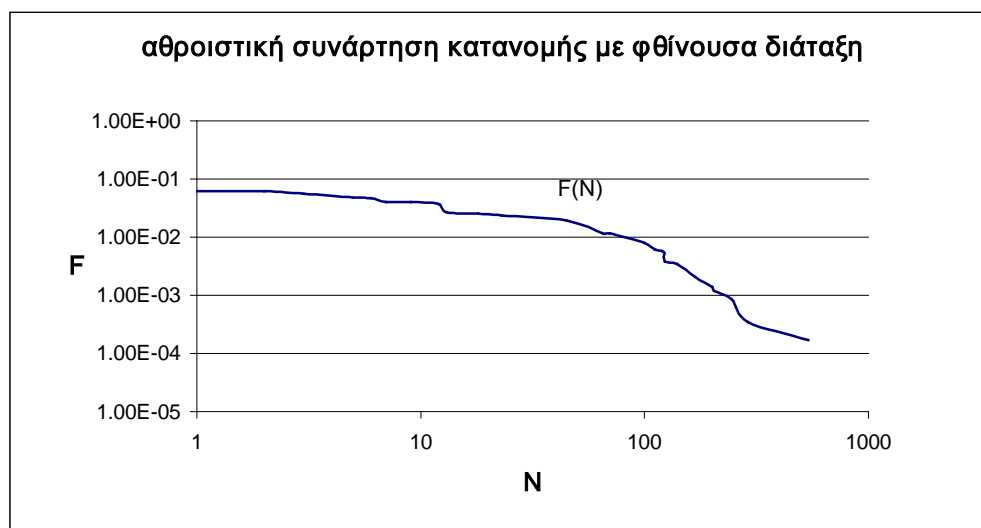
- Με την ολοένα και αυξανόμενη χρήση *Ανάλυσης Ρίσκου* και σε άλλους τομείς η λέξη εγκαταστάσεις αναγκαστικά έπρεπε να αποκτήσει διαφορετική σημασία.

Για παράδειγμα στις θαλάσσιες μεταφορές ως εγκατάσταση ορίζεται (σε ευθεία αναλογία με το εργοστάσιο), το πλοίο. Ως εκ τούτου οι αθροιστικές συχνότητες που αφορούν σε ατυχήματα πλοίων, δίδονται ανά πλοίο.

Ωστόσο υπάρχουν περιθώρια και για άλλες ερμηνείες. Για την περίπτωση μεταφοράς επικίνδυνων υλικών μέσα από κατοικημένες περιοχές, ο Vrijling επιλέγει να ορίσει ως εγκαταστάσεις το σύνολο των οικισμών που κινδυνεύουν σε περίπτωση ατυχήματος να εκτεθούν στην επικίνδυνη ουσία και όχι το μεταφορικό μέσο που χρησιμοποιείται.

Η ευελιξία αυτή στοχεύει στο να περιγράφεται κάθε φορά η ενότητα που μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε. Έτσι στην περίπτωση ενός επιβατηγού τρένου ενδιαφέρει να προστατευθεί η ενότητα τρένο, ενώ στην περίπτωση τρένου μεταφοράς χημικών στόχος είναι να μελετήσουμε το ρίσκο από τη σκοπιά των περιοχών μέσα στις οποίες κινείται το τρένο.

Ανεξάρτητα από το πώς θα ορίσουμε την βάση αναγωγής της συχνότητας ωστόσο, η απεικόνιση της $F(N)$ είναι της μορφής :



Σχήμα 9: Παράδειγμα αθροιστικής συνάρτησης κτανομής με φθίνουσα διάταξη

Στο εξής οι συναρτήσεις F και G θα αντιπροσωπεύουν την φθίνουσα και αύξουσα αθροιστική κατανομή αντίστοιχα.

Σύμφωνα με την κλασσική έννοια των πιθανοτήτων ισχύει ότι :

- Η τυχαία μεταβλητή X είναι συνεχής
- $F(N) + G(N) = 1 \Rightarrow F(N) = 1 - G(N)$
- Η $F(N)$ είναι πάντα φθίνουσα συνάρτηση καθώς $\frac{d}{dx} F(x) \leq 0$

4.1.1.1.2 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, σ.π.π. - (Probability density function (pdf))

Αν η μεταβλητή X είναι συνεχής, τότε η πιθανότητα η μεταβλητή X να πάρει την τιμή x είναι πολύ μικρή. Έτσι ορίζουμε ως συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(x)$:

$$f(x) = \frac{d}{dx} G(x) = \frac{d}{dx} (1 - F(x)) = -\frac{d}{dx} F(x)$$

δηλαδή η σ.π.π. εκφράζει το ρυθμό μεταβολής της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής, και είναι πάντοτε μη αρνητική. Δηλαδή $f(x) \geq 0$.

Στο εξής οι συναρτήσεις f και F θα αντιπροσωπεύουν την σ.π.π. και α.σ.κ. αντίστοιχα.

Για συνεχή μεταβλητή μπορεί να προσδιοριστεί η πιθανότητα το x να βρίσκεται ανάμεσα σε δυο τιμές (a,b) :

$$P(a \leq x \leq b) = G(b) - G(a)$$

Μια τυπική γραφική απεικόνιση της σ.π.π. έχει την μορφή :



Σχήμα 10: Τυπικό παράδειγμα απεικόνισης της σ.π.π.

τονίζεται ότι για το συνολικό εμβαδόν της σ.π.π. ισχύει:

$$\int_0^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \text{ (συνθήκη κανονικοποίησης)}$$

Προφανώς η τυχαία μεταβλητή X παίρνει μη αρνητικές τιμές καθώς όσα αναφέρονται για τις σ.π.π. και α.σ.κ. αναφέρονται για την παραγωγή καμπυλών $F-N$ όπου η μεταβλητή X εκφράζει ανθρώπινες απώλειες.

4.1.1.1.3 Συνάρτηση μάζας πιθανότητας, σ.μ.π.-(probability mass function)

Αν η μεταβλητή X είναι **διακριτή**, τότε η πιθανότητα η μεταβλητή X να πάρει την τιμή x είναι :

$$P(X = x) = p(x)$$

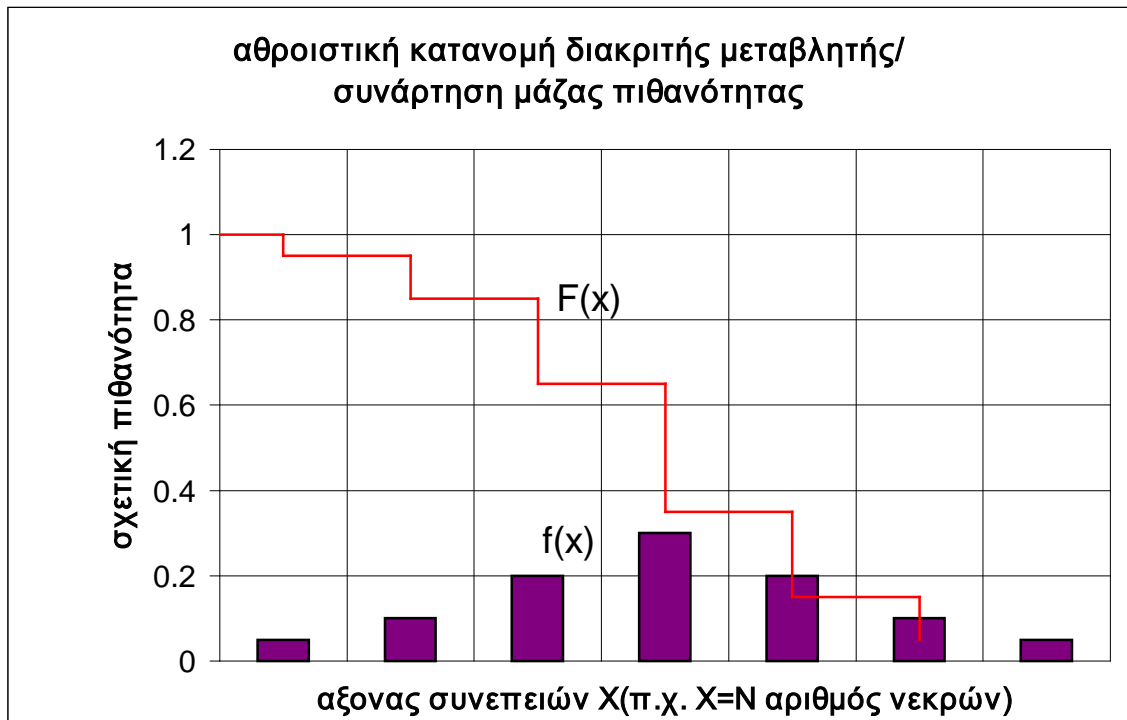
Όπου $p(x)$ καλείται η συνάρτηση μάζας πιθανότητας.
Έτσι :

$$\sum_{i=1}^n p(x_i) = 1$$
$$G(x) = \sum_{i=1}^k p(x_i)$$
$$F(x) = \sum_{i=k}^n p(x_i)$$

Συχνά στην ανάλυση ρίσκου η διακριτή αθροιστική συνάρτηση κατανομής $F(x)$, δηλαδή όταν η μεταβλητή X παίρνει διακριτές τιμές $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ απεικονίζεται με ευθείες γραμμές που ενώνουν κάθε σημείο. Συνεπώς ο αριθμός των νεκρών ως διακριτή μεταβλητή παίρνει τιμές στον χώρο $N^* = \{1, 2, 3, \dots\}$. Αυτή η ομαδοποίηση πραγματοποιείται με την παραδοχή ότι, στο κάθε τμήμα $(1, 2)$, $(2, 3)$... περιέχεται το αριστερό άκρο του, όχι όμως το δεξιό

Μια τέτοια απεικόνιση πραγματοποιείται συνήθως όταν αναλύουμε στατιστικά στοιχεία με μικρό δείγμα, όπως σε μια καμπύλη $F-N$, όπου τα ατυχήματα είναι δεδομένα (διακριτά), με δεδομένες συνέπειες (νεκροί).

Έτσι μια γραφική απεικόνιση είναι της μορφής :



Σχήμα 11: Τυπικό παράδειγμα απεικόνισης σ.μ.π. και της αντίστοιχης α.σ.κ.

4.1.1.1.4 Μέση τιμή ή προσδοκώμενη τιμή - $E(X)$ ή μ - (mean)

Ονομάζεται και κεντρική ροπή μηδενικής τάξης. Ορίζεται ως:

$$E(x) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i \text{ για διακριτές μεταβλητές}$$

$$E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot p(x) dx \text{ για συνεχής μεταβλητές}$$

Όπως φαίνεται παραπάνω η $E(x)$ καθορίζεται από τις παραμέτρους της κατανομής. Η μέση τιμή είναι ένα σημαντικό μέγεθος σε μια καμπύλη $F-N$ τόσο για την ερμηνεία της όσο και για την παραγωγή κριτηρίων. Είναι επίσης χρήσιμη για την κατάταξη των επιπέδων του ρίσκου.

Η μέση τιμή εκτός των άλλων στις καμπύλες αυτές έχει μονάδες

$$E(N) = \frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Χρονικό βήμα} \cdot \text{Ατύχημα}}$$

Ως επί τω πλείστον η χρονική βάση αναγωγής αναφέρεται σε ένα έτος, αφού αυτό που εξετάζεται είναι η ετήσια κατάσταση ρίσκου.

Στην περίπτωση που χαράσσουμε την $F-N$ χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και όχι συχνότητες έμμεσα θεωρούμε ότι η κατάσταση συνοψίζεται σε **ένα και μοναδικό ατύχημα**.

Γι' αυτή την περίπτωση ισχύει ότι,

$$E(N) = PLL = \frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Μονάδα Χρόνου}}$$

Η απόδειξη παρατίθεται στα αμέσως επόμενα.

Πρώτος ο Ale (1996) πρότεινε την περιοχή κάτω από την καμπύλη $F-N$ ως απλό μέτρο μέτρησης του *κοινωνικού ρίσκου*. Αν και δεν είναι άμεσα φανερό ο J.K. Vrijling απέδειξε μαθηματικά ότι το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη αυτή ισούται με την μέση τιμή του αριθμού των νεκρών και κατά συνέπεια του PLL όπου είναι ένα απλό μέτρο μέτρησης του *κοινωνικού ρίσκου*.²⁹ Η απόδειξη παρατίθεται παρακάτω.

Αν και θα ασχοληθούμε εκτενώς με την παραγωγή Κριτηρίων Ρίσκου στο επόμενο κεφάλαιο αξίζει να κάνουμε σε αυτό το σημείο μια πρώτη παρατήρηση.

Παρά το γεγονός ότι η μέση τιμή είναι κατάλληλη για την σύγκριση διαφορετικών καταστάσεων ρίσκου, μέσω σύγκρισης των προκυπτόντων PLL , δεν είναι κατάλληλη, αυτή καθ' εαυτή για την οριοθέτηση της $ALARP$ περιοχής.

Αυτό γιατί :

Ας θεωρηθούν δυο διαφορετικές καταστάσεις, με τον ίδιο συνολικό αριθμό νεκρών, όπου στην μία περίπτωση κυριαρχούν υψηλόσυχνα ατυχήματα με μικρές συνέπειες, ενώ στην άλλη περίπτωση χαμηλόσυχνα πολύνεκρα ατυχήματα. Η μέση τιμή είναι ίση και για τις δύο καταστάσεις αφού έχουν τον ίδιο συνολικό αριθμό νεκρών. Συνεπώς δεν αντικατοπτρίζει την αποστροφή της κοινωνίας στα μεγάλα ατυχήματα με πολλούς νεκρούς έναντι των μικρών συχνών ατυχημάτων. Συνεπώς μια τέτοια προσέγγιση έχει ουδέτερη αντιμετώπιση του ρίσκου. Συνεπώς δεν συνίσταται η χρήση μόνο της μέσης τιμής για παραγωγή κριτηρίων αποδοχής.

Απόδειξη

Αρχικά θα αποδειχθεί ότι η μέση τιμή $E(N)$ ταυτίζεται με το PLL .

Ένας από τους παραδοσιακούς ορισμούς του PLL ορίζεται ως :

²⁹ J.K. Vrijling, 'Societal risk and the concept of risk aversion'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Εκτίμηση ρίσκου- Κοινωνικό Ρίσκο

$$PLL = \sum_N f_N \times N$$

Σε αυτή την μορφή το PLL υπολογίζεται, όταν υπάρχουν διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία. Σε μια πιθανοθεωρητική ανάλυση, όπου ο αριθμός των νεκρών λαμβάνεται ως συνεχής μεταβλητή, το PLL υπολογίζεται από την σχέση:

$$PLL = \int_N f_N \times N \cdot dN$$

Σε κάθε περίπτωση το PLL ταυτίζεται με την μέση τιμή για συνεχής ή διακριτή μεταβλητή N , σύμφωνα με τους παραπάνω ορισμούς της μέσης τιμής. Κάτι απόλυτα αναμενόμενο αφού το μέγεθος PLL εκφράζει τον αναμενόμενο αριθμό των νεκρών.

Κατά συνέπεια: $PLL = E(N)$

Κατόπιν θα αποδειχθεί ότι η μέση τιμή $E(N)$ ισούται με το εμβαδόν της καμπύλης $F-N$. Συνεπώς:

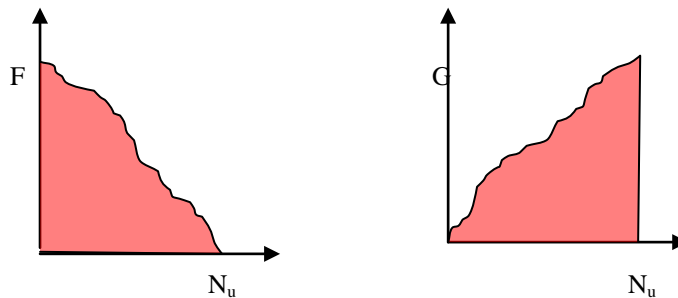
$$PLL = E(N) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx = \int_0^{+\infty} u \cdot f(u) du \Rightarrow E(N) = \int_0^{+\infty} u \cdot f(u) du \quad (\alpha)$$

καθώς το x εκφράζει τον αριθμό των νεκρών και κατά συνέπεια $x \geq 0$.

Αν τεθεί στην (α) όπου: $u = \int_0^x dx$:

$$(\alpha) \Rightarrow E(N) = \int_0^{+\infty} \int_0^u f(u) du dx \quad (\alpha')$$

όμως το ολοκλήρωμα: $\int_0^x f(u) \cdot du$ εκφράζει το εμβαδόν της αθροιστικής συνάρτησης $G(x)$ με αύξουσα διάταξη. Ολοκληρώνοντας στο ίδιο διάστημα, το εμβαδόν της αθροιστικής συνάρτησης $G(x)$ είναι το ίδιο με εμβαδόν της αθροιστικής συνάρτησης $F(x)$ με φθίνουσα διάταξη



Συνεπώς :

$$\int_0^x f(u) \cdot du = \int_x^{N_u} f(u) \cdot du$$

Καθώς δεν θέλουμε να θεωρήσουμε μέγιστο αριθμό νεκρών N_u , χωρίς να άρουμε την γενικότητα θεωρούμε ότι: $N_u \rightarrow +\infty$. Έτσι η σχέση (α') γίνεται :

$$E(N) = \int_0^{+\infty} \int_x^{+\infty} f(u) dx du = \int_0^{+\infty} \left\{ \int_x^{+\infty} f(u) du \right\} \cdot dx$$

Όμως το ολοκλήρωμα στην αγκύλη $\int_x^{+\infty} f(u) du$, όπως ήδη αναφέρθηκε, εκφράζει την αθροιστική συνάρτηση κατανομής της f με φθίνουσα διάταξη:

$$F(x) = \int_x^{+\infty} f(u) du$$

Συνεπώς η (α') γίνεται :

$$E(N) = \int_0^{+\infty} F(x) dx$$

Το οποίο εκφράζει και το εμβαδόν της καμπύλης $F-N$. Δηλαδή η μέση τιμή, και κατά συνέπεια το PLL , ισούται με το εμβαδόν της καμπύλης $F-N$.

Τονίζεται πάλι ότι η μέση τιμή, είναι ένα πολύ χρήσιμο μέγεθος στις καμπύλες $F-N$ αφού ταυτίζεται με το PLL και το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη και είναι αυτή που κατά κύριο λόγο προσδιορίζει τη μορφή (σχήμα) των καμπυλών αυτών.

4.1.1.15 Διασπορά V (Variance) – τυπική απόκλιση σ (standard deviation)

Η διασπορά είναι ένα μέτρο που δείχνει κατά πόσο η κατανομή είναι διασκορπισμένη γύρω από την μέση τιμή.

$$Var = E[(x - \mu)^2] = E(x^2) - \mu^2$$

όπου $E[]$ συμβολίζει την μέση τιμή της συνάρτησης που είναι μέσα στην αγκύλη.

Συνεπώς :

$$Var = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 \cdot f(x) dx$$

Με άλλα λόγια η διασπορά είναι το άθροισμα της απόστασης στο τετράγωνο, της μέσης τιμής από όλες τις πιθανές τιμές x , σταθμισμένο από το 'βάρος' της αντίστοιχης πιθανότητας πιθανότητας να συμβεί το κάθε γεγονός x .

Βασιζόμενος στη διασπορά και τη μέση τιμή ο *HSE* το 1996 πρότεινε ένα εναλλακτικό μέγεθος μέτρησης του κοινωνικού ρίσκου, το *ολοκλήρωμα ρίσκου RI (Risk Integral)*

Το πρόβλημα με το *RI* (και κατ' επέκταση της διασποράς), είναι ότι έχει μονάδες $\{(νεκρούς)^2 / έτος\}$, το οποίο το κάνει δύσχρηστο σαν μέγεθος αφού δεν είναι φανερό το τι εκφράζει η παραπάνω μονάδα μέτρησης. Κατά συνέπεια, το *RI*, ως δείκτης μέτρησης του κοινωνικού ρίσκου δεν γίνεται εύκολα κατανοητός από τα μέλη της κοινωνίας, με αποτέλεσμα να αδυνατεί να απεικονίσει επαρκώς και με σαφήνεια την εκάστοτε κατάσταση ρίσκου.

Απόδειξη

Το ολοκλήρωμα ρίσκου *RI (Risk Integral)*, εξ' ορισμού είναι :

$$RI = \int N \cdot (1 - G(N)) dN = \int N \cdot F(N) dN \quad (1)$$

γενικά ισχύει :

$$\begin{aligned} Var(N) &= E(N^2) - E^2(N) \Rightarrow E(N^2) = Var(N) + E^2(N) \Rightarrow \\ \frac{1}{2} \cdot E(N^2) &= \frac{1}{2} \cdot (Var(N) + E^2(N)) \quad (2) \end{aligned}$$

Όμως το $E(N^2)$ εκφράζει τη ροπή δεύτερης τάξης. Έτσι εξ' ορισμού :

$$\begin{aligned} E(N^2) &= \int_0^{+\infty} N^2 \cdot f(N) dN \Rightarrow \\ \frac{1}{2} \cdot E(N^2) &= \frac{1}{2} \cdot \int_0^{+\infty} N^2 \cdot f(N) dN \quad (3) \end{aligned}$$

όμως ισχύει ότι :

$$\frac{1}{2} \cdot N^2 = \int_0^N u \cdot du \quad (4)$$

από (3) και (4) :

$$\frac{1}{2} \cdot E(N^2) = \int_0^{+\infty} \int_0^N u \cdot f(N) dN \cdot du \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot E(N^2) = \int_0^{+\infty} u \left(\int_u^{+\infty} f(N) dN \right) \cdot du \quad (5)$$

όπου το ολοκλήρωμα $\int_u^{+\infty} f(N) \cdot dN$ εκφράζει την αθροιστική συχνότητα κατανομής F.

Συνεπώς η (5) γίνεται : $\int u \cdot F(u) du$ που ισούται με το RI σύμφωνα με την (1).

Επιπλέον από (2) και (3) :

$$RI = \int_0^{+\infty} N \cdot F(N) \cdot dN = \frac{1}{2} \cdot (Var(N) + E^2(N))$$

Η τυπική απόκλιση είναι η θετική ρίζα της διασποράς :

$$\sigma = \sqrt{Var}$$

Το πλεονέκτημα που έχει η τυπική απόκλιση έναντι της διασποράς είναι ότι έχει τις ίδιες μονάδες με την εκάστοτε μεταβλητή x. Συνεπώς η τυπική απόκλιση είναι χρησιμότερη για να εκφράσει την διασπορά της μεταβλητής x.

Η τυπική απόκλιση, όπως και η μέση τιμή, είναι σημαντικά μεγέθη σε μια καμπύλη F-N τόσο για την ερμηνεία της όσο και για την παραγωγή κριτηρίων. Η τυπική απόκλιση εκφράζει τη διασπορά των ατυχημάτων γύρω από την μέση τιμή.

Σε συνδυασμό με την μέση τιμή μπορεί να εκφράσει την αποστροφή έναντι του ρίσκου πολύνεκρων ατυχημάτων για την παραγωγή κριτηρίων. Συνεπώς οποιοδήποτε όριο σε μια καμπύλη είναι συνάρτηση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης εμπεριέχει την αποστροφή του ρίσκου.

Ο J.K. Vrijling³⁰ πρότεινε την γραμμική σχέση μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης ως άνω όριο των καμπυλών F-N.

Η σχέση έχει την μορφή :

$$E(N) + k \cdot \sigma(N) < \beta_i \cdot 100$$

όπου k είναι ο βαθμός αποστροφής του ρίσκου.

Η κριτική στην εφαρμογή του ορίου αυτού, είναι ο τρόπος που συνυπολογίζετε η αποστροφή του ρίσκου σε εθνικό επίπεδο. Αφενός γιατί δεν είναι ξεκάθαρο για το τι τιμές πρέπει να λαμβάνει ο συντελεστής k και αφετέρου για το κατά πόσο είναι θεμιτό να απεικονίζεται η αποστροφή του ρίσκου σε εθνικό επίπεδο σε έναν αριθμό. Παρόλα αυτά το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι ότι για πρώτη φορά, δίνει την δυνατότητα εφαρμογής του σε εθνικό επίπεδο για όλες τις επικίνδυνες εγκαταστάσεις / δραστηριότητες.

³⁰ J.K. Vrijling, 'Societal risk and the concept of risk aversion'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Εκτίμηση ρίσκου- Κοινωνικό Ρίσκο

Μέχρι σήμερα κανένα άνω όριο δεν έχει υιοθετηθεί, όχι μόνο σε εθνικό επίπεδο αλλά και από όμοιες επικίνδυνες δραστηριότητες σε διαφορετικές περιοχές. Τέλος, ας σημειωθεί ότι με τον όρο επικίνδυνες εγκαταστάσεις / δραστηριότητες εννοούνται οι αερομεταφορές, θαλάσσιες μεταφορές, χημικές και πυρηνικές εγκαταστάσεις, οδικές μεταφορές κτλ. Περισσότερα για το θέμα αυτό αναφέρθηκαν και στην παράγραφο 4.1.1.1.1.

4.1.1.1.6 Ετήσια πιθανότητα υπέρβασης – (Annual probability of exceedance)

Είναι ένα μέγεθος πολύ χρήσιμο στις καμπύλες $F-N$. Εκφράζει τις φορές που η μεταβλητή x γίνεται ίση ή υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο όριο ή τιμή. Ο τρόπος υπολογισμού της ετήσιας πιθανότητας υπέρβασης πηγάζει από την απλή θεωρία πιθανοτήτων.

Ας θεωρηθεί ένα απλό παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου υπολογισμού της.

Έστω μια θαλάσσια περιοχή όπου σε χρονική διάρκεια 10 χρόνων τα ατυχήματα έχουν την εξής κατανομή :

Ατυχήματα με 1 ή περισσότερους νεκρούς	75
Ατυχήματα με 10 ή περισσότερους νεκρούς	5
Ατυχήματα χωρίς ανθρώπινες απώλειες	25

Το σύνολο των ατυχημάτων σε χρονική διάρκεια 10 χρόνων είναι : $(75 + 25) = 100$.

Τελικά πραγματοποιούνται $\frac{100}{10} \cdot \frac{\text{ατυχήματα}}{\text{έτη}} = 10 \frac{\text{ατυχήματα}}{\text{έτος}}$.

Η ετήσια πιθανότητα να πραγματοποιηθεί το ενδεχόμενο, A « ατύχημα με 10 ή περισσότερους νεκρούς » (εφ' όσον έχει ήδη πραγματοποιηθεί το ενδεχόμενο «ατύχημα») υπολογίζεται ως :

✓ η πιθανότητα το ατύχημα να οδηγή σε 10 ή παραπάνω νεκρούς είναι:

$$P(A) = \frac{\text{ενδεχόμενο που μας ενδιαφέρει}}{\text{σύνολο ενδεχομένων}} = \frac{5}{100} = 0.05$$

- ✓ η πιθανότητα το ατύχημα να μην οδηγήσει σε 10 ή παραπάνω νεκρούς είναι:

$$\bar{P}(A) = 1 - P(A) = 1 - 0,05 = 0,95$$

Η πιθανότητα να μην έχουμε 10 ή παραπάνω νεκρούς στο σύνολο των ατυχημάτων σε ένα έτος υπολογίζεται από την σχέση:

$$\bar{P}(S) = \underbrace{\bar{P}(A) \cdot \bar{P}(A) \cdot \dots \cdot \bar{P}(A)}_{\text{ετήσιος αριθμός ατυχημάτων}}$$

καθώς το κάθε ατύχημα θεωρείται ως ανεξάρτητο ενδεχόμενο.

Η ετήσια πιθανότητα να πραγματοποιηθεί το γεγονός «τουλάχιστον 1 ατύχημα με 10 ή περισσότερους νεκρούς» είναι η άρνηση του ενδεχομένου $\bar{P}(S)$ και κατά συνέπεια :

$$P(S) = 1 - \bar{P}(A)^{\text{ετήσιος αριθμός ατυχημάτων}} = 1 - 0,95^{10} \approx 0,4$$

Ας σημειωθεί εδώ ότι τα παραπάνω μεγέθη, είναι γενικά διαφορετικά από τα αντίστοιχα στατιστικά μεγέθη. Η **ετήσια συχνότητα υπέρβασης** πολλές φορές συγχέεται με την ετήσια πιθανότητα υπέρβασης, όμως όπως θα δειχθεί παρακάτω δεν είναι ταυτόσημες έννοιες.

Εδώ η ετήσια συχνότητα υπέρβασης εκφράζει το πόσες φορές το χρόνο πραγματοποιούνται ατυχήματα με 10 ή περισσότερους νεκρούς. Έτσι :

$$\text{ετήσια συχνότητα υπέρβασης} = \frac{5}{10} \cdot \frac{\text{ατυχήματα}}{\text{έτη}} = 0,5 \frac{\text{ατυχήματα}}{\text{έτος}}$$

4.1.1.2 Στοιχεία στατιστικής

Συχνότητα είναι ο αριθμός των καταγραφών τις οποίες εμφανίζει ένα συγκεκριμένο γεγονός σε ένα συγκεκριμένο πληθυσμό ή ένα συγκεκριμένο διάστημα χρόνου.

Η συχνότητα και η πιθανότητα χρησιμοποιούνται σε μια ανάλυση ρίσκου, για να προσδιορίσουν το ρίσκο σε οποιαδήποτε μορφή. Χρειάζεται όμως ιδιαίτερη

προσοχή, καθώς δεν είναι έννοιες ταυτόσημες αν και χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν την ίδια ποσότητα. Πρακτικά θεωρείται ότι η συχνότητα προσεγγίζει την πιθανότητα όταν, το στατιστικό δείγμα είναι πολύ μεγάλο ($n \rightarrow \infty$) ή όταν η χρονική διάρκεια των καταγραφών είναι μεγαλύτερη των 100 ετών³¹.

Πριν γίνει ανάλυση των στοιχείων στατιστικής όπου χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των καμπυλών $F-N$, σκόπιμο θεωρείται να δειχθεί η διαφορά μεταξύ πιθανότητας και συχνότητας.

4.1.1.2.1 Η διαφορά μεταξύ πιθανότητας και συχνότητας

Για να γίνει αντιληπτή η διαφορά μεταξύ πιθανότητας και συχνότητας ας θεωρηθεί το εξής απλό παράδειγμα :

Έστω ένα πλοίο που εκτελεί μια συγκεκριμένη διαδρομή. Κάθε πλους θεωρείται ανεξάρτητος, και έστω ότι η πιθανότητα να γίνει ατύχημα σε έναν πλου είναι $1/5$.

Έτσι αν A : το ενδεχόμενο «να γίνει ατύχημα σε έναν πλου», τότε είναι προφανές ότι $p(A)=1/5$.

Ποια όμως είναι η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί 1 ατύχημα σε 5 πλόες;

Ένα πολύ συχνό λάθος είναι να πολλαπλασιαστεί η πιθανότητα ($1/5$) με τον αριθμό των πλόων (5) δίνοντας έτσι την απάντηση ότι πραγματοποιείται 1 ατύχημα στις πέντε πλόες.

Η απάντηση αυτή εκφράζει την μέση συχνότητα, όχι όμως την πιθανότητα. Η πιθανότητα όταν λαμβάνει την τιμή 1 υπονοεί ότι είναι βέβαιο ότι θα γίνει ατύχημα.

Για να υπολογιστεί η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί 1 ατύχημα σε 5 πλόες είναι απαραίτητο να υπολογιστεί ο συνολικός αριθμός των τρόπων που μπορεί να γίνει 1 και μόνο 1 ατύχημα σε 5 πλόες.

Εδώ τα δυνατά αποτελέσματα είναι δύο:

ενδεχόμενο A « ατύχημα » με πιθανότητα $P(A) = 0,2$

ενδεχόμενο \bar{A} « όχι ατύχημα » με πιθανότητα $\bar{P}(A) = 1 - P(A) = 0,8$

Η ζητούμενη πιθανότητα μπορεί να υπολογιστεί μέσα από την διωνυμική διαδικασία καθώς θεωρείται ο κάθε πλους ως τυχαία μεταβλητή. Ο συνολικός αριθμός των τρόπων που μπορεί να γίνει ατύχημα σε n πλόες δίνεται από τον διωνυμικό συντελεστή C_s

³¹ Γ. Κοκολάκης, Ι. Σπηλιώτης, 'Εισαγωγή στη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστική' Εκδόσεις Συμεών

$$C_s = \binom{n}{s} = \frac{n!}{s!(n-s)!}$$

με s : αριθμός ατυχημάτων (s : 'επιτυχία')
και n : πλόες (n : 'πλήθος δοκιμών')

και η πιθανότητα να γίνουν s ατυχήματα σε n πλόες δίνεται από την σχέση

$$P_s = \binom{n}{s} \cdot p^s \cdot (1-p)^{n-s}$$

Έτσι αν S_1 : το ενδεχόμενο να πραγματοποιηθεί 1 ατύχημα σε 5 πλόες, τότε η ζητούμενη πιθανότητα μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση :

$$p(S_1) = \binom{5}{1} \cdot p^1 \cdot (1-p)^{5-1} \approx 0.4$$

Για τον υπολογισμό της πιθανότητας υπέρβασης P_f , δηλαδή για την πιθανότητα να πραγματοποιηθεί τουλάχιστον 1 ατύχημα, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία:

Με S_i : το ενδεχόμενο να πραγματοποιηθούν i ατυχήματα σε 5 πλόες

$$P_f = \sum_i^n p(S_i)$$

και

$$p(S_2) = \binom{5}{2} \cdot p^2 \cdot (1-p)^{5-2} \approx 0.2$$

$$p(S_3) = \binom{5}{3} \cdot p^3 \cdot (1-p)^{5-3} \approx 0.05$$

$$p(S_4) = \binom{5}{4} \cdot p^4 \cdot (1-p)^{5-4} \approx 6.4 \cdot 10^{-3}$$

$$p(S_5) = \binom{5}{5} \cdot p^5 \cdot (1-p)^{5-5} \approx 3.2 \cdot 10^{-4}$$

Τελικά

$$P_f = \sum_i^n p(S_i) = p(S_1) + p(S_2) + p(S_3) + p(S_4) + p(S_5) = 0.67$$

Χρησιμοποιώντας τον τύπο για τον υπολογισμό της πιθανότητας υπέρβασης με:

ενδεχόμενο \bar{A} « όχι ατύχημα » και:

$$\bar{P}(A) = 1 - P(A) = 0,8$$

Η πιθανότητα να συμβεί το γεγονός S « τουλάχιστον 1 ατύχημα σε 5 πλόες » είναι:

$$P(S) = 1 - \bar{P}(A)^{\text{αριθμός πλόων}} = 1 - 0,8^5 \approx 0,67$$

Συνεπώς για να υπολογιστεί η πιθανότητα, είναι απαραίτητο να συνυπολογιστούν και οι πλόες στις οποίες δεν πραγματοποιήθηκε ατύχημα.

Ουσιαστικά τα παραπάνω δείχνουν πως είναι δυνατό η πιθανότητα να εκφράζει πλήθος ατυχημάτων και όχι αναγκαία ένα ατύχημα. Η χρήση της πιθανότητας κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εκφράζει πλήθος ατυχημάτων είναι ουσιώδης για την χρήση τους σε καμπύλες $F-N$. Βέβαια σε αυτή την περίπτωση η καμπύλες αυτές απεικονίζουν επιφάνεια, με την τρίτη διάσταση να είναι ο άξονας του πλήθους των ατυχημάτων. Παρακάτω θα αναφερθούν περισσότερα για το θέμα αυτό.

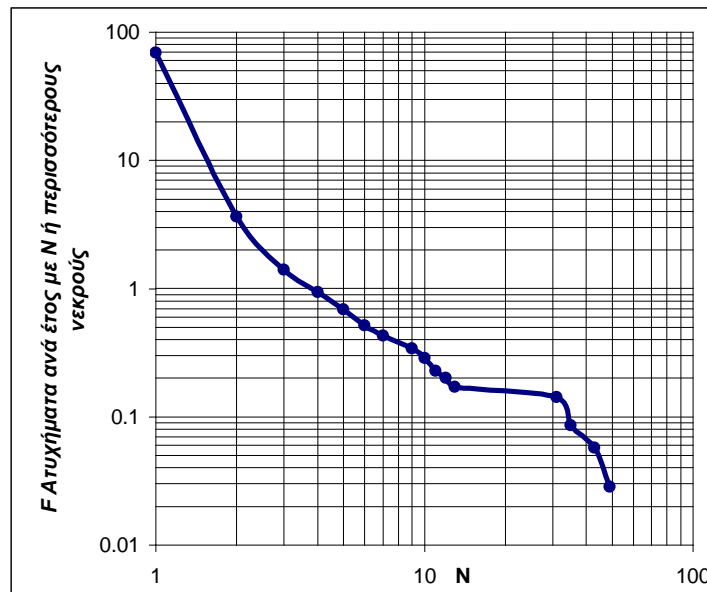
Έτσι ένα συχνό λάθος στην διαχείριση και ανάλυση ρίσκου των ναυτικών ατυχημάτων είναι να μην λαμβάνεται στον υπολογισμό της πιθανότητας ο ‘υγιής’ πληθυσμός των επιβατών, πλόων, κτλ.

Ανατρέχοντας στη βιβλιογραφία, η σύγχυση μεταξύ πιθανότητας και συχνότητας διαφαίνεται σε πληθώρα μελετών. Το κυριότερο λάθος είναι η εισαγωγή ορίων *Αποδοχής Ρίσκου* από πιθανοθεωρητικά μοντέλα σε καμπύλες $F-N$ που παρήχθησαν από στατιστικά στοιχεία. Η σύγκριση της συχνότητας με την πιθανότητα μπορεί να οδηγήσει ορισμένες φορές σε λανθασμένα αποτελέσματα. Για τη αποφυγή του παραπάνω προβλήματος συνίσταται η χρήση των συχνοτήτων για την προσέγγιση της πιθανότητας. Το πώς αναφέρεται αμέσως παρακάτω αλλά και στη παράγραφο 7.7.4.

Μια πρώτη γεύση του πώς η εφαρμογή «πιθανοτικών» ορίων σε «στατιστικές» $F-N$ μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα ακολουθεί στο παρακάτω παράδειγμα.

Θα γίνει αναφορά στα μεταφορικά ατυχήματα από τις σιδηροδρομικές μεταφορές στην Αγγλία όπως αυτά παρουσιάζονται στην μελέτη του *Health and Safety Executive (HSE)* από τον Evans με τίτλο : ‘*Andrew W. Evans, Transport fatal accidents and F-N curves: 1967-2001, Research Report 073, HSE BOOKS 2003*’. Αναλυτικότερη παρουσίαση του παραδείγματος ακολουθεί στο *Τεύχος Β, Κεφάλαιο 11 και 12* Προς το παρόν επικεντρώνουμε το ενδιαφέρον μας στη διάκριση πιθανότητας και συχνότητας.

Μετά από επεξεργασία των στατιστικών στοιχείων καταλήγει στην παρακάτω μορφή της καμπύλης $F-N$:

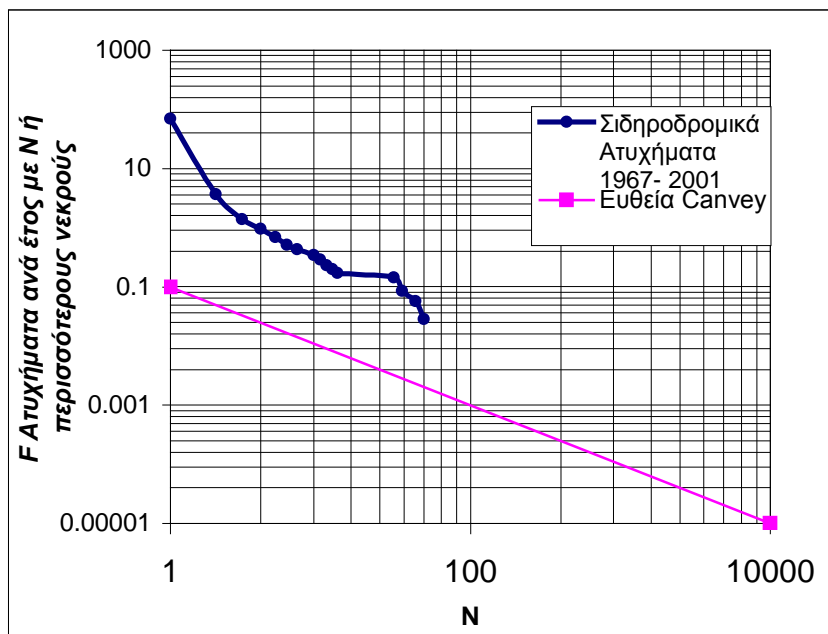


Σχήμα 12. Καμπύλη F-N σιδηροδρομικών ατυχημάτων στην Αγγλία (1967-2001)

με τον κατακόρυφο άξονα να εκφράζει την συχνότητα σε μονάδες $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{έτος}}$.

Έπειτα χρησιμοποιεί *κομβικά σημεία (anchor points)* για την παραγωγή των ορίων. Αναλυτικά στοιχεία τόσο για τα κομβικά σημεία, όσο και για την κλίση των ευθειών που προσδιορίζουν τα όρια αναφέρονται στο *Κεφάλαιο 11*. Τα παρακάτω σχήματα αναφέρονται και αυτά, στα κριτήρια αποδοχής ρίσκου, αλλά εδώ χρησιμοποιούνται για άλλο σκοπό.

Κατόπιν, χρησιμοποιώντας το κομβικό σημείο Canvey (Canvey point) και με κλίση -1 , ο HSE παράγει το εξής άνω όριο της ALARP περιοχής :



Σχήμα 13. Διάγραμμα F-N σιδηροδρομικών ατυχημάτων στην Αγγλία (1967-2001)

Να σημειωθεί ότι το σημείο Canvey ορίζεται ως $(1000, 10^{-4})$ και η χρήση του ως άνω όριο μας πληροφορεί ότι η πιθανότητα του να έχουμε 1000 ή περισσότερους νεκρούς πρέπει να είναι μικρότερη του 10^{-4} .

Ας γίνει σύγκριση των σημείων τομής της ευθείας και της καμπύλης με τον κατακόρυφο άξονα. Το σημείο (F_I, I) της καμπύλης μας πληροφορεί ότι τα ατυχήματα με 1 ή περισσότερους νεκρούς πραγματοποιούνται με συχνότητα $F_I = 68,9$ ατυχήματα ανά έτος. Αντίθετα το σημείο $F(I)$ της ευθείας- ορίου μας πληροφορεί ότι, πιθανότητα να γίνει ατύχημα με 1 ή περισσότερους νεκρούς μεγαλύτερη του 10^{-1} δεν είναι αποδεκτή.

Ωστόσο όπως ήδη έχει αναφερθεί, γενικά ισχύει ότι : $(\text{πιθανότητα}) \neq (\text{συχνότητα})$. Η πιθανότητα είναι ένα μέγεθος όπου εξ' ορισμού είναι μικρότερο της μονάδας κάτι που δεν ισχύει απαραίτητα για την συχνότητα. Έτσι η απαίτηση (κατά τον HSE), να πραγματοποιούνται θανατηφόρα ατυχήματα με συχνότητα μικρότερη του 0,1 ατυχήματα / έτος μοιάζει παράλογο ακόμη και σε σχέση με την πιο αισιόδοξη πρόβλεψη. Ουσιαστικά η απαίτηση του κριτηρίου είναι, η πιθανότητα (ανά εγκατάσταση³²) να πραγματοποιηθεί ατύχημα με 1 ή περισσότερους νεκρούς να είναι μικρότερη του 0.1 και όχι να πραγματοποιούνται λιγότερα από 0.1 ατυχήματα ανά έτος στο σύνολο των εγκαταστάσεων.

Τελικά δεν μπορούν να προκύψουν συμπεράσματα από τη σύγκριση ανόμοιων μεγεθών.

➔ Τρόποι αντιμετώπισης του παραπάνω προβλήματος

Στον τομέα διαχείρισης ρίσκου ναυτικών ατυχημάτων η κατάσταση περιπλέκεται ακόμη περισσότερο. Οι καμπύλες $F-N$, όπου απορρέουν από ανάλυση στατιστικών στοιχείων ναυτικών ατυχημάτων, απεικονίζουν παραδοσιακά την συχνότητα των ατυχημάτων, εκφρασμένη σε μονάδες :
$$\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{αριθμός πλοίων} \times \text{έτη}}$$

Ο παρανομαστής καθώς είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον αριθμητή μετατρέπει τις συχνότητες **αριθμητικά συγκρίσιμες** με τις αντίστοιχες πιθανότητες. Μπορούν όμως αυτές οι συχνότητες πράγματι να συγκριθούν με τις αντίστοιχες πιθανότητες;

Ας τεθεί το πρόβλημα στη βάση του. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι, η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ατύχημα με N ή περισσότερους νεκρούς ανά έτος έχει μονάδες $(\text{έτος})^{-1}$. Αντίθετα η συχνότητα των ατυχημάτων με N ή περισσότερους νεκρούς ανά έτος έχει μονάδες $(\text{ατυχήματα} / \text{έτος})$. Αυτό που απαιτείται λοιπόν είναι η **κανονικοποίηση** της συχνότητας ως προς τα ατυχήματα.

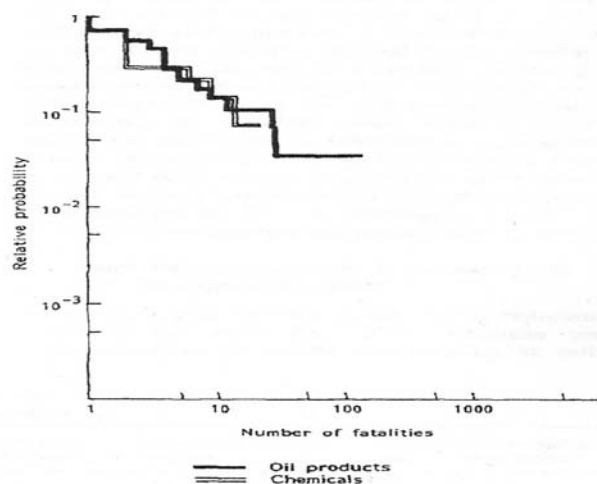
³² τον όρο «εγκατάσταση» επεξηγούμε στο Κεφάλαιο 11, εδώ θα έπρεπε να είναι μάλλον το ένα τρένο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Εκτίμηση ρίσκου- Κοινωνικό Ρίσκο

Σε πληθώρα μελετών, συναντάται η χρήση της **σχετικής συχνότητας**. Δηλαδή η διαίρεση των ατυχημάτων με N ή περισσότερους νεκρούς προς το συνολικό αριθμό ατυχημάτων. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται η κανονικοποίηση της συχνότητας. Χωρίς να αμφισβητείται η μαθηματική ορθότητα της παραπάνω έκφρασης η σχετική συχνότητα παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα.

Ας εξετασθεί, για παράδειγμα η μελέτη των H. Romer, L.Brockhoff, P.Haastrup, H.J. Styhr Petersen από το πολυτεχνείο της Κοπεγχάγης (DTU) με τίτλο: «*Marine transport of dangerous goods. Risk assesment based on historical accident data*»

Στη μελέτη αυτή παρουσιάζεται η παρακάτω καμπύλη F-N των ατυχημάτων από πλοία που μεταφέρουν πετρέλαιο ή χημικά για την χρονική περίοδο 1986-1991. Ο κατακόρυφος άξονας εκφράζει την **σχετική αθροιστική συχνότητα / πιθανότητα των ατυχημάτων**.



Σχήμα 14. Καμπύλη F-N ναυτικών ατυχημάτων πλοίων που μεταφέρουν πετρέλαιο ή χημικά (1986-1991)

Η «ανάγνωση» των σημείων της καμπύλης δίνει πληροφορίες για την συχνότητα / πιθανότητα να έχουμε N ή περισσότερους νεκρούς σε τέτοιου είδους ατυχήματα εφόσον ήδη έχει πραγματοποιηθεί θανατηφόρο ατύχημα. Κάτι που είναι τελείως διαφορετικό και λιγότερο ενδιαφέρον από την πιθανότητα να έχουμε ατύχημα με N ή περισσότερους νεκρούς. Δεν απεικονίζει την κατάσταση ρίσκου μιας δραστηριότητας αλλά την κατάσταση ρίσκου της δραστηριότητας αμέσως μετά το ατύχημα. Μειώνεται συνεπώς η χρησιμότητα της καμπύλης F-N ως δείκτη μέτρησης του κοινωνικού ρίσκου.

Επιπλέον το σημείο F_1 της καμπύλης απεικονίζεται στο σημείο (1,1). Απόλυτα αναμενόμενο αφού εκφράζει την πιθανότητα να γίνει ατύχημα με 1 ή περισσότερους νεκρούς εφόσον πραγματοποιήθηκε θανατηφόρο ατύχημα. Ουσιαστικά λοιπόν το σημείο αυτό δεν δίνει καμία πληροφορία.

Στην αντίθετη περίπτωση, το σημείο F_I εκφράζει τη πιθανότητα να έχουμε ατύχημα με 1 ή περισσότερους νεκρούς. Σε αυτή τη μορφή η F_I είναι μέγεθος ιδιαίτερα σημαντικό στην ανάλυση ρίσκου, και έχει ιδιαίτερο ρόλο στη θέσπιση *Κριτηρίων Αποδοχής Ρίσκου*.

Το κυριότερο όμως μειονέκτημα είναι, ότι υπερεκτιμά το ρίσκο καθώς η πιθανότητα να γίνει ατύχημα με N ή περισσότερους νεκρούς υπό την προϋπόθεση ότι πραγματοποιήθηκε ατύχημα είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ατύχημα με N ή περισσότερους νεκρούς. **Δεν συνίσταται** λοιπόν η χάραξη των ορίων για την αποδοχή του ρίσκου σε καμπύλες τέτοιας μορφής.

Συνεχίζοντας με το πρόβλημα κανονικοποίησης της συχνότητας, η εκτίμηση των γραφόντων είναι ότι αν θέλουμε να είμαστε ακριβείς και συνεπείς μαθηματικά, η συχνότητα πρέπει να εκφράζεται στη μορφή $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{διαδρομές}}$ ή εκφρασμένη σε ετήσια

$$\text{βάση } \frac{\text{ατυχήματα}}{\text{διαδρομές} \cdot \text{έτη}} .$$

Σε αυτή τη μορφή συνυπολογίζονται οι διαδρομές κατά τις οποίες δεν πραγματοποιήθηκε ατύχημα. Επιπλέον σε αυτή τη μορφή η συχνότητα προσεγγίζει την πιθανότητα αφού ένα ατύχημα πραγματοποιείται σε μια εκάστοτε διαδρομή και επιπλέον το σύνολο των διαδρομών με και χωρίς ατύχημα μας δίνει τον συνολικό αριθμό των διαδρομών.

Βέβαια μια τέτοια μορφή της συχνότητας απαιτεί τη χρήση στατιστικών στοιχείων που πιθανόν να μην είναι διαθέσιμα. Η ανάγκη αναγωγής σε βάση με διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία είναι αυτή που κατά πάσα πιθανότητα οδήγησε στην έκφραση

$$\text{της συχνότητας στη μορφή } \frac{\text{ατυχήματα}}{\text{αριθμός πλοίων} \times \text{έτη}} .$$

Πέρα ωστόσο και από τους πρακτικούς περιορισμούς που τίθενται στον υπολογισμό των συχνοτήτων ανά διαδρομή υπάρχουν και ουσιαστικότεροι λόγοι που καθιστούν αμφίβολη την ανάγκη για μια τέτοια αναγωγή.

Η κατάλληλη βάση αναγωγής των συχνοτήτων είναι ένα ζήτημα που έχει προκαλέσει πολύ μεγαλύτερη αντιπαράθεση απ' ό,τι θα φανταζόταν κάποιος. Η θεωρία της ομοιόστασης με την οποία θα ασχοληθούμε εκτενέστερα παρακάτω υποστηρίζει ότι ο τρόπος που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται το ρίσκο είναι **ανά μονάδα χρόνου**. Σύμφωνα με αυτήν, η αναγωγή της συχνότητας των ατυχημάτων σε κάποια βάση, όπως πχ. ανά απόσταση ή ανά επανάληψη κάποιας διαδικασίας, όχι μόνο μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα αλλά να αποδειχθεί και επικίνδυνη. Αυτό γιατί είναι δυνατόν να φαίνεται ότι έχουμε μείωση του ρίσκου, όταν στην πραγματικότητα αυτό μένει σταθερό ή και αυξάνεται³³. Αναλυτικά η θεωρία της ομοιόστασης αναφέρεται στο κεφάλαιο 5.

³³ Gerald J.S. Wilde, 'Target Risk 2, A new psychology of safety and health'

Η χρήση των ‘shipyears’ ως βάσης αναγωγής στη ναυτιλία φαίνεται πως βρίσκεται σε συμφωνία με τη θεωρία της ομοιόστασης. Συναντάμε ωστόσο και συχνότητες ανηγμένες ανά μίλι³⁴, χιλιομετρικούς επιβάτες³⁵ ή και «κρίσιμη διαδρομή⁷». Γενικά το γεγονός ότι δεν υπάρχει μια και μοναδική κοινά αποδεκτή βάση αναγωγής των συχνοτήτων, σημαίνει ότι θα πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί κατά τη σύγκριση στοιχείων για το ρίσκο όπως παρέχονται από τους διάφορους φορείς.

Αξίζει να σημειωθεί ότι με την εκλογή της βάσης αναγωγής προσδιορίζεται η κατάσταση ρίσκου της αντίστοιχης ‘δραστηριότητας’. Δηλαδή η συχνότητα της μορφής $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{διαδρομές}}$ προσδιορίζει την κατάσταση ρίσκου του εκάστοτε πλου.

Αντίστοιχα συχνότητα της μορφής $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{αριθμός πλοίων} \times \text{έτη}}$ προσδιορίζει την ετήσια κατάσταση ρίσκου σε ένα πλοίο. Η δραστηριότητα δηλαδή εδώ θεωρείται το πλοίο.

Για λόγους πληρότητας αναφέρεται εδώ ότι ενώ όλα τα παραπάνω μεγέθη δημιουργήθηκαν για να εκφράσουν την κατάσταση ρίσκου στην ναυτιλία, τα κριτήρια αποδοχής ρίσκου πρέπει να λαμβάνουν τον τρόπο με τον οποίο εκφράζεται η συχνότητα/ πιθανότητα. Είναι διαφορετικό δηλαδή να προσδιορίζεται η αποδεκτή πιθανότητα ατυχήματος ανά πλού, με την αποδεκτή πιθανότητα ατυχήματος σε πλοίο.

4.1.1.2.2 Μέσος όρος \bar{x} - (average)

Ουσιαστικά εκφράζει την μέση τιμή του δείγματος. Συνίσταται όμως ή χρήση του όρου ‘μέσος όρος’ για να αποφεύγεται η σύγχυση με την μέση τιμή. Δίνεται από την σχέση:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i$$

όπου :

N είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων
 x_i οι τιμές των παρατηρήσεων

Ο μέσος όρος \bar{x} μπορεί να πάρει πολλές μορφές, ανάλογα με το τι εκφράζει :

³⁴ IMO, ‘Sub Committee on Safety of Navigation, 51st Session, Passenger Ship Safety: Effective Voyage Planning for Passenger Ships’, 4th March 2005

³⁵ X. Κοντοβάς, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2004

όταν $\begin{pmatrix} x_i : \text{νεκροί} \\ N : \text{έτη} \end{pmatrix}$ εκφράζει το PLL του δείγματος αφού $\bar{x} = \text{νεκροί} / \text{έτος}$

όταν $\begin{pmatrix} x_i : \text{ατυχήματα} \\ N : \text{έτη} \end{pmatrix}$ εκφράζει τη συχνότητα των ατυχημάτων ανά έτος

όταν $\begin{pmatrix} x_i : \text{νεκροί} \\ N : \text{ατύχημα} \end{pmatrix}$ εκφράζει το *fatality ratio* αφού το μέγεθος αυτό δείχνει τον αναμενόμενο αριθμό νεκρών αν πραγματοποιηθεί ατύχημα.

Ο μέσος όρος \bar{x} είναι τυχαία μεταβλητή και απορρέει από τις εκάστοτε παρατηρήσεις, σε αντίθεση με την μέση τιμή μ που προσδιορίζεται από τις παραμέτρους της κατανομής.

Συνεπώς ισχύει γενικά :

$$\text{μέση τιμή } (\mu) \neq \text{μέσος όρος } (\bar{x})$$

4.1.1.2.3 Μέσος όρος τετραγώνων $\overline{x^2}$ (average of the squares)

Δίνεται από την σχέση:

$$\overline{x^2} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2$$

Ο μέσος όρος υψωμένος στο τετράγωνο $(\bar{x})^2$ συνεισφέρει στον υπολογισμό της $\overline{x^2}$. Είναι γενικά διαφορετικός από την διασπορά, αλλά η ποσότητα $\overline{x^2} - (\bar{x})^2$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της διασποράς $\text{Var} = \sigma^2$.

4.1.1.2.4 Ετήσια συχνότητα υπέρβασης – (Annual frequency of exceedance)

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η ετήσια συχνότητα υπέρβασης αναφέρεται στο πόσες φορές το χρόνο ένα γεγονός αναμένεται να υπερβεί μια δεδομένη κατάσταση.

4.1.2 Κατασκευή καμπυλών $F-N$

Για τη δημιουργία μιας καμπύλης $F-N$, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

- Αρχικά προσδιορίζουμε τον αριθμό των νεκρών που προκύπτουν από ένα Ατύχημα, είτε αναλύοντας τα στατιστικά στοιχεία και καταγράφοντας των αριθμό των νεκρών ανά ατύχημα είτε αν δεν υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία ως,

$$N_i = P_i \cdot P_{d|i} \cdot \Pi \longrightarrow N_i = IR_i \cdot \Pi$$

όπου,

N_i ο αριθμός των νεκρών από το ατύχημα i

IR_i το ατομικό ρίσκο ως αποτέλεσμα του γεγονότος i

P_i η πιθανότητα του να συμβεί το ατύχημα i

$P_{d|i}$ η πιθανότητα το γεγονός i να οδηγήσει σε τουλάχιστον 1 θάνατο και Π ο συνολικός αριθμός των ατόμων που εκτίθενται σε ρίσκο

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε την αθροιστική συχνότητα όλων των ατυχημάτων που έδωσαν N ή περισσότερους νεκρούς. Η μεταβλητή N συνήθως λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[1, N_u]$, όπου N_u ο μέγιστος αριθμός νεκρών που μπορεί να έχουμε ως αποτέλεσμα ενός ατυχήματος. Ωστόσο το γεγονός ότι στο συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας, τόσο οι καμπύλες $F-N$ όσο και τα όρια που τις περιορίζουν είναι συνεχείς γραμμές, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μαθηματικά ορθότερη θα ήταν η χρήση του διαστήματος $(0, \infty)$. Αυτό μπορεί να φαίνεται να φαίνεται παράλογο, καθώς δεν είναι δυνατόν να προκύψει σε ατύχημα μη ακέραιος αριθμός νεκρών, ωστόσο κατά την πιθανοτική ανάλυση κάποιας δραστηριότητας είναι δυνατόν να συμβαίνει.

Για παράδειγμα έστω ότι η πιθανότητα ατυχήματος για το πλοίο X είναι $3 \cdot 10^{-4}$ ανά διαδρομή και ότι η πιθανότητα για κάθε επιβάτη να σκοτωθεί εξ αιτίας του ατυχήματος είναι $2 \cdot 10^{-3}$ ανά ατύχημα, ενώ το πλοίο μεταφέρει 2000 επιβάτες ανά δρομολόγιο. Τότε με βάση τα παραπάνω δεδομένα ο αριθμός των νεκρών θα είναι,

$$N_i = P_i \cdot P_{d|i} \cdot \Pi = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 2000 = 1,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{νεκροί}}{\text{δρομολόγιο}}$$

Επιστρέφοντας στον υπολογισμό της αθροιστικής συχνότητας F_N θα είναι,

θεωρώντας τον αριθμό των νεκρών N διακριτή μεταβλητή

$$F_N = \sum_i^N f_i \quad \text{για όλα τα ατυχήματα που έδωσαν } N_i \geq N$$

ενώ για N συνεχή,

$$F_N = \int_i^N f_i \text{ για όλα τα ατυχήματα που έδωσαν } N_i \geq N$$

Σε περίπτωση που η χάραξη της καμπύλης βασίζεται σε στατιστικά δεδομένα ο αριθμός των νεκρών σε κάθε ατύχημα είναι γνωστός. Απαιτείται λοιπόν μόνο ο υπολογισμός της αθροιστικής συχνότητας F_N από τις αντίστοιχες συχνότητες f_N .

- Τέλος με βάση τα παραπάνω στοιχεία σχηματίζουμε την καμπύλη $F - N$ τοποθετώντας στον κατακόρυφο άξονα τις αθροιστικές συχνότητες F_N και στον οριζόντιο των αριθμό των νεκρών N .

Αξίζει να αναφερθούμε στην ανισότητα,

$$F_N \geq F_{N+1}$$

η οποία αποτελεί άμεση συνέπεια του γεγονότος ότι οι F_N είναι αθροιστικές συχνότητες.

Από ένα διάγραμμα $F-N$ είναι δυνατόν ακόμα να υπολογίσουμε τη συχνότητα να έχουμε ατύχημα με ακριβώς N νεκρούς.

Αυτό ως εξής,

$$f_N = F_N - F_{N+1}$$

όπου συμβολίσαμε τη συχνότητα f_N σε αντιδιαστολή προς τις αθροιστικές συχνότητες τις οποίες συμβολίζουμε με κεφαλαίο F_N .

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η παρακάτω σχέση,

$$f_N = F_1 \cdot P_N$$

η οποία υπολογίζει την f_N ως το γινόμενο της συχνότητας να έχουμε ατύχημα με 1 ή περισσότερους νεκρούς F_1 , επί την πιθανότητα το ατύχημα να δώσει ακριβώς N νεκρούς P_N . Παρότι η παραπάνω σχέση είναι αρκετά προφανής το ενδιαφέρον της έγκειται στη σύνδεση που πραγματοποιεί μεταξύ της συχνότητας f_N και της αθροιστικής F_1 .

Η τελευταία είναι ουσιαστικά το σημείο τομής της καμπύλης $F-N$ με τον κατακόρυφο άξονα. Εκφράζει την ετήσια ολική συχνότητα / πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ατύχημα με 1 ή περισσότερους νεκρούς.

Εναλλακτικά όταν η συχνότητα είναι στη μορφή $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{αριθμός πλοίων} \times \text{έτη}}$ εκφράζει

την ετήσια ολική συχνότητα / πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ατύχημα με 1 ή περισσότερους νεκρούς σε ένα πλοίο. Όπως θα δούμε και παρακάτω, η F_1 έχει ιδιαίτερο ρόλο στη θέσπιση *Κριτηρίων Αποδοχής Ρίσκου*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Εκτίμηση ρίσκου- Κοινωνικό Ρίσκο

Γενικά όσο χαμηλότερα εντοπίζεται η καμπύλη $F-N$ σε ένα $F-N$ διάγραμμα τόσο πιο ασφαλής είναι η δραστηριότητα αυτή. Και αυτό εξηγείται από την σχετική θέση των σημείων F_i αφού όσο πιο χαμηλά είναι, τόσο μικρότερη είναι και η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ατύχημα.

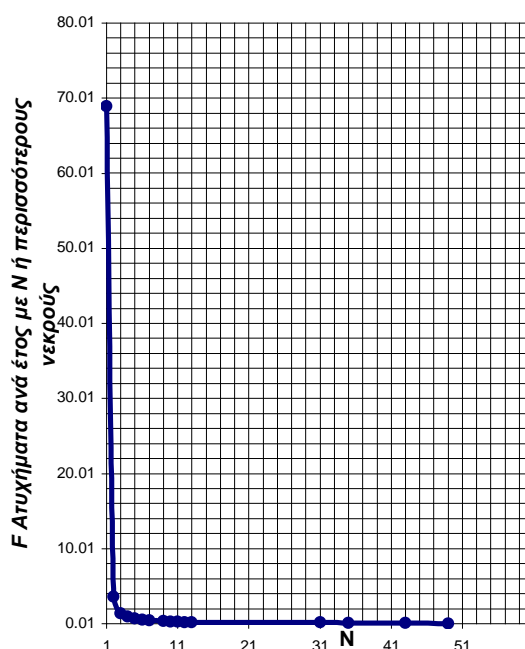
Τέλος εάν μας είναι γνωστές οι συχνότητες ατυχήματος με ακριβώς N νεκρούς είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την αθροιστική F_N , ως το άθροισμα των συχνοτήτων ατυχήματος με ακριβώς $N, N+1, N+2 \dots N_{max}$ νεκρούς,

$$F_N = \sum_N^{N_{max}} f_N$$

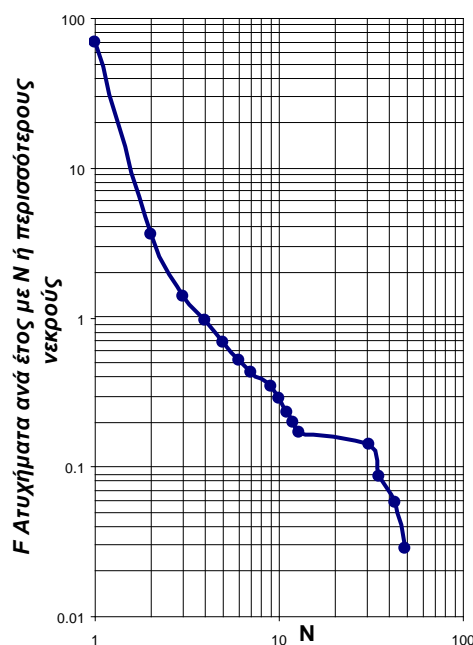
Αυτή η αθροιστική συχνότητα παρουσιάζεται γραφικά σε λογαριθμική – λογαριθμική κλίμακα. Αυτό γίνεται για να απεικονιστούν καλύτερα οι μεταβολές του κοινωνικού ρίσκου, αφού μπορεί να έχουν διαφορές αρκετών τάξεων μεγέθους.

Αν και δεν αναφέρεται πουθενά στην διεθνή βιβλιογραφία, η προσωπική εκτίμηση των γραφόντων είναι ότι, η επιλογή του 10 ως βάσης του λογαρίθμου, και όχι μιας οποιασδήποτε άλλης βάσης (όπως ο νεπέριος λογάριθμος), έγινε με το σκεπτικό ότι μια αξιοσημείωτη μεταβολή στον υπολογισμό του κοινωνικού ρίσκου γίνεται ανά μια τάξη μεγέθους, κάθε φορά.

Για να δειχθούν τα παραπάνω παρατίθενται δύο όμοιες καμπύλες $F-N$ όπου η πρώτη δεν απεικονίζεται σε λογαριθμική – λογαριθμική κλίμακα.



Σχήμα 15. Καμπύλη $F-N$ σε καρτεσιανές συντεταγμένες



Σχήμα 16. Καμπύλη $F-N$ σε λογαριθμική – λογαριθμική κλίμακα

Τονίζεται ότι τα σημεία σε λογαριθμικές κλίμακες απεικονίζονται στις θέσεις (F_N, N) και όχι στις θέσεις $(\log(F_N), \log N)$. Τα σημεία δηλαδή έχουν τις ίδιες θέσεις ανεξαρτήτως συστήματος.

4.1.2.1 Ποιες είναι οι μονάδες του κατακόρυφου άξονα και πώς μπορούν να εκφραστούν.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, ο κατακόρυφος άξονας εκφράζει τη συχνότητα/πιθανότητα να γίνει ατύχημα με N ή περισσότερους νεκρούς. Τονίζεται εδώ ότι ο αριθμός των ατυχημάτων δεν πρέπει να συγχέεται με τον αριθμό των νεκρών.

Κατά τον υπολογισμό του κοινωνικού ρίσκου μας ενδιαφέρει η πιθανότητα να έχουμε *ατύχημα* N ή παραπάνω νεκρών, επικεντρώνοντας στο κάθε *γεγονός* και όχι απλά στον *αριθμό νεκρών*. Αυτό σημαίνει ότι το F θα απαντάται σε μονάδες όπως *ατυχήματα / έτος*, *ατυχήματα / δρομολόγιο*, *ατυχήματα / χιλιομετρική απόσταση*, *ατυχήματα / σύνολο επιβατών* κλπ.

Η συνηθέστερη μορφή της συχνότητας που συναντάται στην ανάλυση ναυτικών ατυχημάτων είναι σε μονάδες $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{αριθμός πλοίων} \times \text{έτη}}$ αν και στις περισσότερες εφαρμογές, εκφράζεται ως αριθμός ατυχημάτων / έτος. Η ορθολογικότητα των παραπάνω εκφράσεων έχει ήδη αναφερθεί σε ένα βαθμό. Ενώ όμως η συχνότητα στη μορφή $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{αριθμός πλοίων}}$ εκφράζουν την αναγωγή της δραστηριότητας σε ένα πλοίο, συχνότητες της μορφής *ατυχήματα / χιλιομετρική απόσταση* δεν εκφράζουν τίποτα παραπάνω από ένα ποσοστό.

Παράλληλα ανάλογα με την έκφραση της συχνότητας αλλάζει η σχετική θέση των F_N στην καμπύλη αυτή. Το σχήμα της καμπύλης όμως παραμένει σταθερό. Δηλαδή η καμπύλη $F-N$ μετατοπίζεται μόνο κατά τον κατακόρυφο άξονα. Η εικόνα του ρίσκου παραμένει σταθερή. Προσοχή χρειάζεται στην ανάγνωση των συχνοτήτων στην μορφή απόλυτων αριθμών ως προς το τι εκφράζουν, τόσο για την ορθή ανάγνωση αλλά και για την δημιουργία κριτηρίων.

Αυτό όπως συζητήσαμε οφείλεται τόσο στο γεγονός ότι η εύρεση στατιστικών στοιχείων όπως το πλήθος των δρομολογίων, των διαδρομών κλπ, μπορεί να αποδειχτεί εξαιρετικά δυσχερές, όσο και σε λόγους ουσίας (βλ. θεωρία ομοιόστασης).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο όρος ‘ατύχημα’ στην ανάλυση των ναυτικών ατυχημάτων εμπεριέχει τις εξής κατηγορίες ατυχημάτων³⁶ με πλοία :

- Σύγκρουση
- Προσάραξη
- Πρόσκρουση
- Εισροή υδάτων
- Πυρκαγιά / έκρηξη
- Αστοχία γάστρας / μηχανικού εξοπλισμού
- Βύθιση
- Διάφορα άλλα ατυχήματα

Έτσι, μια ανάλυση είναι δυνατό να επικεντρωθεί σε ένα συγκεκριμένος είδος ατυχήματος (π.χ. προσαράξεις), αντί για το σύνολο των ατυχημάτων.

4.1.2.2 Ποιες είναι οι μονάδες του οριζόντιου άξονα και πως μπορούν να εκφραστούν.

Ο οριζόντιος άξονας στις καμπύλες αυτές εκφράζει τις συνέπειες. Τα ναυτικά ατυχήματα μπορούν να έχουν πολλαπλές συνέπειες, απ’ τις οποίες μόνο μερικές μπορούν να εκφραστούν με διαφανή και αντικειμενικό τρόπο σε χρηματικές μονάδες. Οι συνέπειες μπορεί να εμπεριέχουν ανθρώπινες απώλειες, τραυματισμούς, ζημιά σε περιουσίες και ζημιά ως προς το περιβάλλον.

Αν και οι συνέπειες συνήθως εκφράζουν αρνητικές επιπτώσεις, μερικές φορές μπορεί και να εμπεριέχουν θετικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα η επιβολή ενός μέτρου μπορεί να έχει θετικές συνέπειες, όπως μείωση ρίσκου, περιβαλλοντολογικό κέρδος κτλ.

Το θέμα είναι πως αυτές μπορούν να αξιολογηθούν και μετρηθούν. Οι σύγχρονες μελέτες εξακολουθούν να πραγματεύονται το πως μπορούν να καταταχθούν και να αξιολογηθούν με σαφήνεια οι παραπάνω συνέπειες. Παρόλα αυτά η ανάλυση ρίσκου και οι αποφάσεις απλοποιούνται, σε μεγάλο βαθμό, αν μετρηθούν οι παραπάνω συνέπειες σε κοινή βάση. Για τον παραπάνω λόγο, είναι συχνά χρήσιμο να χρησιμοποιούμε κοινή βάση στην οποία έχουμε διαθέσιμα στοιχεία.

Έτσι ο αριθμός των νεκρών σε ένα πολύνεκρο ναυτικό ατύχημα μπορεί να εκφράσει ικανοποιητικά το μέγεθος των επιπτώσεων σε κοινωνικό επίπεδο. Κυρίως όμως, έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να μετρηθεί ευκολότερα από ότι το οικονομικό μέγεθος της ζημιάς ή τον κοινωνικό αντίκτυπο.

Σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό της μελέτης αποτίμησης ρίσκου λαμβάνει η απόφαση στο πως θα εκτιμηθεί το ρίσκο. Έτσι εκτός από την αποτίμηση των συνεπειών σε

³⁶ S.Kristiansen, ‘Maritime Transportation – Safety Management and Risk Analysis’, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005

μορφή ανθρώπινων απωλειών και η αντίστοιχη παραγωγή καμπυλών F-N, είναι δυνατή η παραγωγή αντίστοιχων καμπυλών με τον οριζόντιο άξονα να εκφράζει διαφορετική μορφή συνεπειών. Τα ναυτικά ατυχήματα, κατά κύριο λόγο, μπορούν να οδηγήσουν σε τρεις διαφορετικές συνέπειες, οι οποίες απεικονίζονται γραφικά με όμοιο τρόπο εκείνων των καμπυλών F-N :

4.1.2.2.1 Ανθρώπινες απώλειες και τραυματισμοί (καμπύλες F-N)

Το κοινωνικό ρίσκο, όπως ήδη έχει αναφερθεί απεικονίζεται γραφικά στην μορφή της καμπύλης F-N. Ο οριζόντιος άξονας εκφράζεται στη μορφή ανθρώπινων απωλειών. Ο τραυματισμοί μετατρέπονται σε ισοδύναμες απώλειες. Χρησιμοποιήθηκε πρώτα από τον Farmer³⁷ και εφαρμόστηκε πρώτα σε μελέτη αποτίμησης ρίσκου στην πυρηνική βιομηχανία.³⁸

Ο τύπος της καμπύλης δίνεται από την σχέση :

$$1 - G_N(X) = F_N(X) = P(N > X) = \int_x^{+\infty} f_N(x) \cdot dx$$

4.1.2.2.2 Οικονομική απώλεια (καμπύλες F-D)

Εκτός από τις ανθρώπινες απώλειες σε μια συγκεκριμένη δραστηριότητα, το οικονομικό ρίσκο έχει σημαντικό ρόλο σε μια ανάλυση ρίσκου. Έτσι ο οριζόντιος άξονας είναι δυνατόν να εκφράζει χρηματικές μονάδες. Απεικονίζεται στην μορφή καμπυλών F-D κατά όμοιο τρόπο με αυτόν των καμπυλών F-N. Οι καμπύλες F-D εκφράζουν την πιθανότητα υπέρβασης της συνάρτησης οικονομικής ‘απώλειας’.³⁹ Προτάθηκε πρώτα από τον S. N. Jonkman το 2003. Ο τύπος της καμπύλης απορρέει από την σππ της οικονομικής ζημίας. Έτσι :

$$1 - G_D(X) = F_D(X) = P(D > X) = \int_x^{+\infty} f_D(x) \cdot dx$$

4.1.2.2.3 Περιβαλλοντική μόλυνση (καμπύλες F-T)

Μια άλλη εναλλακτική μορφή είναι όταν ο οριζόντιος άξονας εκφράζει το χρόνο που χρειάζεται από το οικοσύστημα για να επανέλθει στην αρχική κατάσταση πριν από την περιβαλλοντολογική μόλυνση. Χρησιμοποιήθηκε πρώτα στο τομέα των

³⁷ Farmer FR, 1967

³⁸ H.W. Kendall et al, 1977

³⁹ S. N. Jonkman et al, 2003

Νορβηγικών offshore κατασκευών.⁴⁰ Ο τύπος της καμπύλης δίνεται κατά όμοιο τρόπο από την σχέση :

$$1 - G_T(X) = F_T(X) = P(T > X) = \int_X^{+\infty} f_T(x) \cdot dx$$

Ουσιαστικά η μόνη διαφορά, στον τρόπο χάραξης των καμπυλών $F-D$ και $F-T$ έγκειται στον τρόπο προσδιορισμού και υπολογισμού των σππ $f_D(x)$ και $f_T(x)$ των αντίστοιχων καμπυλών.

4.1.2.3 Κατασκευή καμπυλών $F-N$ βασισμένες σε βάσεις από ιστορικά ατυχημάτων

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, τα στατιστικά στοιχεία είναι τα πιο αξιόπιστα στοιχεία σε μια ποσοτική ανάλυση ρίσκου (QRA), καθώς τα στοιχεία αυτά είναι αμερόληπτα. Παρόλα αυτά τα ιστορικά από ατυχήματα εμπεριέχουν λάθη. Μερικά από αυτά μπορεί να προέλθουν από παρερμηνεία των πληροφοριών, λανθασμένη κατηγοριοποίηση των ατυχημάτων αναφορικά με τον τύπο του πλοίου ή τις συνέπειες κτλ. Το κυριότερο όμως είναι, η μη καταγραφή ατυχημάτων, λάθος το οποίο εμφανίζεται συνήθως σε χώρες όπου δεν έχουν κουλτούρα πρόληψης ατυχημάτων ή οφείλεται σε ελλιπή οργάνωση των αντίστοιχων φορέων.⁴¹

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την κατασκευή των καμπυλών αυτών είναι ιδιαίτερα απαιτητικά. Οι συνήθεις στατιστικές βάσεις συλλέγουν στοιχεία όπως, τον συνολικό αριθμό των νεκρών ή τον συνολικό αριθμό θανατηφόρων ατυχημάτων, τα οποία είναι και ανεπαρκή για το δεδομένο σκοπό. Κάποιος πρέπει να γνωρίζει τον ακριβή αριθμό ανθρώπινων απωλειών σε κάθε ατύχημα καθώς και το σύνολο των ατυχημάτων αυτών, σε μια δεδομένη χρονική περίοδο για την κατασκευή των καμπυλών αυτών. Επιπλέον επειδή τα ατυχήματα μεγάλης κλίμακας έχουν ιδιαίτερα χαμηλές συχνότητες απαιτείται η αναγωγή σε βάσεις μεγάλων χρονικών περιόδων για την ορθή απεικόνιση μιας τέτοιας ευαίσθητης ανάλυσης.

Επίσης χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή όταν χρησιμοποιούνται παρελθόντα στατιστικά στοιχεία στο παρόν. Πολλές δραστηριότητες μεταβάλλονται με το χρόνο και είναι δυνατόν να μεταβάλλουν τις συχνότητες των ατυχημάτων. Μερικές αλλαγές οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την συχνότητα των ανεπιθύμητων γεγονότων με την πάροδο του χρόνου αναφέρονται παρακάτω :

- Μεγαλύτερα και ταχύτερα πλοία
- Βελτίωση συστημάτων πλοήγησης

⁴⁰ NORSOK, 1998

⁴¹ 16th International Ship And Offshore Structures Congress, 2006

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Εκτίμηση ρίσκου- Κοινωνικό Ρίσκο

- Μετατροπή των tanker μονών τοιχωμάτων σε tanker διπλών τοιχωμάτων
- Μεγαλύτερος στόλος⁴²

Τα πλεονεκτήματα του υπολογισμού της συχνότητας με χρήση ιστορικών δεδομένων ναυτικών ατυχημάτων αλλά και γενικότερα μιας *QRA* ανάλυσης είναι :

- Συμβαίνουν στην πραγματικότητα. Οι εκτιμήσεις συχνοτήτων προέρχονται από την έως τώρα εμπειρία των ναυτικών ατυχημάτων.
- Θεωρείται η πιο αντικειμενική προσέγγιση ανάλυση της συχνότητας. Οποιαδήποτε άλλη προσέγγιση θεωρείται ότι περιορίζεται από χρήση δεδομένων σεναρίων.
- Ιστορικές συχνότητες είναι σχετικά εύκολες στην κατανόηση και μπορούν να συγκριθούν με θεωρητικά μοντέλα (π.χ. δένδρα σφαλμάτων)
- Τα γεγονότα των ατυχημάτων εμπεριέχουν και τις συνέπειες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για μια αξιόπιστη ανάλυση συνεπειών όπου να βασίζεται σε πραγματικά γεγονότα.

Τα μειονεκτήματα συνοψίζονται στα :

- Δεν εμπεριέχεται η προοπτική ατυχημάτων που δεν έχουν πραγματοποιηθεί ακόμη.
- Ατυχήματα που πραγματοποιήθηκαν μπορεί να μην έχουν καταγραφεί, υποεκτιμώντας έτσι τις αντίστοιχες συχνότητες.
- Στατιστική από μια γεωγραφική περιοχή μπορεί να μην αντιπροσωπεύει επαρκώς μια άλλη περιοχή
- Στις βάσεις αυτές καταγράφονται τα ατυχήματα. Σπάνια όμως καταγράφονται μεγέθη μέτρησης της έκθεσης στο κίνδυνο όπως για παράδειγμα ο αριθμός των πλοίων ή τα αντίστοιχα δρομολόγια.
- Οι δραστηριότητες οι οποίες καταγράφονται, μεταβάλλονται με το χρόνο και είναι δυνατόν να μεταβάλλουν τις συχνότητες των ατυχημάτων.
- Είναι δύσκολο να εκφράσουν την συνεισφορά ορισμένων παραγόντων (π.χ ανθρώπινα λάθη). Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητη η χρήση μεθόδων όπως : δένδρα σφαλμάτων, *Human Reliability Analysis (HRA)*

Παρ' όλους τους παραπάνω περιορισμούς η εμπειρία από ιστορικά γεγονότα είναι η βάση για τις περισσότερες μεθόδους ανάλυσης ρίσκου. Η χρήση άλλων μεθόδων συναντάται όταν δεν υπάρχει η σχετική ιστορική εμπειρία των ατυχημάτων.⁴³

⁴² Friis-Hansen et al 2004

⁴³ Health and Safety Executive, 'Marine risk assessment, OFFSHORE TECHNOLOGY REPORT' 2001/063

4.1.2.3.1 Βάσεις δεδομένων ναυτικών ατυχημάτων

Εκτός από την γνωστή βάση δεδομένων του IMO μερικοί ναυτιλιακοί οργανισμοί δημιούργησαν και διατηρούν δικές τους βάσεις ναυτικών ατυχημάτων. Ενδεικτικά μερικές από αυτές είναι :

- **(MAIB)** *The United Kingdom Ministry of Transport, Marine Accident Investigation Bureau*
- *The Transportation Safety Board of Canada*
- **(USCG)** *The United States Coast Guard*
- **(MAIA)** *Japan's Maritime Accident Inquiry Agency*
- **(EMSA)** *European Maritime Safety Agency*
- **(AMSA)** *Australian Maritime Safety Authority*
- **(ABS)** *American Bureau of Shipping*
- **(REMPEC)** *Regional Marine Pollution Emergency Response Center For The Mediterranean Sea*

4.2 Άλλα μέτρα αποτίμησης Κοινωνικού Ρίσκου

Οι καμπύλες *F-N* αποτελούν αδιαφιλονίκητα το κύριο εργαλείο στην αποτίμηση του Κοινωνικού Ρίσκου παρέχοντας δύο ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα,

- ✓ Μια οπτική απεικόνιση της κατάστασης της δραστηριότητας από την άποψη της ασφάλειας.
- ✓ Άμεση εποπτεία των στατιστικών στοιχείων ή των επιμέρους πιθανοτήτων που χαρακτηρίζουν την ατυχηματική συμπεριφορά της δραστηριότητας.

Έχουν ωστόσο προταθεί κατά καιρούς και μια σειρά από άλλα μεγέθη για τη μέτρηση του κοινωνικού ρίσκου, που φιλοδοξούν να συμπυκνώσουν την κατάσταση σε έναν και μόνο αριθμό. Αυτό θα καθιστούσε την επικοινωνία του ρίσκου με το κοινό και τους άμεσα ενδιαφερόμενους ευχερέστερη, ενώ είναι εξαιρετικά χρήσιμο στην περίπτωση που θέλουμε να κάνουμε συγκρίσεις μεταξύ των επιπέδων ασφαλείας διαφορετικών δραστηριοτήτων ή και τις ίδιας δραστηριότητας σε διαφορετικές στιγμές.

Παρόλα αυτά η συνολική κατάσταση κοινωνικού ρίσκου δεν μπορεί να αποτυπωθεί απλά με έναν αριθμό. Βάση αυτής της λογικής τα διαγράμματα *F-N* αποτελούν το κύριο εργαλείο αποτίμησης του κοινωνικού ρίσκου με την έννοια ότι μια καμπύλη παρέχει περισσότερες πληροφορίες από ένα σημείο. Στα κεφάλαια 7 και 8 αναφέρεται ότι στην πραγματικότητα η συνολική κατάσταση κοινωνικού ρίσκου δεν μπορεί να αποτυπωθεί από μια μοναδική καμπύλη *F-N* αλλά από ένα νέφος καμπυλών *F-N*. Βασιζόμενοι στη παραπάνω λογική μια απεικόνιση νέφους καμπυλών παρέχει όχι μόνο παραπάνω πληροφορίες αλλά είναι και μαθηματικά ορθότερη. Όπως αναφέρεται και στα κεφάλαια αυτά, μια τέτοια μορφή απεικόνισης

δίνει την δυνατότητα εισαγωγής του μεγέθους της αβεβαιότητας στις καμπύλες αυτές.

Στα επόμενα παρουσιάζονται τα βασικά μέτρα αποτίμησης Κοινωνικού Ρίσκου τα οποία συναντήσαμε στη διεθνή βιβλιογραφία.

4.2.1 Αναμενόμενος Αριθμός Νεκρών (*Potential Loss of Life, PLL*)

Στα προηγούμενα αναφερθήκαμε στο *PLL* ως χαρακτηριστικό μέγεθος που προκύπτει από τις καμπύλες *F-N* ως το εμβαδόν της καμπύλης αυτής. Δηλαδή:

$$PLL = \int_x^{N_u} F_N \cdot dN$$

Εδώ θα μας απασχολήσει ευρύτερα ως μέγεθος ανεξάρτητο από την *F-N* της δραστηριότητας.

4.2.1.1 Γενικός Ορισμός

Ο απλούστερος είναι να το αποδώσουμε ως,

$$PLL = \frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Μονάδα Χρόνου}}$$

Έτσι στην πράξη και όταν έχουμε επαρκή στατιστικά στοιχεία, αρκεί για κάποια δραστηριότητα να βρούμε τον αριθμό θανάτων σε κάποιο χρονικό διάστημα και ως αποτέλεσμα αυτής της δραστηριότητας, και στη συνέχεια να τον διαιρέσουμε με το χρονικό διάστημα. Οι μονάδες του *PLL* μπορεί να είναι τελικά Αριθμός Θανάτων ανα Έτος ή ανά κύκλο ζωής ενός μηχανήματος κλπ. Στη Ναυτιλία πολύ συχνά το συναντάμε ως Αριθμό Θανάτων ανά Shipyears ($\frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Αριθμός Πλοίων} \times \text{Έτη}}$).

4.2.1.2 Επεκτάσεις του Γενικού Ορισμού

Οι Kaneko et al ακολουθούν μια σχετικά διαφορετική πορεία. Παρουσιάζουν το *PLL* ως,

$$PLL = \text{πιθανότητα ατυχήματος} \times \text{λόγος θανάτων ανα ατύχημα}$$

Όμως εκφράζοντας την πιθανότητα ατυχήματος ως, $\frac{\text{Αριθμός Ατυχημάτων}}{\text{Μονάδα Χρόνου}}$ και τον λόγο θανάτων ανα ατύχημα ως, $\frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Αριθμός Ατυχημάτων}}$ έχουμε τελικά,

$$PLL = \frac{\text{Αριθμός Ατυχημάτων}}{\text{Μονάδα Χρόνου}} \times \frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Αριθμός Ατυχημάτων}} = \frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Μονάδα Χρόνου}}$$

Είναι συνεπώς φανερό ότι γυρίσαμε και πάλι στον αρχικό ορισμό του *PLL*. Ωστόσο η προσπάθεια αυτή έχει σημασία για δύο κυρίως λόγους.

Κατ' αρχάς σε σχέση με τον αρχικό ορισμό του *PLL* δίνει την ευκαιρία για μια γενικότερη μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος. Έτσι το μέγεθος $\frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Μονάδα Χρόνου}}$ αναλύεται σε δύο συνιστώσες τις οποίες μπορούμε πλέον να αναλύσουμε πιθανοθεωρητικά ώστε να τους δώσουμε τιμές που μπορεί να βασίζονται τόσο σε ιστορικά στοιχεία όσο και σε πιθανότητες (ιδιαίτερα χρήσιμο για την πρόβλεψη της μελλοντικής πορείας του μεγέθους).

Σε δεύτερο επίπεδο, ο παραπάνω ορισμός του *PLL* εισάγει ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον μέγεθος μέτρησης του ρίσκου, το *λόγο θανάτων προς ατυχήματα*⁴⁴. Αυτό αποτελεί κατά κάποιο τρόπο δείκτη του « πόσο ασφαλές είναι να έχουμε ατύχημα ». Με λίγα λόγια μας πληροφορεί, από τη στιγμή που το ατύχημα θα συμβεί, τι τίμημα θα έχει σε ανθρώπινες ζωές. Σε μια ρασιοναλιστική μελέτη οφείλει να είναι επίσης και δείκτης της προθυμίας μας να αποτρέψουμε το ατύχημα (για παράδειγμα αν για μια δραστηριότητα προέκυπτε $F.R.=100$, μια συχνότητα της τάξης του 0,1 ατυχήματος ανά έτος θα ήταν, ίσως, ήδη υπερβολικά υψηλή).

Μια ακόμα ισοδύναμη πρόταση βρίσκουμε στους Ball και Floyd, οι οποίοι μας δίνουν τη σχέση,

$$PLL = IR \cdot \Pi$$

όπου,

Π ο συνολικός πληθυσμός που βρίσκεται αντιμέτωπος με τον κίνδυνο.

Η σχέση αυτή μας δίνει ξανά,

$$PLL = \frac{\text{πιθανότητα για ένα άτομο να πεθάνει}}{\text{μονάδα χρόνου}} \times \text{πληθυσμός} = \frac{\text{Αριθμός Θανάτων}}{\text{Μονάδα Χρόνου}}$$

⁴⁴ Μτφρ. του όρου 'fatality ratio', χρησιμοποιούμε και τη συντομογραφία *F.R.*

Η σημασία της έγκειται στο γεγονός ότι εισάγει στον υπολογισμό του PLL το *Ατομικό Ρίσκο*, πραγματοποιώντας έτσι και μια πρώτη σύνδεση μεταξύ *Ατομικού* και *Κοινωνικού Ρίσκου*.

4.2.1.3 Συνολικά

Όπως και αν αποφασίσουμε τελικά να το εκφράσουμε (είτε ως αποτέλεσμα επεξεργασίας της $F-N$ είτε χρησιμοποιώντας τον ορισμό του όπως κάναμε εδώ), το *PLL* αποτελεί σίγουρα ένα από τα πιο χρήσιμα και ευρέως χρησιμοποιούμενα μέτρα αποτίμησης κοινωνικού ρίσκου.

Το γεγονός ότι μας πληροφορεί τον αριθμό των νεκρών εξαιτίας κάποιας δραστηριότητας μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα, είναι πολύ σημαντικό τόσο όσον αφορά στην αποτίμηση του ρίσκου που προκύπτει από τη δραστηριότητα όσο και στη θέσπιση ενός άνω ορίου γι αυτό το ρίσκο. Το άνω όριο αυτό δεν θα είναι παρά ο ανώτατος επιτρεπτός αριθμός νεκρών εξ αιτίας κάποιας δραστηριότητας και σε κάποια προαποφασισμένο χρονικό διάστημα. Με τη δημιουργία *Κριτηρίων Αποδοχής Ρίσκου* και την χρησιμοποίηση του *PLL* γι' αυτό το σκοπό, θα ασχοληθούμε εκτενώς στο *τεύχος Β*.

4.2.2 Rate of Death (ROD)

Ο Hendershot προτείνει ως δείκτη *Κοινωνικού Ρίσκου* το *Rate of Death*, ROD ⁴⁵. Η σχέση που τον υπολογίζει είναι η ακόλουθη,

$$ROD = \sum_1^n f_i \cdot N_i,$$

όπου,

f_i η πιθανότητα να συμβεί το ατύχημα i

N_i ο αριθμός των νεκρών εξαιτίας του ατυχήματος i

Παρατηρώντας την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι τελικά το *ROD* δίνεται ως αριθμός νεκρών ανά έτος και ότι ταυτίζεται με το *PLL*. Μάλιστα η παραπάνω διατύπωση ταυτίζεται με αυτή των Kaneko et al.

Επειδή όμως είναι $N_i = P_{fi} \cdot \Pi$ (με P_{fi} να είναι η πιθανότητα το ατύχημα i να δώσει 1 ή περισσότερους νεκρούς), η σχέση για το *ROD* γίνεται,

⁴⁵ Δεν καταφέραμε να βρούμε δόκιμη μετάφραση, στο εξής θα χρησιμοποιούμε το ακρωνύμιο *ROD*.

$$ROD = \sum_1^n f_i \cdot N_i = \sum_1^n f_i \cdot P_{f_i} \cdot \Pi \xrightarrow{\sum f_i \cdot P_{f_i} = F_1} ROD = F_1 \cdot \Pi$$

και κατά συνέπεια το *ROD* προκύπτει ως το γινόμενο του μεγέθους του πληθυσμού σε κίνδυνο επί την συχνότητα ατυχήματος με 1 ή περισσότερους νεκρούς. Παρ' ότι ο *ROD* δείχνει να ταυτίζεται με το *PLL* (έχουν εξάλλου κοινές μονάδες μέτρησης), με μια πιο προσεκτική παρατήρηση τα πράγματα δεν είναι έτσι. Έχουμε ήδη αναφερθεί στην ανάλυση του Vrijling για το *PLL* ο οποίος το υπολογίζει ως,

$$PLL = \int x \cdot f_N(x) dx = E(N)$$

Παρατηρώντας τον τύπου του *ROD*, η ομοιότητα φαίνεται προφανής, ωστόσο ενώ στη σχέση του Vrijling η συχνότητα f_N είναι « η συχνότητα εμφάνισης ατυχήματος με N νεκρούς », ο Hendershot χρησιμοποιεί την συχνότητα f_i του να έχουμε γενικά ατύχημα.

4.2.3 Δείκτης Επικεντρωμένου Ρίσκου (Aggregate Risk Index, *ARI*)

Ταυτίζεται ουσιαστικά με το *ROD*. Η διαφορά του συνίσταται στο ότι είναι σαφώς επικεντρωμένο σε μια εντελώς συγκεκριμένη μονάδα του πληθυσμού.

Μαθηματικά εκφράζεται πάλι ως.

$$ARI = \sum_1^n f_i \cdot P_{f_i} \cdot \Pi$$

με τη διαφορά ότι τα f_i , P_i , Π , εδώ αφορούν πολύ συγκεκριμένα σε εκείνη την ομάδα του πληθυσμού που συγκεντρώνει το ενδιαφέρον μας. Έτσι για παράδειγμα ενώ το *ROD*, θα αποτελούσε δείκτη ρίσκου των μεταφορών στο Αιγαίο το *ARI* θα είναι δείκτης ρίσκου για ένα συγκεκριμένο πλοίο. Για να είναι ξεκάθαρη αυτή η διάκριση διατηρούμε και την ονομασία *ARI*.

4.2.4 Δείκτης Ισοδύναμου Κοινωνικού Κόστους (Equivalent Social Cost Index, *ESC*)

Ο Hendershot πρότεινε κι έναν ακόμα δείκτη, το *ESC*, με τον οποίο θέλησε να συμπεριλάβει στην έννοια του *ROD* την αποστροφή της κοινωνίας προς ατυχήματα με μεγάλους αριθμούς νεκρών. Έχουμε έτσι την παρακάτω σχέση,

$$ESC = \sum_1^n f_i \cdot N_i^k$$

όπου ο δείκτης κ χρησιμοποιείται ώστε να δώσει βαρύτητα στον αριθμό των νεκρών N (μεγάλα N οδηγούν σε δυσανάλογη αύξηση του ESC).

Συνολικά για τους δείκτες που προτείνει ο Hendershot δεν μπορεί παρά να αναφερθεί κανείς στην εκπληκτική εξωτερική ομοιότητα που εμφανίζουν σε σχέση με πιο κλασσικούς δείκτες ρίσκου, όπως το PLL (αλλά τις συναρτήσεις μη- χρησιμότητας στις οποίες θα αναφερθούμε στο κεφάλαιο 11). Αυτό δημιουργεί αμφιβολίες ως προς το αν η συχνότητα f_i ηθελημένα λαμβάνεται ως « συχνότητα ατυχήματος » γενικά και όχι ως « συχνότητα ατυχήματος με N νεκρούς » πιο συγκεκριμένα. Παρ' ότι η άποψη των συγγραφέων του παρόντος κειμένου είναι, ότι πρόκειται απλά για λάθος (και όχι για νέα άποψη), αυτό είναι περισσότερο διαίσθηση παρά τεκμηριωμένο συμπέρασμα και κατά συνέπεια εμμένουμε στους ορισμούς που δίνει ο Hendershot.

Έχει μάλιστα ενδιαφέρον το γεγονός ότι τελικά το ζήτημα καταλήγει στον τρόπο που επιλέγεται να οριστεί η σ.π.π.. Σε γενικές γραμμές ο κάθε συγγραφέας έχει το δικαίωμα να την ορίσει όπως ο ίδιος θέλει, αρκεί στη συνέχεια να παραμένει συνεπής με τον ορισμό του.

4.2.5 Risk Integral

Από τον HSE έχει προταθεί ακόμα ο δείκτης *Risk Integral* τον οποίο υπολογίζουμε βάσει της σχέσης (Ball και Floyd),

$$RI = \int F_N \cdot NdN$$

όπου κατά τα γνωστά,

N ο αριθμός θανάτων

F_N η πιθανότητα να έχουμε ατύχημα με N ή περισσότερους νεκρούς

Στο RI αναφερθήκαμε και προηγουμένως κατά την παρουσίαση των καμπυλών $F-N$ ενώ δείξαμε ότι το μεγάλο του πλεονέκτημα έγκειται στο γεγονός ότι αν και δεν είναι προφανές συμπεριλαμβάνει την τυπική απόκλιση της σ.π.π. της δραστηριότητας που μας ενδιαφέρει, αφού είναι,

$$RI = \int_0^{+\infty} N \cdot f(N) \cdot dN = \frac{1}{2} \cdot (Var(N) + E^2(N))$$

Βέβαια όπως ήδη έχει αναφερθεί, το πρόβλημα με το δείκτη RI είναι ότι έχει μονάδες $\{(νεκρούς)^2 / \acute{\epsilon}τος\}$, το οποίο το κάνει δύσχρηστο σαν μέγεθος αφού δεν είναι φανερό το τι εκφράζει η παραπάνω μονάδα μέτρησης

Στο κεφάλαιο 11 θα δούμε ότι ουσιαστικά το γινόμενο $f_N \times N$ αποτελεί ειδική έκφραση μιας ολόκληρης ομάδας συναρτήσεων μη χρησιμότητας.

4.2.6 Scaled Risk Integral

Το 1995 ο Carter πρότεινε έναν ακόμα δείκτη, το *SRI* (*Scaled Risk Integral*), το οποίο όρισε ως εξής,

$$SRI = IR \cdot n \cdot \frac{(n+1)}{2} \cdot \frac{P_{occ}}{A}$$

όπου,

IR το Ατομικό Ρίσκο εκφρασμένο ως πιθανότητα ανά εκατομμύριο ανά έτος
n ο αριθμός των ανθρώπων που απειλούνται από τον κίνδυνο

P_{occ} δείκτης πληθυσμιακής πυκνότητας

A έκταση της περιοχής

Η μέγιστη αποδεκτή τιμή του *SRI* έχει προταθεί να είναι 1100 (όταν το ρίσκο αφορά σε θάνατο, για το ρίσκο έκθεσης σε κάποια επιβλαβή ουσία ή ενέργεια η μέγιστη τιμή του δείκτη είναι 2500).

Ο δείκτης *SRI* (*Scaled Risk Integral*) λαμβάνει στον υπολογισμό του τόσο τα επίπεδα ατομικού ρίσκου καθώς και τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Πρέπει να τονιστεί όμως ότι το μέγεθος *SRI* δεν είναι αδιάστατο. Οι μονάδες του *SRI* είναι :

$$SRI = \frac{\text{άνθρωποι} + (\text{άνθρωποι})^2}{\text{μονάδα επιφάνειας} \times 10^6 \times \text{έτος}}$$

Για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν και για τον δείκτη *Risk Integral*, το πρόβλημα με το δείκτη *SRI* είναι ότι οι μονάδες στην παραπάνω μορφή κάνουν το δείκτη δύσχρηστο σαν μέγεθος αφού δεν είναι φανερό το τι εκφράζει η παραπάνω μονάδα μέτρησης. Κατά συνέπεια, το *SRI*, ως δείκτης μέτρησης του κοινωνικού ρίσκου δεν γίνεται εύκολα κατανοητός από τα μέλη της κοινωνίας, με αποτέλεσμα να αδυνατεί να απεικονίσει επαρκώς και με σαφήνεια την εκάστοτε κατάσταση ρίσκου.

Από τον ίδιο του τον ορισμό παρατηρούμε ότι το *SRI* βρίσκει εφαρμογή σε μελέτες πολεοδομικού σχεδιασμού, και συγκεκριμένο στην αξιολόγηση ρίσκου για περιοχές που συνορεύουν με εγκαταστάσεις υψηλής επικινδυνότητας.

Έστω λοιπόν ότι μελετάται η δυνατότητα ανάπτυξης οικισμού γύρω από εργοστάσιο παραγωγής χημικών και έστω ότι έχουμε τα εξής στοιχεία.

IR= 0,8 ($\times 10^{-6}$ ανά έτος), το Ατομικό Ρίσκο που διατρέχει κάποιος κάτοικος της περιοχής λόγω του εργοστασίου

n= 150, ο αριθμός των κατοίκων

P_{occ}= 1, η υπόθεσή μας για τον δείκτη πληθυσμιακής πυκνότητας

A= 2,4, βασιζόμενοι στην υπόθεση μέσης πληθυσμιακής πυκνότητας 62,5 κατοίκων ανά εκτάριο

Αντικαθιστώντας στη σχέση για το *SRI*,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Εκτίμηση ρίσκου- Κοινωνικό Ρίσκο

$$SRI = IR \cdot n \cdot \frac{(n+1)}{2} \cdot \frac{P_{occ}}{A} = 0,8 \cdot 150 \cdot \frac{150+1}{2} \cdot \frac{1}{2,4} = 3775$$

Παρατηρούμε ότι το *SRI* προκύπτει απαράδεκτα υψηλό για τον οικισμό μας παρά το γεγονός ότι το *Ατομικό Ρίσκο*, που θεωρήσαμε δεν θα μας « υποψιάζε » για υψηλά επίπεδα ρίσκου.

Ας δούμε τι θα γινόταν αν αποφασίζαμε να προχωρήσουμε στην ανέγερση του οικισμού μεγαλώνοντας όμως την έκταση του στα 10 εκτάρια (με λίγα λόγια μειώσαμε την πληθυσμιακή πυκνότητα στους 15 κατοίκους ανά εκτάριο, αντι για 65 όπως είχαμε πριν).

Το καινούριο *SRI* θα είναι,

$$SRI = IR \cdot n \cdot \frac{(n+1)}{2} \cdot \frac{P_{occ}}{A} = 0,8 \cdot 150 \cdot \frac{150+1}{2} \cdot \frac{1}{10} = 906$$

Το οποίο αντιπροσωπεύει το αποδεκτό επίπεδο ρίσκου.

Κεφάλαιο 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιόστασης

5.1 Υποκειμενικό ρίσκο

Με τον όρο υποκειμενικό ρίσκο αποδίδεται ο όρος “*perceived risk*”, όπως τον συναντάμε στη διεθνή βιβλιογραφία της *Ανάλυσης Ρίσκου*. Με τη χρήση του συγκεκριμένου όρου υπονοείται ότι πέρα από την τεχνική «απόλυτη» εκτίμηση του ρίσκου, κάθε άτομο ξεχωριστά το αντιλαμβάνεται διαφορετικά.

Κάθε άνθρωπος μπορεί να αντιλαμβάνεται το ίδιο «απόλυτο» ρίσκο με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το πώς επηρεάζεται από ένα πλήθος παραγόντων που έχει να κάνει με,

- Το κατά πόσο συμμετέχει εθελοντικά ή υποχρεωτικά στη δραστηριότητα που αποτελεί την πηγή του ρίσκου. Σε γενικές γραμμές τα άτομα είναι πρόθυμα να αποδεχθούν μεγαλύτερα επίπεδα ρίσκου αν αισθάνονται ότι το κάνουν με τη θέληση τους και όχι επειδή τους επιβάλλεται.
- Το βαθμό στον οποίο μπορεί να έχει έλεγχο πάνω στο συγκεκριμένο ρίσκο. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να θεωρεί την οδήγηση σε παγωμένο οδόστρωμα, όμως να θεωρεί απαράδεκτα υψηλό το ρίσκο για τη δημόσια υγεία από τους ρύπους των καυσαερίων των αυτοκινήτων. Στην πρώτη περίπτωση αισθάνεται ότι έχει τον έλεγχο της κατάστασης γνωρίζοντας τις οδηγικές του ικανότητες, στη δεύτερη ότι του επιβάλλεται ένα ρίσκο για το οποίο λίγα μπορεί να κάνει για να ελέγξει.
- Το αν προσδοκά σε κάποιο όφελος από τη δραστηριότητα ή όχι. Έτσι για τον εργάτη που κάνει αμμοβολές το υψηλό ρίσκο για την υγεία του ενδεχομένως εξισορροπείται από ένα σχετικά υψηλό μισθό. Ωστόσο ο εργάτης από το ελασματοουργείο που πληρώνεται ως ελασματοουργός δεν έχει κανένα λόγο να εισπνέει τα σωματίδια που προκύπτουν από την αμμοβολή.
- Την εξοικείωση του με τη δραστηριότητα. Υπάρχει η άποψη ότι γενικά το κοινό είναι έτοιμο να αποδεχθεί μεγαλύτερα επίπεδα ρίσκου αν νοιώθει ότι «γνωρίζει» καλά μια δραστηριότητα. Για παράδειγμα ρίσκο που θα θεωρούταν αποδεκτό στις σιδηροδρομικές μεταφορές ίσως είναι πολύ υψηλό για την πυρηνική βιομηχανία, με την οποία το κοινό δεν έχει την ίδια εξοικείωση.
- Τον τρόπο εμπλοκής του στην όλη διαδικασία της *Ανάλυσης Ρίσκου*. Είναι πλέον κοινά αποδεκτό ότι οι ειδικοί που έχουν συμβουλευτικό ρόλο σε Αναλύσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιότητας

Ρίσκου έχουν γενικά και διαφορετική αντίληψη γι αυτό σε σχέση με τον «απλό» πολίτη⁴⁶.

- Χαρακτηριστικά που έχουν να κάνουν καθαρά με τον χαρακτήρα του κάθε ατόμου και το πώς αντιλαμβάνεται το ρίσκο στην καθημερινότητα του (ό,τι και να αναγράφεται στα πακέτα των τσιγάρων κάποιοι θα επιλέγουν να καπνίσουν και αυτό δεν μπορεί να παραγνωριστεί ως συνειδητή επιλογή).

Βέβαια αυτοί δεν είναι οι μόνοι παράγοντες που καθορίζουν τη στάση κάποιου απέναντι στο ρίσκο, είναι ωστόσο ενδεικτικοί του πόσο διαφορετικά μπορεί να βλέπουν το ίδιο «απόλυτο» ρίσκο διαφορετικά άτομα.

Στα επόμενα θα προσπαθήσουμε να διερευνήσουμε τα εργαλεία που έχουμε στη διάθεση μας για τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση του υποκειμενικού ρίσκου αλλά και τις αλλαγές μπορεί να επιφέρει η εισαγωγή του στην *Ανάλυση Ρίσκου*.

5.1.1 Μια πρώτη προσέγγιση

Ορίζουμε αρχικά την νέα ποσότητα «υποκειμενικό ρίσκο» και τη συμβολίζουμε ως, r_{per} . Αυτή θα αντιπροσωπεύει το μέγεθος του ρίσκου όπως το αντιλαμβάνεται το κάθε άτομο ξεχωριστά ή, επειδή ποτέ δεν θα μπορέσουμε να εξασφαλίσουμε την γνώμη του κάθε ανθρώπου προσωπικά, το ρίσκο όπως το αντιλαμβάνεται η κοινωνία, δηλαδή ο μέσος όρος των ατόμων.

Αυτή η καινούρια μορφή του ρίσκου υποθέτουμε τώρα δεν θα είναι εντελώς ρηξικέλευθη αλλά θα εμφανίζει κάποια σχέση αναλογίας με το «απόλυτο» ρίσκο. Προκειμένου να μην υπάρχει καμία σύγχυση με το υποκειμενικό, εδώ θα το ονομάζουμε, r_{eff} . Επιστρέφοντας στην αναλογία που θα πρέπει να υπάρχει μεταξύ υποκειμενικού και «απόλυτου» αντιλαμβανόμαστε ότι στην πραγματικότητα αναζητούμε μια σχέση της μορφής,

$$r_{per\ i} = \sum_j W_{ji} \cdot r_{eff\ i}$$

όπου $r_{per\ i}$ το υποκειμενικό ρίσκο εξαιτίας της δραστηριότητας i

W_{ji} η επίδραση του παράγοντα j στην αντίληψη της κοινωνίας για το ρίσκο i

r_{eff} το απόλυτο ρίσκο από τη δραστηριότητα i

⁴⁶ Fischhof, Th. Plattner et al

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιότητας

Η τιμή του W_i είναι συνάρτηση των παραγόντων που αναφέραμε προηγούμενα και τελικά έχει ως αποτέλεσμα να είναι,

$$\sum_j W_{ji} < 1 \longrightarrow r_{per_i} < r_{eff_i}$$

$$\sum_j W_{ji} = 1 \longrightarrow r_{per_i} = r_{eff_i}$$

$$\sum_j W_{ji} > 1 \longrightarrow r_{per_i} > r_{eff_i}$$

Για παράδειγμα, σε συμφωνία με αυτό που είπαμε παραπάνω, ότι ο άνθρωπος τείνει να θεωρεί ένα ρίσκο αποδεκτό, ανάλογα με το βαθμό κατά τον οποίο συμμετέχει στη δραστηριότητα εθελοντικά, αν για τη δραστηριότητα i ο «βαθμός εθελοντισμού» είναι υψηλός θα είναι,

$$W_{\text{βαθμός εθελοντισμού}, i} < 1$$

ενώ αν είναι και ο μοναδικός παράγοντας που έχει επίδραση στον προσδιορισμό του υποκειμενικού ρίσκου θα είναι,

$$r_{per_i} < r_{eff_i}$$

Δηλαδή η κοινωνία αντιλαμβάνεται ρίσκο μικρότερο από το «πραγματικό» για τη δραστηριότητα i εφ' όσον αυτή είναι σε μεγάλο βαθμό εθελοντική.

Ωστόσο τα παραπάνω δεν είναι και πάλι ιδιαίτερα διαφωτιστικά. Πλέον έχουμε μια σαφή εικόνα του προβλήματος από ποιοτική άποψη, κανένα όμως στοιχείο για την ποσοτικοποίηση του.

Για παράδειγμα ποια θα πρέπει να είναι η τιμή του $W_{j,i}$ σε κάθε περίπτωση; Είδαμε ότι για δραστηριότητες σε μεγάλο βαθμό εθελοντικές θα είναι $W_{\text{βαθμός εθελοντισμού}, i} < 1$, όμως αυτό δεν μας λέει αν θα είναι, $W_{\beta, \epsilon, i} = 0,99$ ή $W_{\beta, \epsilon, i} = 0,099$.

Επίσης, σε περίπτωση που δεν έχουμε μόνο έναν παράγοντα (πχ. εθελοντισμός) αλλά περισσότερους, ποιος είναι ο βαθμός που συμμετέχει ο κάθε ένας στον υπολογισμό του $\sum_j W_{j,i}$;

Έστω λοιπόν ότι κάποιος αποφασίζει να μετακομίσει δίπλα σε ένα εργοστάσιο χημικών εξ' αιτίας των φθηνών ενοικίων που επικρατούν στην περιοχή. Η απόφαση του αυτή είναι σε μεγάλο βαθμό εθελοντική, όμως ταυτόχρονα ο έλεγχος που έχει πάνω στην κατάσταση σχεδόν ανύπαρκτος, αφού σε περίπτωση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιότητας

ατυχήματος δεν θα μπορεί να κάνει πολλά για να αποφύγει τις συνέπειες. Έτσι ο παράγοντας «βαθμός εθελοντισμού» τείνει να μειώσει το «απόλυτο ρίσκο» ενώ ο παράγοντας «έλεγχος της κατάστασης» τείνει να το αυξήσει.

Μια αρκετά καλή προσέγγιση των παραπάνω ερωτήσεων επιχειρούν οι Plattner et al και θα την παρουσιάσουμε στα αμέσως επόμενα.

5.1.2 Μαθηματική Μοντελοποίηση

Αρχικά οι Plattner et al χρησιμοποιούν για το υποκειμενικό ρίσκο έναν ορισμό πολύ κοντά στα όσα και εμείς είπαμε νωρίτερα. Ορίζουν,

$$r_{per} = f(r_{eff}, bias)$$

που σημαίνει απλά ότι το υποκειμενικό ρίσκο θα είναι συνάρτηση του «απόλυτου» και της προδιάθεσης του ατόμου ή της κοινωνικής ομάδας απέναντι στο ρίσκο ή τη δραστηριότητα.

Καθώς το απόλυτο ρίσκο θεωρείται γνωστό και ίσο με,

$$r_{eff} = p_{eff} \cdot c_{eff}$$

από τον κλασσικό ορισμό του, το υποκειμενικό ρίσκο θα είναι,

$$r_{perc} = r_{eff} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (paf_i \cdot a_i)}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

όπου,

$paf_i \in [0.5, 2]$ ⁴⁷, είναι η τιμή που αποδίδεται στον παράγοντα i

$a_i \in [0, 1]$, η βαρύτητα που έχει ο παράγοντας i στον υπολογισμό του υποκειμενικού ρίσκου

n η ποσότητα των συνολικών παραγόντων paf που επηρεάζουν τον υπολογισμό του υποκειμενικού ρίσκου

⁴⁷ συντομογραφία του *Perception Affecting Factors*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιότητας

Ως εκ της σχέσης προκύπτει,

Για $raf_i > 1$ η τιμή του υποκειμενικού ρίσκου είναι μεγαλύτερη από αυτή του αντικειμενικού

Για $raf_i < 1$ η τιμή του υποκειμενικού ρίσκου προκύπτει μικρότερη από την αντίστοιχη του αντικειμενικού.

Για $raf_i = 0$ εκφράζει ουδέτερη σχέση μεταξύ αντικειμενικού και υποκειμενικού ρίσκου

Για $raf_i = 2$ το υποκειμενικό ρίσκο αποκτά διπλάσια τιμή σε σχέση με το αντικειμενικό

Για $raf_i = 0.5$ το υποκειμενικό ρίσκο έχει τη μισή τιμή του αντικειμενικού.

Επιστρέφοντας στο παράδειγμα της προηγούμενης παραγράφου, έστω ότι για το «βαθμό εθελοντισμού» και την «δυνατότητα ελέγχου του ρίσκου», ο κάτοικος ερωτηθείς δίνει τις ακόλουθες τιμές,

$$raf_{\text{βαθμός εθελοντισμού}} = 0,5$$

$$raf_{\text{έλεγχος κατάσταση}} = 1,5$$

ενώ οι σχετικές βαρύτητες του κάθε παράγοντα είναι,

$$a_{\text{βαθμός εθελοντισμού}} = 0,6$$

$$a_{\text{έλεγχος κατάσταση}} = 0,4$$

Με δεδομένο το «απόλυτο» ρίσκο, r_{eff} , το υποκειμενικό ρίσκο θα είναι,

$$r_{per} = r_{eff} \cdot \frac{0,5 \cdot 0,6 + 1,5 \cdot 0,4}{0,6 + 0,4} = 0,9 \cdot r_{eff}$$

Αποτέλεσμα που αντανακλά την αυξημένη βαρύτητα που παίζει για τον συγκεκριμένο κάτοικο το γεγονός ότι αποδέχεται το ρίσκο με τη θέληση του.

Ωστόσο και πάλι, μπορεί να έχουμε μια πιο περιγραφική σχέση για το υποκειμενικό ρίσκο και ένα πεδίο ορισμού για τις τιμές που μπορούν να πάρουν

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιότητας

οι παράγοντες επιρροής καθώς και οι σχετικές τους βαρύτητες, αλλά για τις συγκεκριμένες τιμές που θα λαμβάνουν δεν έχουμε κανένα στοιχείο.

Στα επόμενα εξετάζεται η μεθοδολογία για τον προσδιορισμό των ακριβών τιμών των ποσοτήτων που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του *υποκειμενικού* ρίσκου.

5.1.3 Υπολογισμός των raf_i και α_i

Εάν μιλάμε για *υποκειμενικό* ρίσκο τότε δεν θα ήταν παράλογο να πούμε πως προκειμένου να καταλήξουμε σε συγκεκριμένες τιμές για τα raf_i και α_i θα έπρεπε να ρωτήσουμε κάθε άτομο ξεχωριστά για το ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντίληψη του για το ρίσκο, πώς το επηρεάζουν, την βαρύτητα που έχει ο καθένας απ' αυτούς και στη συνέχεια να υπολογίσουμε το *υποκειμενικό* ρίσκο για το άτομο με βάση τις απαντήσεις του. Ένας μέσος όρος των *υποκειμενικών* ρίσκων για όλα τα άτομα μιας κοινωνίας θα έδινε την υποκειμενική αντίληψη της κοινωνίας για το ρίσκο.

Ωστόσο τα παραπάνω είναι μάλλον πρακτικά ανεφάρμοστα και ακόμα και αν υπήρχε τρόπος να πραγματοποιηθούν ίσως να μην έβγαζαν και απόλυτα «σωστά» αποτελέσματα. Πάνω στο τελευταίο παραπέμπουμε στον Fischhof⁴⁸ και στα όσα αναφέρει για τη σημασία προσδιορισμού του σωστού δείγματος ατόμων αλλά και τις σωστής κατάρτισης ερωτηματολογίων και το ρόλο που οφείλουν να παίξουν στη διαδικασία οι ειδικοί. Εμείς κρατάμε ότι το να ερωτηθεί κάθε μέλος ενός πληθυσμού για τη συμπεριφορά του απέναντι σε ένα συγκεκριμένο ρίσκο ανέφικτο αλλά πιθανότατα και λάθος.

Οι Plattner et al ακολουθούν την εξής πορεία.

Αρχικά μια ομάδα από ειδικούς μετά από συζητήσεις κατέληξε στους εννέα σημαντικότερους παράγοντες που κατά τη γνώμη τους επηρεάζουν τη στάση του κοινού έναντι του ρίσκου. Πρέπει να σημειώσουμε ότι οι Plattner et al όταν φτιάχνουν το μοντέλο έχουν στο μυαλό τους ένα συγκεκριμένο πρόβλημα οικιστικής φύσης που έχει να κάνει με μια συγκεκριμένη περιοχή στη Γερμανία και την ευαισθησία της σε πλημμύρες. Γι' αυτό οι παράγοντες αυτοί έχουν ως σκοπό να εξυπηρετήσουν την περιγραφή του συγκεκριμένου προβλήματος και όχι όλων των προβλημάτων ρίσκου. Παρ' όλα αυτά θεωρούμε ότι οι περισσότεροι από αυτούς είναι αντιπροσωπευτικοί και κάποιους απ' αυτούς αναφέραμε κ εμείς στην αρχή του κεφαλαίου.

⁴⁸ Fischhof, *Acceptable Risk: A conceptual Proposal*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιότητας

Ακολουθούν οι εννέα παράγοντες (*raf*) που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη έρευνα,

- Η πιθανότητα θανάτου από κάποιο κίνδυνο όπως την αντιλαμβάνεται ένα άτομο.
- Το κατά πόσο το άτομο αισθάνεται ότι έχει επιστημονική γνώση του συγκεκριμένου ρίσκου.
- Η εξοικείωση του ατόμου με το συγκεκριμένο ρίσκο (είναι παλιό ή καινούριο;).
- Το συναίσθημα του φόβου που προκαλεί το συγκεκριμένο ρίσκο.
- Η δυνατότητα του ατόμου να επηρεάσει το ρίσκο.
- Η συχνότητα να ξανασυμβεί το γεγονός που προκαλεί το ρίσκο, όπως την αντιλαμβάνεται ένα άτομο.
- Η προβλεψιμότητα του γεγονότος.
- Η προσδοκώμενη μελλοντική μείωση ή αύξηση του ρίσκου σε επίπεδο συχνότητας γεγονότων αλλά και συνεπειών.
- Η προθυμία μετοίκησης σε μια επικίνδυνη περιοχή με δεδομένο το γεγονός ότι προσφέρει καλύτερες συνθήκες διαβίωσης.

Μετά από αυτό οι ειδικοί κλήθηκαν να βαθμολογήσουν κάθε παράγοντα και τη βαρύτητα του με βάση τα πεδία ορισμού που θέσαμε νωρίτερα.

Κατόπιν οι παράγοντες τέθηκαν σε «απλούς» ανθρώπους με τη μορφή ερωτηματολογίων⁴⁹. Οι απαντήσεις ήταν τις μορφής «καθόλου», «λίγο», «μέτρια», «πολύ» και «πάρα πολύ» και μεταφράζονταν κατάλληλα στην κλίμακα [0, 2]. Με κατάλληλη ανάλυση⁵⁰ προέκυψαν και τα a_i .

Τέλος υπολογίστηκε το προκύπτον υποκειμενικό ρίσκο με χρήση

- ✓ των *raf* και a_i στα οποία κατέληξαν οι ειδικοί.
- ✓ των *raf* και a_i στα οποία κατέληξε η έρευνα μεταξύ «απλών» ανθρώπων.

Σημειώνουμε ότι μεταξύ των δύο ρίσκων παρατηρήθηκε αρκετά σημαντική διαφοροποίηση κάτι που αντανακλά και τη διάφορα στην αντίληψη του ρίσκου μεταξύ ειδικών και κοινωνίας.

⁴⁹ Στην πραγματικότητα απλουστεύσαμε κάπως τη μέθοδο των καθώς αφενός δεν σχηματίστηκε μία, αλλά δύο ομάδες ελέγχου από «απλούς» ανθρώπους, ενώ στα ερωτηματολόγια δεν συμπεριλήφθησαν τελικά και οι εννέα παράγοντες αλλά οι έξι που θεωρήθηκαν ότι έχουν τη μεγαλύτερη σημασία. Εδώ δεν κρίναμε σκόπιμο να περιγράψουμε τη μέθοδο πιστά καθώς αυτό που μας απασχολεί είναι να αναδείξουμε διαδικασίες και όχι να αναπαράγουμε επακριβώς την έρευνα των Plattner et al. Στη βιβλιογραφική παραπομπή που παραθέτουμε μπορεί κανείς να βρει ακριβείς πληροφορίες όσον αφοράς στο «στήσιμο» της μελέτης τους.

⁵⁰ Για περισσότερες πληροφορίες παραπέμπουμε στο, Th. Plattner et al, 'Integrating Risk Perception Into Risk Assessment'

5.1.4 Η αναλογία με το κοινωνικό ρίσκο

Τα όσα παρουσιάσαμε μέχρι στιγμής για το υποκειμενικό ρίσκο δεν κάνουν διάκριση μεταξύ *Ατομικού* και *Κοινωνικού Ρίσκου*. Ωστόσο η μελέτη των Plattner et al, χωρίς να το διασαφηνίζει κατ' αρχήν, φαίνεται ότι αναφέρεται στο *Ατομικό Ρίσκο*. Για να μοντελοποιήσουμε μια υποκειμενική διάσταση του Κοινωνικού Ρίσκου προσανατολιζόμαστε στην εφαρμογή της ίδιας διαδικασίας που συζητήσαμε και παραπάνω με κάποιες επιμέρους διαφοροποιήσεις.

Αρχικά, θεωρούμε ότι και το υποκειμενικό *Κοινωνικό Ρίσκο* θα πρέπει να αποδίδει μια σχέση μεταξύ του απόλυτου *Κοινωνικού Ρίσκου* και τις προδιάθεσης του κοινού απέναντι σε αυτό,

$$R_{per} = f(R_{eff}, bias)$$

όπου χρησιμοποιήσαμε το συμβολισμό R για να είναι ξεκάθαρο ότι αναφερόμαστε αποκλειστικά σε *Κοινωνικό Ρίσκο*.

Ακόμα δεν βρίσκουμε λόγο να μη διατηρήσουμε τη σχέση,

$$R_{perc} = R_{eff} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (paf_i \cdot a_i)}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

Έτσι από τη στιγμή που η κρατούσα τακτική όσον αφορά στο κοινωνικό ρίσκο είναι οι συνέπειες να ταυτίζονται με τον αριθμό των νεκρών θα έχουμε την εξής σχέση,

$$N_{perc} = N_{eff} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (paf_i \cdot a_i)}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

που σημαίνει ότι το κοινό δεν αντιλαμβάνεται ως συνέπεια του ατυχήματος τον πραγματικό αριθμό των νεκρών N_{eff} αλλά μια συνάρτηση αυτού που δίνει τον υποκειμενικό αριθμό νεκρών N_{per} .

Ίσως για κάποιους αυτό είναι ανήθικο καθώς φαίνεται ότι κάποιοι θάνατοι «αξιίζουν» περισσότερο από κάποιους άλλους, ωστόσο υπάρχουν ενδείξεις που υποστηρίζουν μια τέτοια άποψη και τις οποίες δεν μπορούμε να αγνοήσουμε. Επί

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιότητας

πλέον όπως θα δούμε και στα αμέσως παρακάτω αλλά και στο τεύχος *B* όλα τα επίσημα *Κριτήρια Αποδοχής Κοινωνικού Ρίσκου* λαμβάνουν υπ' όψιν το υποκειμενικό ρίσκο ακόμα και αν αυτό δεν είναι ξεκάθαρο με την πρώτη ματιά.

5.1.5 Παράγοντες επιρροής στο υποκειμενικό Κοινωνικό Ρίσκο

Το ενδιαφέρον όπως γίνεται αντιληπτό, έγκειται στον προσδιορισμό, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, των παραγόντων που επηρεάζουν την αντίληψη του κοινού για το *Κοινωνικό Ρίσκο*.

Μπορούμε να πούμε πως οι παράγοντες στους οποίους αναφερθήκαμε μέχρι τώρα θα έχουν εφαρμογή και στην περίπτωση του *Κοινωνικού Ρίσκου*. Για παράδειγμα το ζήτημα της εθελοντικής συμμετοχής σε μια δραστηριότητα καθώς και το ζήτημα της εξοικείωσης του κοινού με αυτήν επανέρχεται από πληθώρα συγγραφέων⁵¹. Το τελευταίο μάλιστα αποκτά ιδιαίτερη σημασία κατά την σύγκριση του *Κοινωνικού Ρίσκου* μεταξύ δραστηριοτήτων. Πολλοί είναι εκείνοι που πιστεύουν ότι το ίδιο ρίσκο το αντιλαμβάνεται διαφορετικά το κοινό αν προέρχεται από μια δραστηριότητα όπως οι χειραίες μεταφορές (υψηλός βαθμός εξοικείωσης) και διαφορετικά από μια δραστηριότητα όπως η πυρηνική βιομηχανία (χαμηλός βαθμός εξοικείωσης- υψηλό συναίσθημα φόβου για τις συνέπειες της δραστηριότητας).

Ωστόσο η κοινωνική διάσταση που έχει πλέον το ρίσκο, κάνει αναγκαία την εισαγωγή και άλλων παραγόντων. Η πιο δημοφιλής και γι' αυτό εξαιρετικά ενδιαφέρουσα άποψη έχει να κάνει με την αντίληψη ότι το κοινό εμφανίζει αυξημένη αποστροφή σε ατυχήματα υψηλών συνεπειών. Με απλά λόγια και εξισώνοντας τις συνέπειες με τον αριθμό των νεκρών που προκύπτει από ένα ατύχημα, επικρατεί η λογική, ότι για το κοινό, 100 ατυχήματα με 1 νεκρό το κάθε ένα, είναι προτιμότερα (συνεπάγονται μικρότερο ρίσκο) σε σχέση με 1 ατύχημα με αποτέλεσμα 100 νεκρούς.

Η παραπάνω πρόταση εμφανίζει τόσο μεγάλη αποδοχή στη μελέτη ρίσκου ώστε να λαμβάνεται ως ορθή σχεδόν *a priori*, αποτελώντας μάλιστα τον οδηγό για τη χάραξη των *Κριτηρίων Αποδοχής Κοινωνικού Ρίσκου*. Το κατά πόσο έχει βάση ωστόσο είναι ένα ζήτημα που θα μας απασχολήσει και στο κεφάλαιο 11.

Εδώ θα θέλαμε να κάνουμε δύο παρατηρήσεις. Πρώτον παρ' ότι είπαμε ότι η παραπάνω πρόταση χρησιμοποιείται περίπου ως αξίωμα στην *Ανάλυση Ρίσκου*, πουθενά δεν βρήκαμε να γίνεται λόγος για την άμεση σχέση της με την έννοια του υποκειμενικού ρίσκου. Έτσι ενώ στην πραγματικότητα όλα τα *Κριτήρια Αποδοχής Κοινωνικού Ρίσκου* λαμβάνουν υπ' όψιν τους την έννοια του υποκειμενικού ρίσκου το γεγονός «αποκρύπτεται» ως μέρος της διαδικασίας παραγωγής των Κριτηρίων.

⁵¹ Ενδεικτικά βλ. Vrijling et al, Evans, Ball and Floyd, Th. Plattner et al

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιότητας

Η δεύτερη παρατήρηση σχετίζεται άμεσα με την πρώτη. Από τη στιγμή που καμία αναφορά δεν γίνεται επίσημα για το υποκειμενικό ρίσκο, η σημασία του υποβαθμίζεται και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παραγνωρίζεται ένα πλήθος παραγόντων σχετικών με την αντίληψη του κοινού για το ρίσκο, που μπορεί να είναι εξίσου σημαντικοί με την αποστροφή προς τα πολύνεκρα ατυχήματα.

Για να το πούμε με πιο απλά λόγια, εφ' όσον μοντελοποιούμε τα *Κριτήρια* μας αποδεχόμενοι ότι «το κοινό αποστρέφεται τα ατυχήματα με υψηλές συνέπειες», έμμεσα αποδεχόμαστε την χρήση υποκειμενικών όρων στον υπολογισμό του *Κοινωνικού Ρίσκου*. Αν είναι όμως έτσι δεν θα έπρεπε να εισάγουμε στο μοντέλο μας και άλλους παράγοντες εξίσου σημαντικούς; Εάν δεν το κάνουμε (και δεν παραθέσουμε συγκεκριμένους λόγους που το κάναμε) είναι σαν να εισάγουμε σε ένα εξ ολοκλήρου ντετερμινιστικό σύστημα ένα στοιχείο υποκειμενικότητας χωρίς να μπορούμε να δικαιολογήσουμε γιατί και από πού προέκυψε.

Είδαμε ήδη ότι οι παράγοντες στους οποίους αναφερθήκαμε στην παράγραφο 1.3.2.2 θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για το *υποκειμενικό Κοινωνικό Ρίσκο*. Μιλήσαμε επίσης και για τον παράγοντα «αποστροφή προς ατυχήματα υψηλών συνεπειών».

Ωστόσο εφ' όσον αναφερόμαστε σε *Κοινωνικό Ρίσκο* δε θα ήταν λογικό η αντίληψη μας γι' αυτό να καθορίζεται και από την προσφορά της δραστηριότητας στην κοινωνία; Ο Skjongs εισάγει τον παράγοντα «κοινωνική προσφορά» αν και ξανά όχι ως εργαλείο στην αποτίμηση του ρίσκου αλλά ως *Κριτήριο Αποδοχής Ρίσκου*. Το αν η ανάλυση του αντανακλά πράγματι την κοινωνική προσφορά της δραστηριότητας θα το δούμε και στο επόμενο κεφάλαιο, όμως ξανά είναι φανερό ότι η έννοια του *υποκειμενικού* ρίσκου εισάγεται στην έννοια του «*απόλυτου*» έστω και σιωπηλά.

Θα μπορούσαμε να διερευνήσουμε και επιπλέον παράγοντες όπως για παράδειγμα η ταυτότητα των θυμάτων ενός ατυχήματος (ένα τροχαίο με αποτέλεσμα έναν νεκρό, μόνο σε έναν κόσμο απόλυτης πολιτικής ορθότητας είναι ισοδύναμο με ένα τροχαίο με αποτέλεσμα το θάνατο του πρωθυπουργού) ωστόσο πλέον θα έπρεπε να μπούμε στο χώρο της εικασίας.

Άποψη μας είναι ότι η αναζήτηση του υποκειμενικού ρίσκου τόσο σε ατομικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο είναι το επόμενο λογικό βήμα για την Ανάλυση Ρίσκου ωστόσο η εκτίμηση των παραγόντων που συμμετέχουν στον προσδιορισμό του πρέπει να είναι προϊόν έρευνας και όχι διαίσθησης (κάτι που δυστυχώς φαίνεται να χαρακτηρίζει τη σημερινή πρακτική σε αρκετά μεγάλο βαθμό).

Μέχρι τώρα μελετήσαμε το υποκειμενικό ρίσκο σε επίπεδο κοινωνίας, πώς η κοινωνία αντιλαμβάνεται το ρίσκο ανάλογα με κάποια δεδομένα. Αμέσως

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιότητας

παρακάτω θα εξετάσουμε μια ακόμα πλευρά του υποκειμενικού ρίσκου που αφορά στον τρόπο που αντιλαμβάνεται το ρίσκο κάθε άτομο ξεχωριστά.

5.1.6 Ο Fischhof και το ρίσκο ως αντικείμενο μελέτης για κάθε μεμονωμένο άτομο

Ο Fischhof θεωρεί ότι υπάρχουν δύο ακραίες κατηγορίες ανθρώπων.

Στην πρώτη ανήκουν όσοι έχουν εντελώς αρνητική προδιάθεση απέναντι στο ρίσκο από οποιαδήποτε δραστηριότητα και αν προέρχεται. Στα πλαίσια αυτής της λογικής είναι απρόθυμοι να αποδεχθούν έστω και το μικρότερο ρίσκο ακόμα και αν τα προσδοκώμενα οφέλη είναι σχετικά υψηλά. Γι αυτούς κανένα κόστος στην καταπολέμηση του ρίσκου δεν θα είναι ποτέ αρκετά υψηλό όπως και κανένα άνω όριο επιτρεπτού ρίσκου αρκετά χαμηλό.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν εκείνα τα άτομα για τα οποία ο κίνδυνος από τις συνέπειες που συνεπάγεται το ρίσκο είναι άνευ σημασίας. Χαμηλά επιτρεπόμενα όρια ρίσκου θα σήμαιναν γι' αυτά τα άτομα, ένα αδικαιολόγητο εμπόδιο στην προσπάθειά τους για μεγιστοποίηση του κέρδους (όσο μικρό και αν είναι αυτό) ή της ευχαρίστησης που αντλούν από κάποια δραστηριότητα. Γι αυτούς ιδανικός θα ήταν ένας κόσμος στον οποίο δεν θα υπήρχε κανένα απολύτως άνω όριο αποδεκτού ρίσκου.

Μεταξύ των δύο αυτών ακραίων κατηγοριών υπάρχει η πλειοψηφία του κοινού η οποία είναι μεν διατεθειμένη να αποδεχθεί κάποια επίπεδα ρίσκου προσδοκώντας κάποια συγκεκριμένα οφέλη, όχι όμως χωρίς προηγούμενη συζήτηση για το ποια θα πρέπει να είναι η ισορροπία μεταξύ κόστους (σε αυξημένο ρίσκο)- οφέλους (σε χρήματα, απόλαυση, ή και θέσεις εργασίας, κοινωνική πρόοδο κλπ.) από τη συγκεκριμένη δραστηριότητα.

Προτείνει την καθιέρωση του όρου «*λογικός μέσος άνθρωπος*» ως μέτρο για την αποτίμηση του ρίσκου αλλά και τη μετέπειτα θέσπιση *Κριτηρίων*. Με αυτό υπονοείται ότι καμία τεχνολογία δεν μπορεί να υποχρεώνεται σε υπέρογκο κόστος για τη μείωση του ρίσκου που ενέχει, επειδή κάποιοι άνθρωποι εμφανίζουν μια ιδιαίτερα ισχυρή αποστροφή προς οποιοδήποτε ρίσκο αλλά και επίσης δεν θα παραμένει ανεξέλεγκτη επειδή κάποιοι άλλοι αντιλαμβάνονται κάθε προσπάθεια μείωσης του ρίσκου ως περιορισμό των ελευθεριών τους.

Ίσως όμως το σημαντικότερο καινούριο στοιχείο που συναντάμε στον Fischhof, σε αντιδιαστολή προς τη υπόλοιπη βιβλιογραφία, είναι η αντίληψη ότι για την αποδοχή ή μη του ρίσκου πρέπει να συνυπολογίζεται κάθε άτομο ξεχωριστά και όχι συλλογικά η κοινωνία.

Συγκεκριμένα αμφισβητεί τη θέση που θεωρεί ότι, το κέρδος που θα έχουν ορισμένα άτομα από κάποια δραστηριότητα αναδιανέμεται τελικά στην κοινωνία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιόστασης

είτε άμεσα είτε έμμεσα. Σε μια τέτοια λογική εξ' άλλου βασίζεται η ύπαρξη της ALARP αλλά και κάποιων *Κριτηρίων Αποδοχής Ρίσκου*⁵² όπως θα συζητήσουμε και στο κεφάλαιο 11 του Τεύχους Β και υπό αυτή την οπτική η διαφωνία του Fischhof αποκτά ακόμα μεγαλύτερη σημασία.

Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας «αναδιανομής» του κέρδους είναι το εξής.

Έστω ότι έχουμε την πόλη Α και την γειτονική της προς τα δυτικά Β. Στο δυτικό κομμάτι της πόλης Α λειτουργεί εργοστάσιο χημικών αντλώντας το εργατικό του δυναμικό μεταξύ των κατοίκων της γύρω περιοχής. Μετρήσεις έδειξαν πως οι εκπομπές του σε καυσαέρια αντιστοιχούν σε ατομικό ρίσκο 10^{-3} ανά έτος για κάθε κάτοικο των πόλεων Α και Β. Υπάρχει η λύση να αγοραστούν φίλτρα ώστε το νούμερο αυτό να πέσει στο 10^{-6} όμως αυτό συνιστά μια επένδυση απαγορευτικά υψηλή για τον ιδιοκτήτη ο οποίος δηλώνει ότι θα αναγκαστεί να κλείσει το εργοστάσιο αν οι εκπομπές του κηρυχθούν παράνομες. Όμως αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την απόλυση των εργατών με ότι αυτή με τη σειρά της συνεπάγεται. Έτσι το συμβούλιο της πόλης Α αποφασίζει να συνεχιστεί κανονικά η λειτουργία του εργοστασίου, η επιχείρηση εξακολουθεί να έχει κέρδος και το κέρδος αυτό αναδιανέμεται στους εργάτες, στην πόλη άλλα και στο δήμαρχο που ικανοποίησε τους πάντες και θα επανεκλεγεί.

Σωστά; Ο Fischhof λέει «όχι απαραίτητα». Για παράδειγμα δεν είναι καθόλου σίγουρο ότι το κέρδος του εργοστασίου αναδιανέμεται στους κατοίκους του ανατολικού κομματιού της πόλης Α, ή της γειτονικής πόλης Β οι οποίοι αντιμετωπίζουν το ίδιο υψηλό ατομικό ρίσκο, ωστόσο δεν έχουν και τα ανάλογα οφέλη αφού δεν εργάζονται στο εργοστάσιο και ίσως δεν ενδιαφέρονται πολύ για την δυτική πλευρά της πόλης Α.

Γι' αυτούς ακριβώς ο Fischhof προτείνει ότι πρέπει να υπάρχουν κάποια επιπλέον αντισταθμιστικά οφέλη. Αυτά μπορεί να είναι χαμηλότεροι φόροι ή η μείωση του ρίσκου που προέρχεται από κάποια άλλη πηγή (ώστε το αθροιστικό ρίσκο να μη γίνεται δυσανάλογα μεγάλο) ή ακόμα και η δημιουργία μιας κοινής πλατφόρμας αλληλεγγύης μεταξύ εργοστασίου, κατοίκων της δυτικής περιοχής και κατοίκων της ανατολικής περιοχής και της πόλης Β.

Η εύρεση μιας λύσης συμβιβαστικής δεν είναι απίθανη, ωστόσο είναι λάθος να γίνεται «διαισθητικά», χωρίς να εξετάζονται οι επιπτώσεις που έχει μια δραστηριότητα σε κάθε έναν που βρίσκεται στη ζώνη επιρροής της και πληροί τα χαρακτηριστικά του «λογικού μέσου ανθρώπου».

Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στην εξής αρχή,

«Μία τεχνολογία είναι αποδεκτή εάν είναι υπεύθυνη για μια σειρά αποδεκτών συνεπειών για κάθε ένα μέλος της κοινωνίας»

⁵² βλ. το κριτήριο που προτείνει ο Skjong για τη ναυτιλία

Αν και τα παραπάνω φαίνονται σίγουρα αρκετά δελεαστικά η εφαρμογή τους δεν είναι απλή υπόθεση. Και μόνο η απαίτηση να συνυπολογίζονται τα οφέλη για κάθε ένα άτομο ξεχωριστά, καθιστά επί της αρχής λάθος τη χρήση ομάδων ειδικών που θα έχουν συμβουλευτικό χαρακτήρα στη λήψη αποφάσεων, μια πρακτική ιδιαίτερα διαδεδομένη στην *Ανάλυση Ρίσκου*. Από την άλλη μεριά η διενέργεια συνεντεύξεων με όλο τον πληθυσμό για κάθε θέμα διαχείρισης ρίσκου που προκύπτει, εκτός από ανέφικτη θα ήταν και λάθος⁵³.

Γενικά προτείνεται η χρήση ειδικά διαμορφωμένων ερωτηματολογίων που θα απαντώνται από ομάδες του πληθυσμού ώστε να υπολογίζονται τα επίπεδα του υποκειμενικού ρίσκου όπως τα αντιλαμβάνεται ο μέσος άνθρωπος και στη συνέχεια τα όρια αποδοχής του ρίσκου για δεδομένη στάθμη οφέλους προς το κάθε άτομο.

Ωστόσο μαθηματικές σχέσεις που θα μοντελοποιούν την παραπάνω φιλόδοξη οπτική για το ρίσκο δεν βρήκαμε. Δεν θεωρούμε ότι είναι μια προσέγγιση που βρίσκεται στα χέρια μας έτοιμη για εφαρμογή. Δίνει όμως μια πολύ ενδιαφέρουσα κατεύθυνση στο τι σημαίνει ρίσκο εισάγοντας μια εντελώς εξατομικευτική προσέγγισή του. Από το τεχνικό «απόλυτο» ρίσκο που εξετάσαμε μέχρι τώρα, ανοίγει ο δρόμος για τη μελέτη του ρίσκου ως υποκειμενική αντίληψη του σώματος της κοινωνίας και παραπέρα του κάθε ανθρώπου ξεχωριστά.

5.2 Ομοιόσταση του ρίσκου

5.2.1 Ορισμός

Η ομοιόσταση ως όρος έλκει την καταγωγή της από τη Βιολογία και ένας πρώτος ορισμός⁵⁴ της είναι ο παρακάτω,

Ομοιόσταση είναι η ιδιότητα ενός ανοιχτού συστήματος να ρυθμίζει το εσωτερικό του περιβάλλον ώστε αυτό να διατηρείται σε μια σταθερή κατάσταση, μέσω πολλαπλών προσαρμογών δυναμικής ισορροπίας, που ελέγχονται από ενδοσυνδεδεμένους μηχανισμούς ρύθμισης.

Είναι προφανές εκ του ορισμού ότι μπορεί να περιγράψει εκτός από τις διεργασίες που χαρακτηρίζουν έμβιους οργανισμούς και κάθε άλλο σύστημα που έχει κάποια δυνατότητα αυτορρύθμισης.

⁵³ Fischhof, *Acceptable Risk: A conceptual Proposal*

⁵⁴ Βικιπαίδεια λήμμα «βιολογία»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιόστασης

Το πιο απλό παράδειγμα μη- ζωντανού τέτοιου συστήματος είναι ο θερμοστάτης. Εάν τον ρυθμίσουμε σε κάποια θερμοκρασία κινητοποιούμε έναν μηχανισμό που με διαδοχική θέρμανση- ψύξη προσπαθεί να διατηρήσει αυτή τη θερμοκρασία σταθερή ή περίπου σταθερή (ουσιαστικά η θερμοκρασία κυμαίνεται πάνω και κάτω από την τιμή που θέσαμε και μόνο στιγμιαία γίνεται ίση με αυτή).

5.2.2 Ομοιόσταση και ρίσκο

Όμως τι σχέση μπορεί να έχουν τα παραπάνω με την *Ανάλυση Ρίσκου*;

Μετά από μια σειρά πειραμάτων κατά τη δεκαετία του 70 ο Gerald J.S. Wilde κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά του ανθρώπου έναντι του ρίσκου, θυμίζει αρκετά τη συμπεριφορά του θερμοστάτη απέναντι στη θερμοκρασία. Αυτό σημαίνει ότι κάθε άνθρωπος είναι διατεθειμένος να αποδεχτεί ένα συγκεκριμένο μέγεθος ρίσκου και ανεξάρτητα από το πώς αλλάζουν οι συνθήκες γύρω του αυτός θα προσπαθεί να το διατηρήσει σταθερό.

Έτσι αν για κάποιο λόγο το ρίσκο από κάποια δραστηριότητα τείνει να μειωθεί, το άτομο θα αναπροσαρμόσει τη συμπεριφορά του ώστε να το αυξήσει ξανά ως τα προηγούμενα επίπεδα. Το αντίστροφο αν το ρίσκο τείνει να μειωθεί. Αντίστοιχες συμπεριφορές μπορούν να παρατηρηθούν και στο επόμενο επίπεδο οργάνωσης, την κοινωνία.

Όσο και αν τα παραπάνω φαίνονται κάπως υπερβολικά ο Wilde ισχυρίζεται ότι έχει αρκετές πειραματικές αποδείξεις που τα υποστηρίζουν. Το πιο διάσημο παράδειγμα τέτοιου πειράματος είναι αυτό που διεξήχθη μεταξύ των ταξί στο Μόναχο. Για το σκοπό του πειράματος κάποια ταξί εξοπλίστηκαν με το σύστημα ABS ενώ κάποια άλλα όχι, σημασία επίσης έχει ότι οι οδηγοί γνώριζαν πιο τύπο αυτοκινήτου (δηλαδή με ή χωρίς ABS) χρησιμοποιούσαν. Χωρίς να μπορούμε σε περισσότερες λεπτομέρειες τα αποτελέσματα τις έρευνας έδειξαν ότι τελικά οι δύο κατηγορίες αυτοκινήτων ενεπλάκησαν στον ίδιο αριθμό ατυχημάτων. Ανάλογα αποτελέσματα είχαν και πειράματα που διεξήγαγε ο Taylor στην Αγγλία προγενέστερα του πειράματος του Μονάχου.

Βασικό ρόλο στη θεωρία του Wilde παίζει το *επιθυμητό ρίσκο* (με τον όρο μεταφράζουμε την ορολογία *target risk* που χρησιμοποιεί). Το *επιθυμητό ρίσκο* παίζει για τον άνθρωπο, το ρόλο που παίζει η επιθυμητή θερμοκρασία για το θερμοστάτη.

Κάθε άτομο έχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο *επιθυμητού ρίσκου* το οποίο επιθυμεί να διατηρεί σταθερό, και όχι διαρκώς μειούμενο όπως θα περιμέναμε.

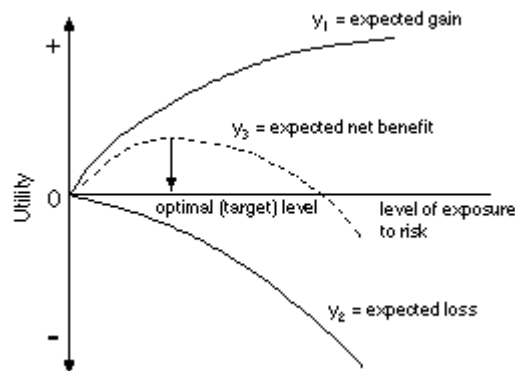
Επίσης πολύ βασικό ρόλο κατά τον Wilde παίζει η ανάλυση κόστους- οφέλους. Η αρχή της ομοιόστασης δεν υπονοεί ότι ο άνθρωπος «κυνηγάει» το ρίσκο επειδή αυτό τον ευχαριστεί. Αντίθετα το κάνει προσδοκώντας ένα όφελος και μέχρι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιόστασης

εκείνο το σημείο που το όφελος αυτό είναι μεγαλύτερο από το κόστος που μπορεί να πληρώσει.

Έτσι για το παράδειγμα του Μονάχου, ο οδηγός του ταξί γνωρίζει ότι οδηγώντας γρήγορα θα κάνει πιο πολλές διαδρομές και θα έχει μεγαλύτερα κέρδη. Γνωρίζει επίσης ότι αν τρακάρει οι ζημιές θα έχουν κόστος. Έτσι οδηγεί με τέτοια ταχύτητα ώστε να έχει το κατά το δυνατόν υψηλότερο κέρδος με το κατά το δυνατόν χαμηλότερο κόστος. Αν γνωρίζει ότι έχει ABS θεωρεί ότι έχει τη δυνατότητα να αναπτύξει μεγαλύτερη ταχύτητα με ασφάλεια, οπότε επί της ουσίας οδηγεί και πάλι στο όριο της ταχύτητας που μεγιστοποιεί το κέρδος του, απλά αυτό το όριο έχει μετατεθεί προς τα πάνω.

Το διάγραμμα που ακολουθεί⁵⁵ παρουσιάζει την συμπεριφορά του ατόμου απέναντι στο ρίσκο συναρτήσει της χρησιμότητας⁵⁶ που αποκομίζει από κάποια δραστηριότητα.



Σχήμα 17. Συνάρτηση χρησιμότητας

Από αυτή την άποψη θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι απόψεις του Wilde συναντιούνται κατά μία έννοια με αυτές του Fischhof. Το ρίσκο είναι για κάθε άτομο ξεχωριστά μια διαρκής ανάλυση κόστους οφέλους όπου το άτομο επιλέγει το επίπεδο του ρίσκου που θεωρεί αποδεκτό ζυγίζοντας συνεχώς κέρδη και ζημιές.

Αυτό οδήγησε σε μερικές από τις πιο διαφορούμενες απόψεις του Wilde όπως για παράδειγμα ότι πρέπει να υπάρχει άμεση επιβράβευση των ατόμων που έχουν συμπεριφορά που ευνοεί χαμηλά επίπεδα ρίσκου και αντίστοιχα άμεση τιμωρία υψηλών επιπέδων ρίσκου. Η επιβράβευση αυτή θα μπορεί να παίρνει ακόμα και τη μορφή χρηματικής ανταμοιβής. Με λίγα λόγια αν η εταιρεία ταξί του Μονάχου θέλει να μειώσει τα ατυχήματα στον στόλο της, η λύση δεν είναι να εξοπλίσει τα αυτοκίνητα με ABS αλλά να υποσχεθεί επιπλέον αποδοχές στους οδηγούς εκείνους που δεν προκαλούν ατυχήματα.

⁵⁵ Gerald J.S. Wilde, 'Target Risk 2, A new psychology of safety and health'

⁵⁶ στις συναρτήσεις χρησιμότητας αναφερόμαστε εκτενώς στο κεφάλαιο 13

Από την άλλη μεριά η ομοιόσταση σε καμία περίπτωση δεν είναι μια παγιωμένη ευρέως αποδεκτή θεωρία. Το αντίθετο, από τη δεκαετία του 70 που πρωτοδιατυπώθηκε μέχρι τις μέρες μας έχει μπει στο στόχαστρο έντονης κριτικής και επικρίσεων⁵⁷.

Οι επικριτές της θεωρίας τονίζουν ότι για κάθε ένα παράδειγμα του Wilde που επιβεβαιώνει τη θεωρία, υπάρχει σωρεία παραδειγμάτων (βλ. και τις βιβλιογραφικές αναφορές της προηγούμενης παραπομπής) τα οποία την καταρρίπτουν. Μάλιστα διατείνονται ότι η ομοιόσταση είναι πιο πολύ «*υπόθεση παρά θεωρία*» ενώ αγγίζει τη σφαίρα της θρησκευτικής πίστης.

5.2.3 Η θεωρία της ομοιόστασης και το πρόβλημα αναγωγής των συχνοτήτων στην *Ανάλυση Ρίσκου*

Στα πλαίσια αυτής της Διπλωματικής Εργασίας προφανώς δεν είναι δυνατόν να πάρουμε θέση υπέρ ή κατά της ομοιόστασης. Η βιβλιογραφία προσφέρει μια τεράστια ποικιλία πηγών, οι οποίες ταυτίζονται με τη μία ή με την άλλη άποψη με την αντιπαράθεση να διεξάγεται στα όρια του φανατισμού. Σίγουρα αποτελεί μια προσέγγιση του ρίσκου που θα μπορούσε να έχει πολύ ενδιαφέρουσες προεκτάσεις, από την άλλη μεριά είναι σίγουρο και ότι είναι ακόμα μακριά από το να αποτελεί μια παγιωμένη καθολικά αποδεκτή θεωρία.

Υπάρχει ωστόσο ένα σημείο της το οποίο θεωρήσαμε εξαιρετικά ενδιαφέρον και ως ένα βαθμό δεν έχει να κάνει τόσο με την ίδια τη θεωρία όσο με τη διαχείριση των στατιστικών στοιχείων που έχει στη διάθεση της η *Ανάλυση Ρίσκου*.

Έχουμε συζητήσει ήδη για τη σπουδαιότητα της επιλογής ενός σωστού μεγέθους αναγωγής των συχνοτήτων των ατυχημάτων κατά την *Αποτίμηση του Ρίσκου*. Είδαμε ότι στη ναυτιλία συναντάμε συχνότητες ως προς πλήθος μεγεθών, όπως *shipyears*, *χιλιομετρικούς επιβάτες*, *μίλια* ή *ατυχήματα*.

Στην έρευνα του Taylor καθώς και σε επόμενες του Wilde παρατηρήθηκε το φαινόμενο, το ρίσκο να μειώνεται αν το μετρήσουμε ανά χιλιόμετρο ή ανά διαδρομή, όμως να μένει σταθερό ή και να αυξάνεται ανά μονάδα χρόνου. Αυτή η παρατήρηση αποτέλεσε εξ άλλου και αφετηρία για τη θεωρία της ομοιόστασης.

Αυτό που επίσης έχει ενδιαφέρον είναι ότι οι επικριτές της θεωρίας διαφωνούν με το ότι ο άνθρωπος «τείνει» σε κάποιο επίπεδο ρίσκου, ωστόσο προκειμένου να

⁵⁷ βλ. Brian O' Neil and Allan Williams, 'Risk Homeostasis, a Rebuttal' και Evans L. 'Risk homeostasis theory and traffic accident data'.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εκτίμηση ρίσκου- Υποκειμενικό ρίσκο/ Η έννοια της ομοιόστασης

την καταρρίψουν, χρησιμοποιούν συχνότητες ανηγμένες επίσης στη μονάδα του χρόνου.

Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο. Τι αξία έχει να πούμε ότι μειώνεται το μέγεθος, $\frac{\text{θανατηφόρα ατυχήματα}}{nm}$, αν τελικά στο τέλος του μήνα έχουμε τον

ίδιο αριθμό νεκρών; Άποψη μας είναι ότι ανεξάρτητα από την ορθότητα ή μη, της θεωρίας της ομοιόστασης, η αναγωγή του ρίσκου πρέπει να γίνεται πάντα στη μονάδα του χρόνου. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνεται το ρίσκο ο άνθρωπος (τουλάχιστον στον τομέα της ασφάλειας) και ταυτόχρονα δίνει την πιο ρεαλιστική εικόνα της δραστηριότητας.

Κεφάλαιο 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες $F-N$

6.1 Ανάλυση δεδομένων

6.1.1 Εισαγωγικά

Το μέρος αυτό ασχολείται με την κατασκευή των καμπυλών $F-N$ οι οποίες είναι βασισμένες σε στατιστικά στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά βασίζονται στην ανάλυση ατυχημάτων που έγιναν στα ελληνικά ύδατα και περιλαμβάνει όλα τα πλοία με ελληνική σημαία, χωρητικότητας 100 ΚΟΧ (*κόρων ολικής χωρητικότητας*) και άνω.

Παράλληλα αναλύει τις πηγές δεδομένων για την ανάλυση της κατανομής των ναυτικών ατυχημάτων στην Ελλάδα. Αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται και σε επόμενο κεφάλαιο, με προσπάθεια την αντίστοιχη κατασκευή πιθανοθεωρητικής καμπύλης $F-N$ για την πρόβλεψη και εκτίμηση μελλοντικών ατυχημάτων στις ελληνικές θάλασσες από τον αντίστοιχο στόλο.

Αρχικά κατασκευάζεται η στατιστική καμπύλη $F-N$ για το σύνολο του ελληνικού εμπορικού στόλου. Κατόπιν παρουσιάζονται οι επιμέρους καμπύλες $F-N$ χωρισμένες ανά κατηγορίες πλοίων.

Τέλος αν και δεν έχουν προταθεί ξεκάθαρα κριτήρια για την παραγωγή ορίων θα επιχειρηθεί να κριθεί η αποδοχή ή όχι της σχετικής θέσης των καμπυλών. Επίσης θα χαραχθούν τα σχετικά όρια που έχουν προταθεί γενικά σε διάφορες βιομηχανίες, θα συγκριθούν μεταξύ τους, αλλά και θα αναλυθεί η σχετική τους θέση, σε σχέση με τις καμπύλες $F-N$.

6.1.2 Στοιχεία στόλου ελληνικών πλοίων

Τα παρακάτω στοιχεία αναφέρονται στην δύναμη του ελληνικού εμπορικού στόλου για τα έτη 1995-2004. Παράλληλα παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη αυτής της δύναμης, καθώς και η κατανομή των ελληνικών εμπορικών πλοίων κατά κλιμάκια χωρητικότητας, ηλικίας και κατά κατηγορίας πλοίων.

Διευκρινίζεται ότι, στους πίνακες αυτούς, περιλαμβάνονται όλα τα πλοία με ελληνική σημαία, χωρητικότητας 100 ΚΟΧ (*κόρων ολικής χωρητικότητας*) και άνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες F-N

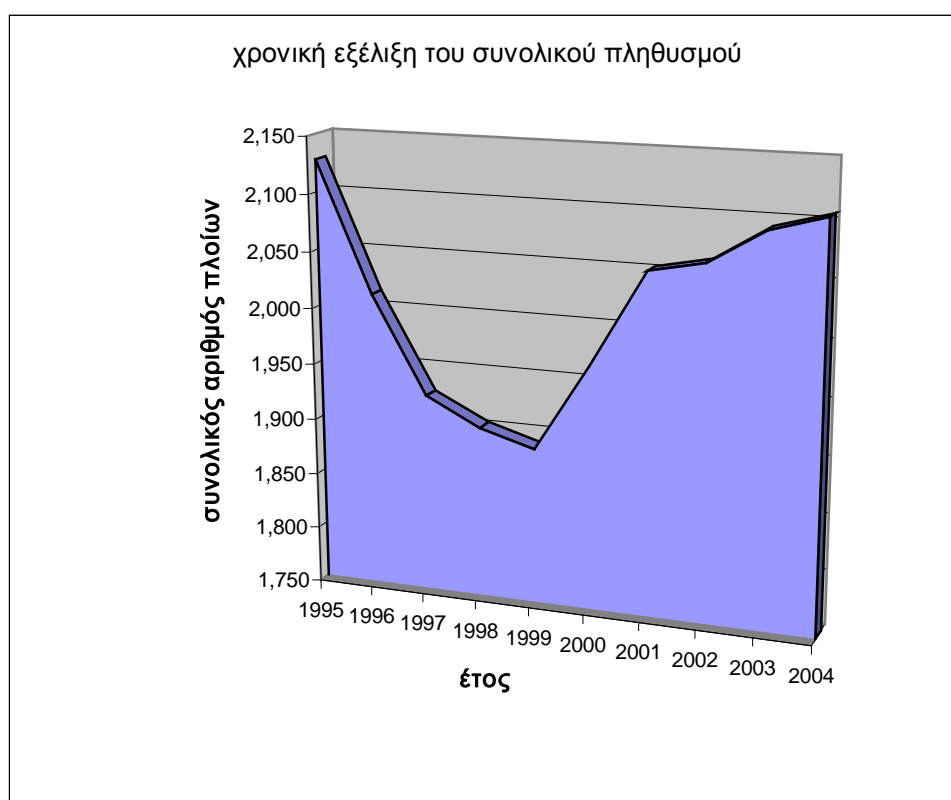
Οι κύριες πηγές των παρακάτω στατιστικών στοιχείων βασίζονται στις βάσεις δεδομένων των παρακάτω υπηρεσιών:

- ✓ Εθνική στατιστική υπηρεσία
- ✓ Τμήμα Εμπορικής Ναυτιλίας του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας (ΥΕΝ).
- ✓ 'World Fleet Statistics and Casualty Report', Lloyd's Register, London

6.1.2.1 Κατανομή των ελληνικών εμπορικών πλοίων ανά κατηγορία

Ο ετήσιος συνολικός αριθμός ελληνικών εμπορικών πλοίων παρουσίασε πτώση έως το 1999, ενώ από τότε παρατηρείται σταδιακή αύξηση του συνολικού αριθμού.

Παράλληλα φαίνεται πως κατανέμεται ο μέσος αριθμός πλοίων ανά κατηγορία για την περίοδο αυτή.



Σχήμα 18. Χρονική εξέλιξη του συνολικού πληθυσμού σε ΚΟΧ (με ΚΟΧ>100)

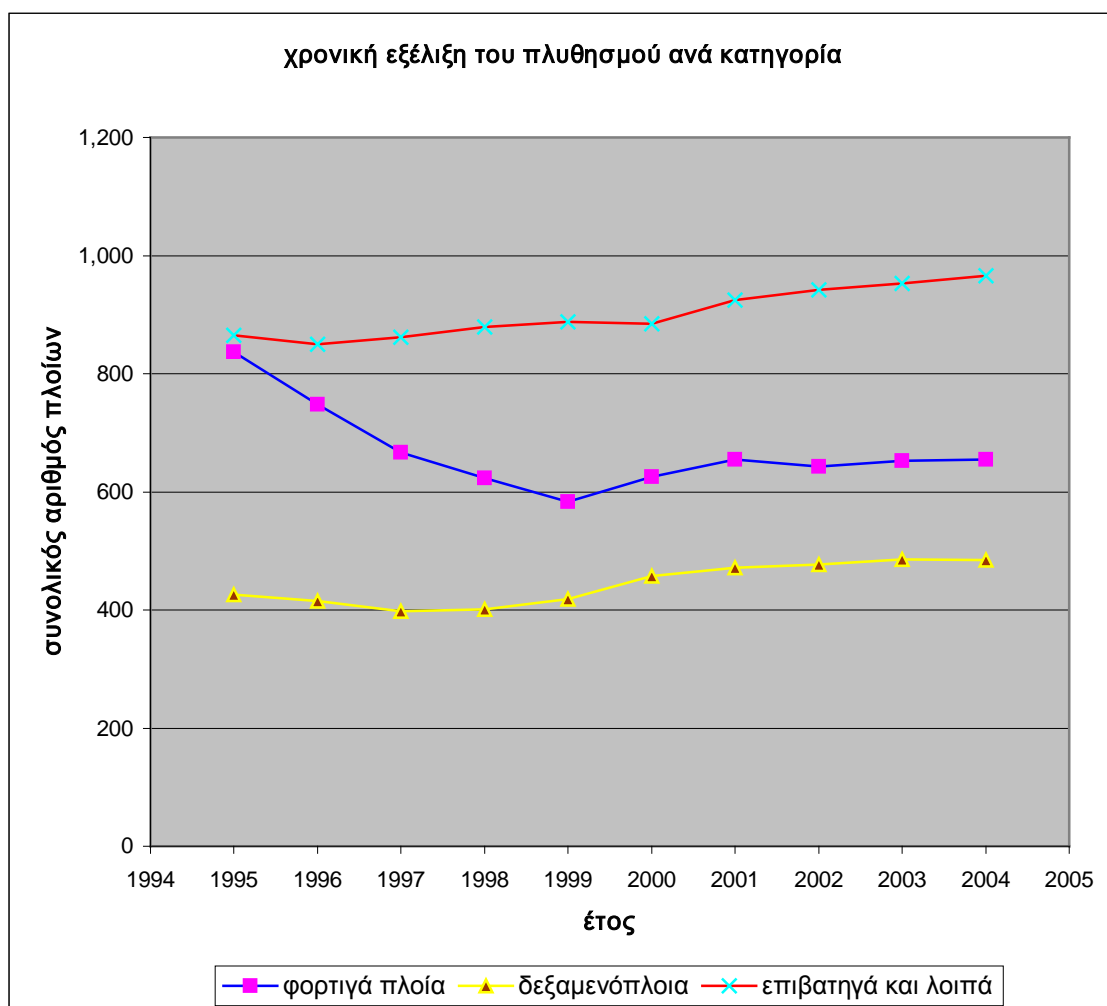
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες F-N

- *φορτηγά πλοία*
ο μέσος ετήσιος αριθμός φορτηγών πλοίων μειώθηκε από 837 στα 655 τη δεκαετία αυτή.

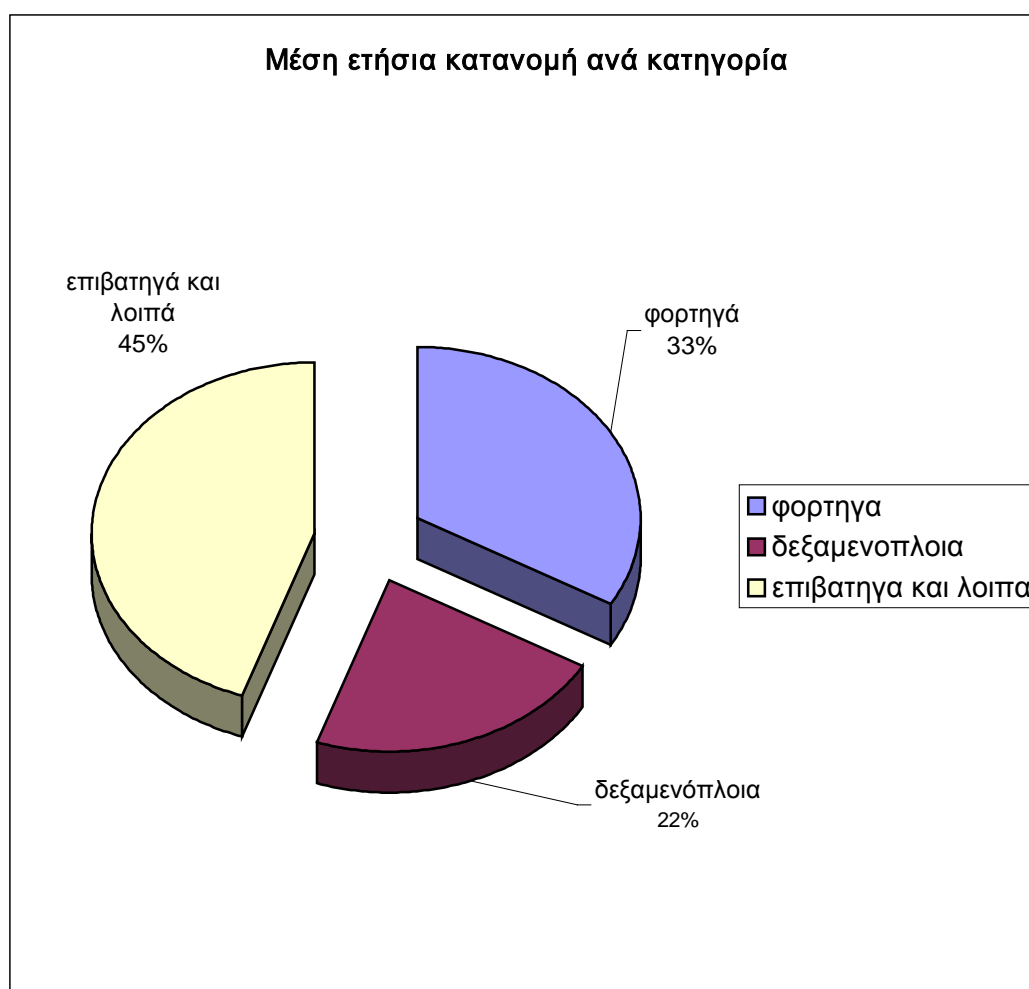
- *δεξαμενόπλοια*
ο μέσος ετήσιος αριθμός δεξαμενόπλοιων παρέμεινε σταθερός περίπου στα 445 πλοία τη δεκαετία αυτή.

- *επιβατηγά και λοιπά*
ο μέσος ετήσιος αριθμός επιβατηγών και λοιπών πλοίων παρουσιάζει μια μικρή σταδιακή αύξηση με την πάροδο το χρόνων.

Σημειώνεται ότι στα λοιπά πλοία συγκαταλέγονται πλοία ρυμουλκά, ναυαγосωστικά, αλιευτικά, τοποθετήσεως υποβρύχιων καλωδίων κ.λ.π.



Σχήμα 19. Χρονική εξέλιξη του πληθυσμού ανά κατηγορία (με ΚΟΧ>100)

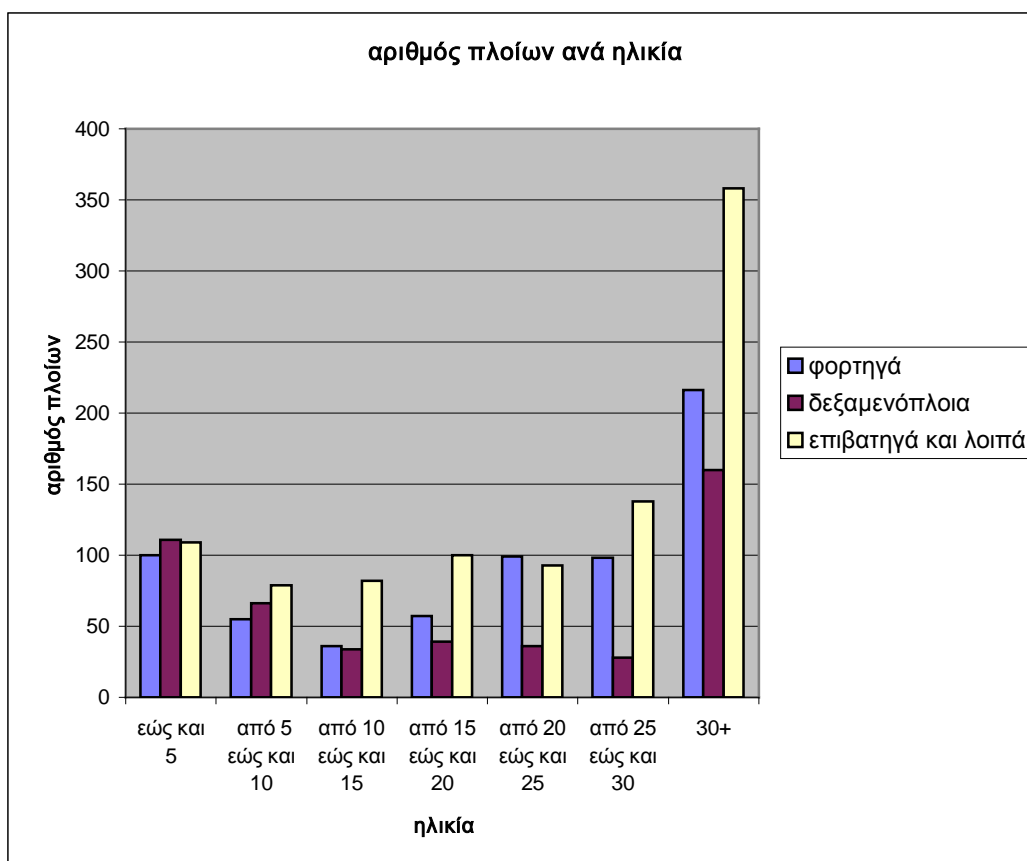


Σχήμα 20. Μέση ετήσια κατανομή ανά κατηγορία

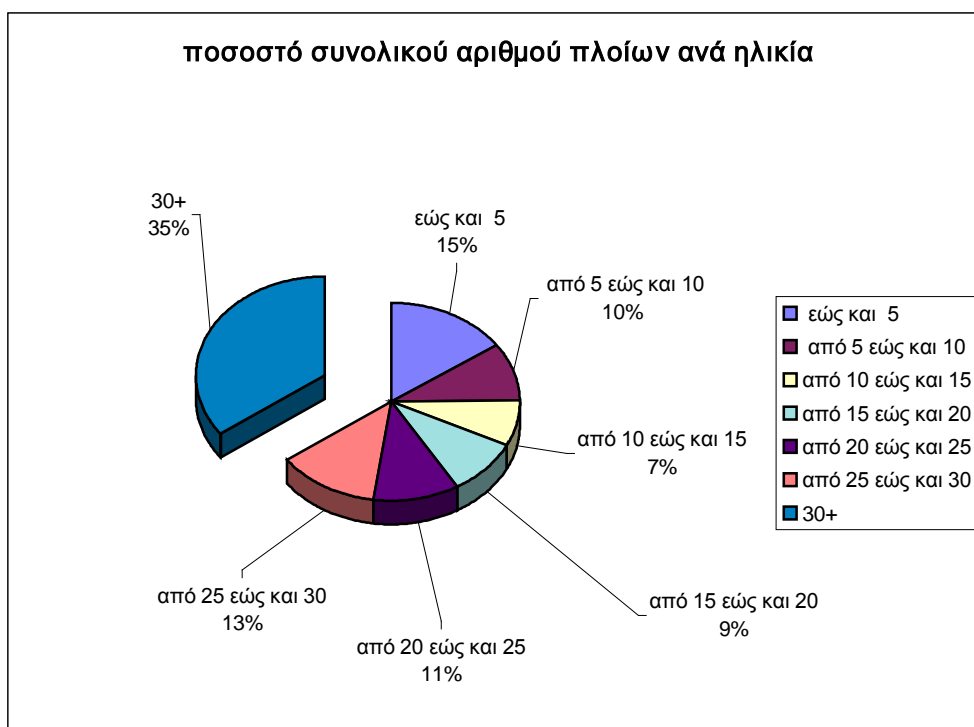
6.1.2.2 Κατανομή των ελληνικών εμπορικών πλοίων κατά ηλικία

Στα σχήματα 21, 22, 23 παρουσιάζεται η κατανομή των πλοίων, συνολικά αλλά και ανά κατηγορία, συναρτήσει της ηλικίας τους. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός το 35% του μέσου συνολικού ελληνικού εμπορικού στόλου απαρτίζεται από πλοία ηλικίας 30 ετών και άνω. Βέβαια τα τελευταία χρόνια το ποσοστό αυτό δείχνει να παρουσιάζει μείωση χρόνο με το χρόνο. Παράλληλα το 50% του στόλου ανήκει στις κατηγορίες πλοίων ηλικίας 1 έως 5 χρόνων και ηλικίας άνω των 30 ετών.

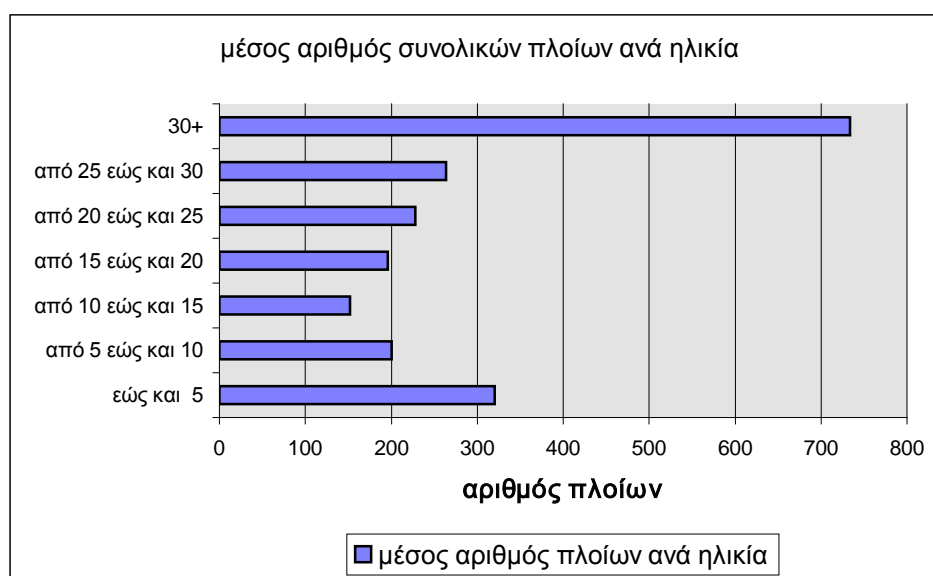
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καρπύλες
F-N



Σχήμα 21. Αριθμός πλοίων ανά ηλικία



Σχήμα 22. Ποσοστό συνολικού αριθμού πλοίων ανά ηλικία



Σχήμα 23. Μέσος αριθμός πλοίων ανά ηλικία

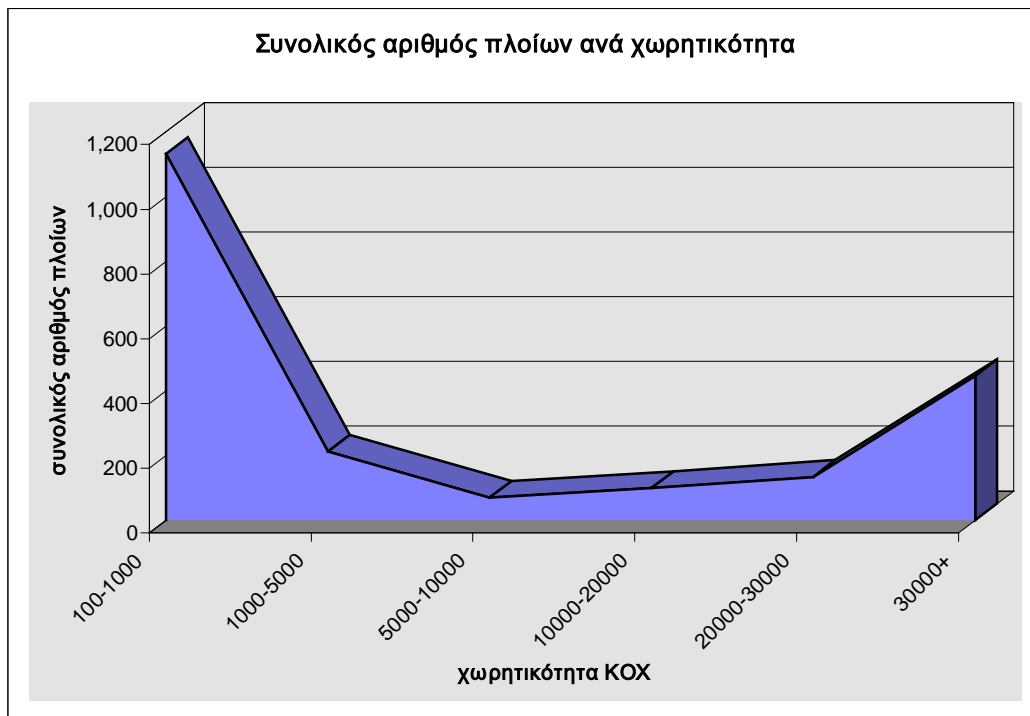
Αν και η μέση ηλικία του συνολικού ελληνικού στόλου έχει μια τάση προς μείωση τα τελευταία χρόνια, παρόλα αυτά από τα παραπάνω συνάγεται ότι ο στόλος των πλοίων με ελληνική σημαία είναι αρκετά γηρασμένος.

Επίσης είναι κοινά αποδεκτό ότι αυξανόμενης της ηλικίας του πλοίου το επίπεδο ασφάλειας του πλοίου μπορεί να περιορίζεται. Αυτό βασίζεται κυρίως στο ρόλο της διάβρωσης, όπου είναι ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ασφάλεια του πλοίου μετά την πάροδο των πρώτων 20 χρόνων. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι ένα πλοίο 15 ετών είναι κατά ανάγκη πιο αξιόπλοο από ένα πλοίο 30 ετών. Αναμφισβήτητα όμως η διάβρωση του πλοίου αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα όπου επηρεάζει αρνητικά την συνολική κατάσταση ρίσκου στην ελληνική ναυτιλία.

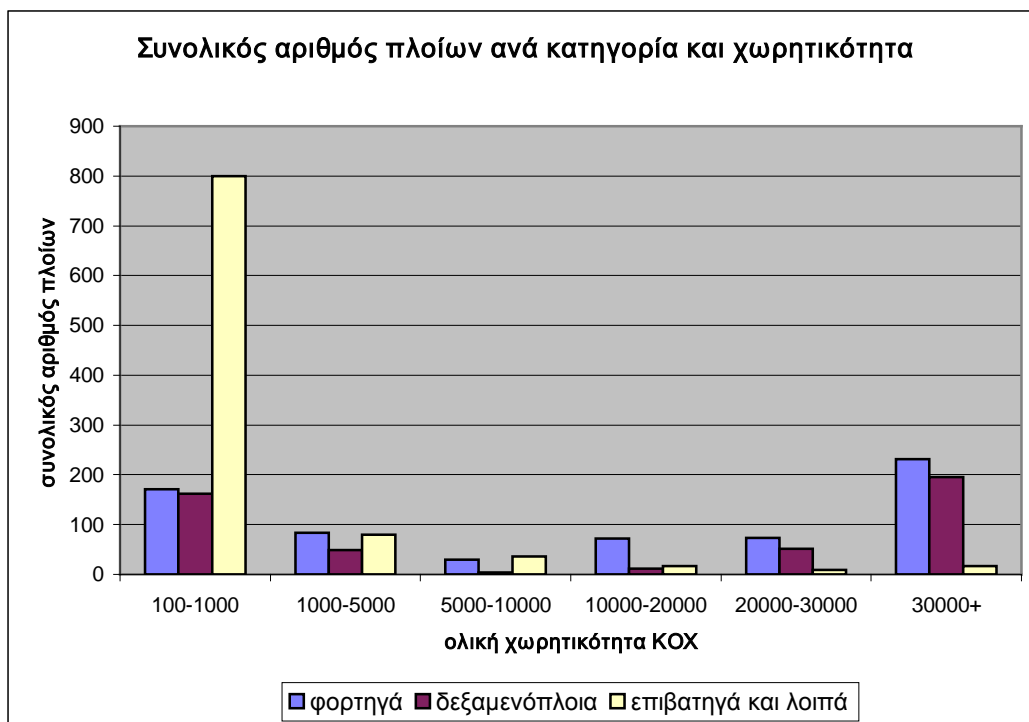
6.1.2.3 Κατανομή των ελληνικών εμπορικών πλοίων ανά κλιμάκια ολικής χωρητικότητας ΚΟΧ (κόρων ολικής χωρητικότητας)

Στα σχήματα 24, 25 παρουσιάζεται η κατανομή των πλοίων, συνολικά αλλά και ανά κατηγορία, συναρτήσει της ολικής χωρητικότητας τους. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η συντριπτική πλειοψηφία των πλοίων κατανέμεται στις κατηγορίες των 100 έως 1000 ΚΟΧ και άνω των 30000 ΚΟΧ. Όπως ήταν αναμενόμενο τα περισσότερα επιβατηγά πλοία υπάγονται στην κατηγορίες έως και 1000 ΚΟΧ ενώ τα περισσότερα δεξαμενόπλοια και φορτηγά πλοία ανήκουν στην κατηγορία των 30000 ΚΟΧ και άνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες F-N



Σχήμα 24. Συνολικός αριθμός πλοίων ανά χωρητικότητα



Σχήμα 25. Συνολικός αριθμός πλοίων ανά κατηγορία και χωρητικότητα

6.2 Ατυχήματα πλοίων

Τα δεδομένα για τα ναυτικά ατυχήματα πλοίων στα ελληνικά χωρικά ύδατα καλύπτουν 14 χρόνια, από το 1992 έως το 2005. Διευκρινίζεται ότι, στις καταγραφές αυτές, περιλαμβάνονται όλα τα πλοία με ελληνική σημαία, χωρητικότητας 100 ΚΟΧ (κόρων ολικής χωρητικότητας) και άνω.

Οι κύριες πηγές των παρακάτω στατιστικών στοιχείων βασίζονται στις βάσεις δεδομένων των παρακάτω υπηρεσιών:

- ✓ Εθνική στατιστική υπηρεσία
- ✓ Τμήμα Εμπορικής Ναυτιλίας του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας (ΥΕΝ).

Τα ατυχήματα πλοίων ταξινομούνται στους παρακάτω τύπους / φαινόμενα :

- Σύγκρουση
- Προσάραξη
- Πρόσκρουση
- Εισροή υδάτων
- Πυρκαγιά / έκρηξη
- Μηχανική βλάβη
- Βύθιση
- Διάφορα άλλα ατυχήματα

Για να είναι σε θέση κάποιος να κατανοήσει την φύση του ναυτικού ατυχήματος, πρέπει να εξετάσει το μηχανισμό αστοχίας που σχετίζεται με τον τύπο του ναυτικού ατυχήματος. Η ανάλυση ρίσκου εφαρμόζεται σε τέτοια συστήματα καθώς και στην λειτουργία των συστημάτων αυτών για να τα διατηρήσει διαθέσιμα (μειώνοντας την πιθανότητα αστοχίας), και παράλληλα να ελαχιστοποιήσει τις συνέπειες από μια πιθανή αστοχία.

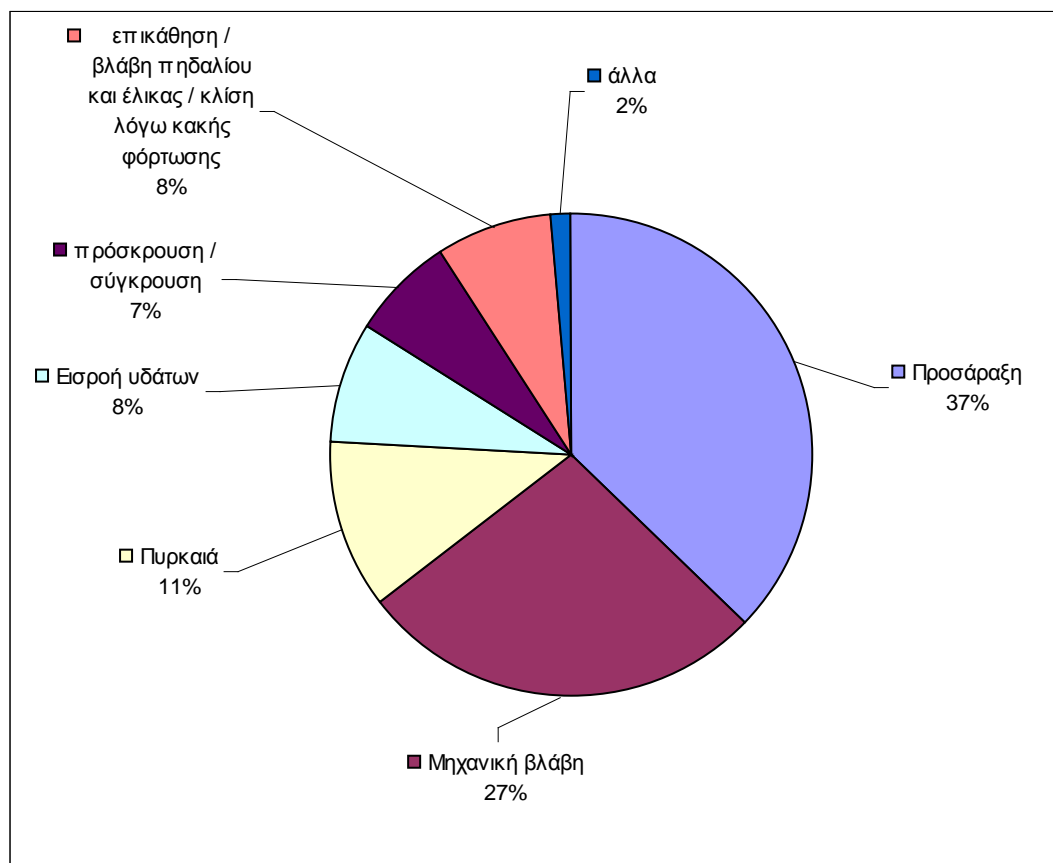
Οι αιτίες των ναυτικών ατυχημάτων μπορεί να ποικίλουν και είναι πολύ συχνά συνδυασμός διαφορετικών παραγόντων. Οι κύριες αιτίες των ναυτικών ατυχημάτων συνοψίζονται⁵⁸ παρακάτω :

- Ανθρώπινο λάθος
- Μηχανική βλάβη
- Πυρκαγιά / έκρηξη
- Αστοχία γάστρας / κατασκευής
- Αιτία ατυχήματος που σχετίζονται με τον καιρό
- Άλλη αιτία

⁵⁸ S.Kristiansen, 'Maritime Transportation – Safety Management and Risk Analysis', Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005

6.2.1 Εικόνα ατυχημάτων στην Ελλάδα

Οι διαφορετικοί τύποι ατυχημάτων που πραγματοποιήθηκαν στην Ελλάδα την περίοδο 1992-2005 απεικονίζονται στο *σχήμα 26*. Στο σύνολο των 569 ατυχημάτων που πραγματοποιήθηκαν αυτή την περίοδο, οι διαφορετικοί τύποι ατυχημάτων δείχνουν σημαντικές διαφορές στην συχνότητα εμφάνισης τους.



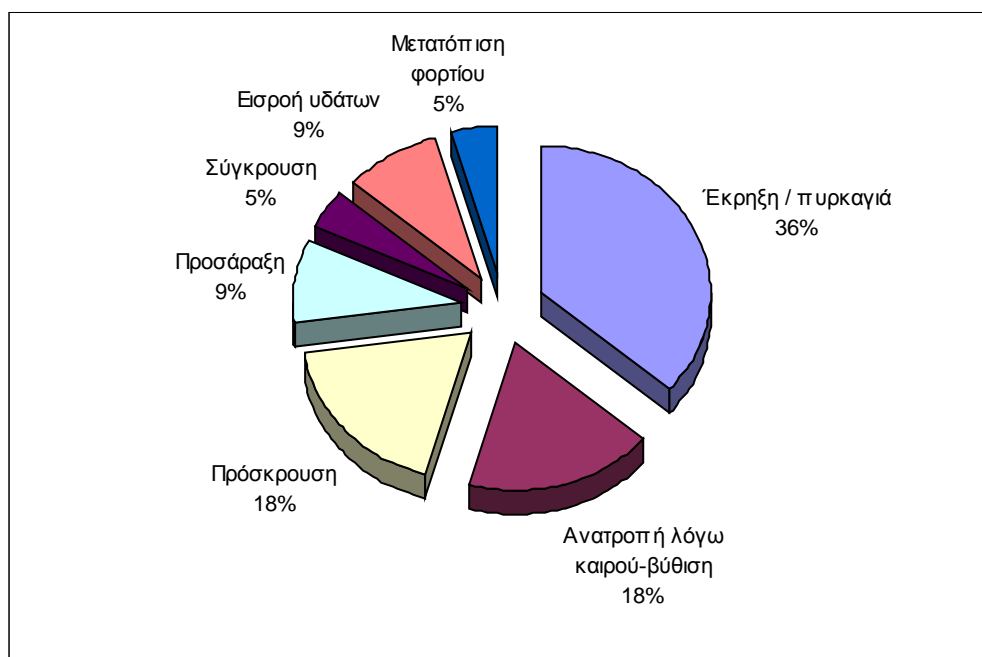
Σχήμα 26. Ποσοστιαία κατανομή των ατυχημάτων ανά κατηγορία

Η ποσοστιαία κατανομή των ατυχημάτων ανά κατηγορία δείχνει ότι τα περισσότερα ατυχήματα οφείλονται είτε από προσάραξη του πλοίου είτε από μηχανική βλάβη. Αντίθετα στο σύνολο των ατυχημάτων που οδήγησαν σε ανθρώπινες απώλειες φαίνεται να επικρατούν τα ατυχήματα που οφείλονται σε έκρηξη ή πυρκαϊά. Η ποσοστιαία ανάλυση των θανατηφόρων ατυχημάτων ανά κατηγορία απεικονίζεται στο *σχήμα 27*.

Κατά συνέπεια αν και την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης παρουσιάζουν τα ατυχήματα που οφείλονται σε προσαράξεις πλοίων, φαίνεται ότι μεγαλύτερη πιθανότητα ανθρώπινης απώλειας παρουσιάζουν τα ναυτικά ατυχήματα που οφείλονται σε έκρηξη ή πυρκαϊά. Θα μπορούσαμε λοιπόν να ισχυριστούμε ότι τα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες F-N

ατυχήματα που οφείλονται σε έκρηξη ή πυρκαγιά είναι τα πιο επικίνδυνα από την άποψη των μετρούμενων συνεπειών σε ανθρώπινες απώλειες.



Σχήμα 27 Ποσοστιαία κατανομή θανατηφόρων ατυχημάτων ανά κατηγορία

6.2.2 Ατυχήματα μεγάλης κλίμακας

Αναμφισβήτητα τα ναυτικά ατυχήματα όπως του φορτηγού πλοίου ΔΥΣΤΟΣ στις 28/12/96 που οδήγησε σε 20 ανθρώπινες απώλειες καθώς και του Ε/Γ-Ο/Γ ΕΞΗΡΕΣ ΣΑΜΙΝΑ στις Βραχονησίδες Πόρτες της Πάρου, στις 26-09-00 με 80 ανθρώπινες απώλειες χαρακτηρίστηκαν ως ατυχήματα μεγάλης κλίμακας και οδήγησαν σε κοινωνικές και πολιτικές αντιδράσεις. Πως γίνεται όμως να προσδιοριστεί ένα ατύχημα μεγάλης κλίμακας;

Σε παγκόσμιο επίπεδο δεν υπάρχει κοινός αποδεκτός ορισμός του όρου 'ατύχημα μεγάλης κλίμακας'. Εδώ θα γίνει μια προσπάθεια, όχι να οριστεί (σε μορφή απόλυτη αριθμών), αλλά να αποσαφηνιστεί ο όρος αυτός.

Τα ναυτικά ατυχήματα μεγάλης κλίμακας, είναι κυρίως αυτά που έχουν ως αποτέλεσμα ανθρώπινες απώλειες ή περιβαλλοντολογική μόλυνση, και παράλληλα αποσπών την προσοχή των Μέσων Μαζικής Ενημέρωσης καθώς και την προσοχή του κοινού. Η ιδιαίτερη προσοχή τέτοιων ατυχημάτων σχετίζεται κυρίως με το μέγεθος των συνεπειών, όπου η κοινή γνώμη αντιλαμβάνεται ως μη αποδεκτό.

Τα ναυτικά ατυχήματα μεγάλης κλίμακας ως επί το πλείστον αντιπροσωπεύουν ένα μικρό ποσοστό των ναυτικών ατυχημάτων και κατά συνέπεια η συνεισφορά τους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες F-N

στην ολική εικόνα του ρίσκου μπορεί να χαρακτηριστεί μικρή. Παρόλα αυτά, τέτοια είδους ατυχήματα συνήθως οδηγούν στην αναθεώρηση των επιπέδων ασφάλειας της ναυτιλίας. Πολιτικοί, οργανισμοί και κυβερνήσεις οδηγούνται σε ενέργειες θέσπισης νόμων για την αποφυγή τέτοιων ατυχημάτων αλλάζοντας τα επίπεδα ασφαλείας.

Μερικοί εναλλακτικοί ορισμοί από διεθνείς οργανισμούς ορίζουν τα ατυχήματα μεγάλης κλίμακας ως τα ατυχήματα που οδηγούν σε περισσότερους από 5 νεκρούς, είτε σε ατυχήματα που οδηγούν περισσότερους από 10 νεκρούς είτε σε οικονομική απώλεια μεγαλύτερη του 1.5 εκατομμυρίου δολαρίων.⁵⁹

Η δυσκολία οριοθέτησης του όρου έγκειται σε αυτή κάθε αυτή την έννοια του. Το τι, δηλαδή, αντιλαμβάνεται ο καθένας ως ατύχημα μεγάλης κλίμακας. Παράλληλα σχετίζεται άμεσα με το είδος της δραστηριότητας, την ιδιότητα των εμπλεκόμενων αλλά και στην υποκειμενική αντίληψη του καθενός για τα ατυχήματα.

Για να δειχθούν τα παραπάνω θα γίνει αναφορά σε μερικά παραδείγματα. Το ναυτικό ατύχημα του πλοίου *Λυμπέριος Α.* στις 24/1/1999 στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Κέας και Κύθνου, όπου οδήγησε σε 7 ανθρώπινες απώλειες, χαρακτηρίστηκε από την κοινωνία και τα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης ως ατύχημα μεγάλης κλίμακας. Αντίθετα ένα τροχαίο ατύχημα με κατάληξη 7 νεκρούς θα μπορούσε να χαρακτηριστεί από την κοινωνία ως ‘συνηθισμένο’ (αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο όρος αυτός). Γίνεται αντιληπτό λοιπόν πως τα ατυχήματα μεγάλης κλίμακας σχετίζονται με την δραστηριότητα. Βέβαια όμως, αν μέσα στους επτά νεκρούς του τροχαίου ατυχήματος ήταν μια τετραμελής οικογένεια, το ατύχημα αυτό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μεγάλης κλίμακας από τον κοινωνικό περίγυρο και τους συγγενείς της οικογένειας αυτής.

Το παραπάνω παράδειγμα ήταν σε αριθμητικές απώλειες, σκόπιμα ίδιο. Αυτό δεν ισχύει κατ’ ανάγκη. Συνεχίζοντας λοιπόν το παράδειγμα, η πτώση ελικοπτερου στις 11/9/2004 με 17 ανθρώπινες απώλειες εκ των οποίων ο ένας ήταν ο Αρχιμανδρίτης Αλεξάνδρειας, σε σχέση για παράδειγμα με το ατύχημα του Φ/Γ ΔΥΣΤΟΣ με 20 ανθρώπινες απώλειες, οδήγησε σε πολύ μεγαλύτερες αντιδράσεις των Μ.Μ.Ε καθώς και της κοινωνίας για το ατύχημα του στρατιωτικού ελικοπτερου. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μπορεί κανείς να ισχυριστεί ότι το ατύχημα αυτό είχε μεγαλύτερο αντίκτυπο στην κοινωνία, σε σχέση με όλα τα παραπάνω ατυχήματα παρόλο που το ατύχημα του Φ/Γ ΔΥΣΤΟΣ οδήγησε σε περισσότερους νεκρούς.

Εξ’ αιτίας των παραπάνω, είναι αρκετά δύσκολο να δώσει κανείς ένα γενικό, αντικειμενικό ορισμό για τα ατυχήματα μεγάλης κλίμακας. Τα κριτήρια για μια τέτοια οριοθέτηση πρέπει πρώτα από όλα να εμπεριέχουν :

- τον τρόπο αντίληψης του ρίσκου από την κοινωνία
- το είδος της δραστηριότητας
- την ιδιότητα των εμπλεκόμενων στο ατύχημα

⁵⁹ David J Ball, Peter J Floyd, *Societal Risks, Final Report*, HSE

6.3 Κατασκευή στατιστικής καμπύλης $F-N$ του ελληνικού εμπορικού στόλου

Σε αυτή τη παράγραφο παράγεται και παρουσιάζεται η συνολική κατάσταση ρίσκου στην Ελλάδα για το σύνολο του Ελληνικού εμπορικού στόλου, την περίοδο 1992-2005, μέσω των στατιστικών καμπυλών $F-N$. Η αναλυτική περιγραφή και η μεθοδολογία κατασκευής της καμπύλης αναφέρεται στο κεφάλαιο 4.

Βασιζόμενοι στην μεθοδολογία αυτή αρχικά καταγράφεται ο αριθμός των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς.

Πίνακας 17. Συνολικός αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς.	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.
0	541	569
0.1	4	28
0.2	2	24
1	10	22
2	4	12
2.5	1	8
4	1	7
6	1	6
7	1	5
8.3	1	4
14	1	3
20	1	2
80	1	1
Σύνολο	569	

Η πρώτη σειρά του πίνακα δείχνει τον συνολικό αριθμό των ατυχημάτων που δεν οδήγησαν σε ανθρώπινη απώλεια ή τραυματισμό. Η δεύτερη και η τρίτη σειρά αναφέρονται στα ατυχήματα εκείνα που οδήγησαν σε τραυματισμό. Η αντιστοιχία τραυματισμού και ανθρώπινης απώλειας βασίζεται στη σχέση:

$$10 \text{ τραυματισμοί} \rightarrow 1 \text{ νεκρός}$$

Για την απεικόνιση της καμπύλης $F-N$ ο αντίστοιχος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς, με $N \geq 1$ περιγράφεται από τον παρακάτω πίνακα:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες $F-N$

Πίνακας 18. Συνολικός αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς.	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.
1	10	22
2	4	12
2.5	1	8
4	1	7
6	1	6
7	1	5
8.3	1	4
14	1	3
20	1	2
80	1	1
Σύνολο	22	

Για τον υπολογισμό της συχνότητας των ατυχημάτων με N ή περισσότερους νεκρούς απαιτείται η κατανομή του ελληνικού στόλου ανά έτος. Αυτή περιγράφεται από τον πίνακα 19 :

Πίνακας 19. Δύναμη ελληνικού εμπορικού στόλου στην Ελλάδα την περίοδο 1992-2005

Έτος	Δύναμη των Ε/Γ του ελληνικού εμπορικού στόλου
1992	1822
1993	1929
1994	1923
1995	1863
1996	1743
1997	1641
1998	1545
1999	1491
2000	1529
2001	1529
2002	1548
2003	1568
2004	1540
2005	1481
Σύνολο	
14 έτη	23152 (ship-years)

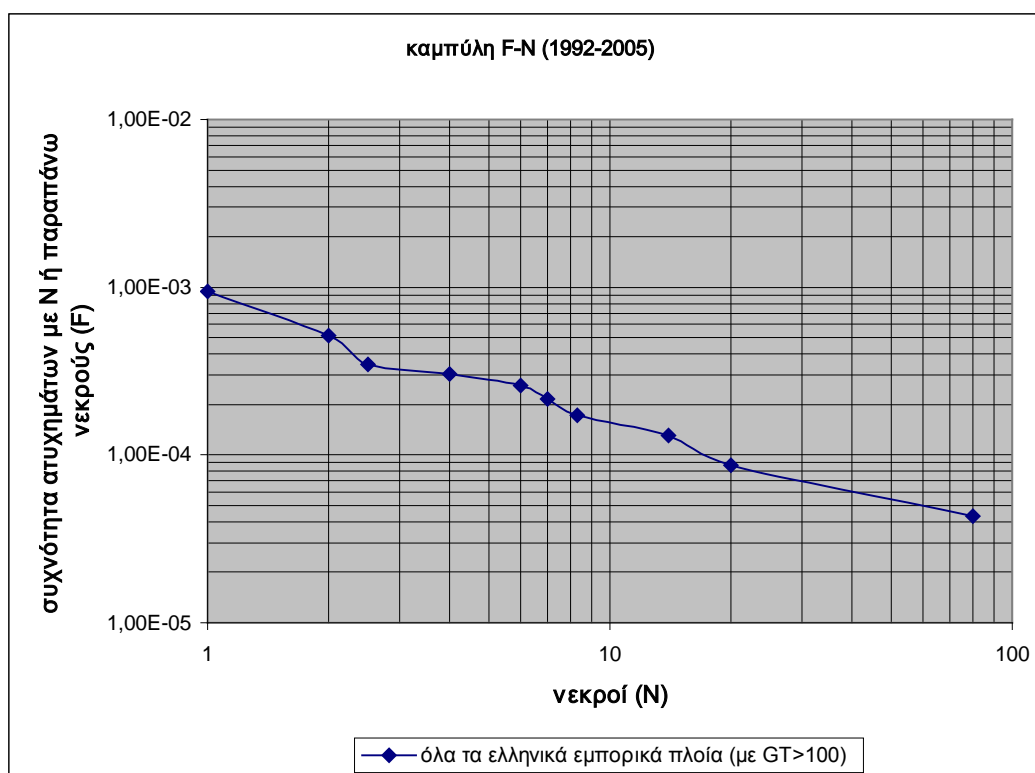
Ο υπολογισμός της αθροιστικής συχνότητας F_N βασίζεται στον υπολογισμό της συχνότητας f_N σύμφωνα με την σχέση :

$$F_N = \sum_N^{N_{\max}} f_N$$

Πίνακας 20. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων των ατυχημάτων του ελληνικού εμπορικού στόλου

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς . <i>ατυχήματα / πλοία · έτος</i>	Αθροιστική Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.
1	0.000432	0.00095
2	0.000173	0.000518
2.5	4.32E-05	0.000346
4	4.32E-05	0.000302
6	4.32E-05	0.000259
7	4.32E-05	0.000216
8.3	4.32E-05	0.000173
14	4.32E-05	0.00013
20	4.32E-05	8.64E-05
80	4.32E-05	4.32E-05

Σύμφωνα με τις παραπάνω συχνότητες κατασκευάζεται η καμπύλη $F-N$ για το σύνολο του ελληνικού εμπορικού στόλου την περίοδο 1992-2005.



Σχήμα 28. Στατιστική καμπύλη F-N συνολικού ελληνικού στόλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες $F-N$

Όπως φαίνεται από το *σχήμα 28* περιγράφεται η κατάσταση ρίσκου στην Ελλάδα για το συνολικό εμπορικό στόλο. Παρατηρείται ότι η συχνότητα ατυχημάτων με έναν ή περισσότερους νεκρούς είναι της τάξης περίπου του 10^{-3} ανά (πλοία x έτη). Η αντίστοιχη συχνότητα F_{80} για 80 ή περισσότερους νεκρούς είναι:

$$F_{80}=4.32E-05 \text{ ανά (πλοία x έτη)}$$

Το αντίστοιχο στατιστικό PLL ισούτε με:

$$PLL = \frac{159.8}{23152} = 0.0069$$

όπου τονίζεται ότι εκφράζει τον ετήσιο αριθμό νεκρών ανά πλοίο.

Πίνακας 21. Συγκεντρωτικά στοιχεία θανατηφόρων ατυχημάτων

Συγκεντρωτικός πίνακας ατυχημάτων και ποσοστιαία ανάλυση	
Διάρκεια καταγραφών	14 έτη
Θανατηφόρα ατυχήματα	22
Συνολικές ανθρώπινες απώλειες	159.8
Θανατηφόρα ατυχήματα ανά έτος	1.57
Ατυχήματα με περισσότερους από 10 νεκρούς	3
Ανθρώπινες απώλειες στο δυσμενέστερο ατύχημα	80
Ποσοστό ατυχημάτων με 1 νεκρό	45.45%
Ποσοστό ατυχημάτων από 2 έως 9 νεκρούς	40.95%
Ποσοστό ατυχημάτων με λιγότερους από 10 νεκρούς	86.4%
Ποσοστό ατυχημάτων με περισσότερους από 10 νεκρούς	13.6%

6.4 Κατασκευή στατιστικών καμπυλών $F-N$ ανά κατηγορία

Η καμπύλες αυτές προσδιορίζουν την κατάσταση ρίσκου για τα πλοία τύπου Ε/Γ καθώς και για τα πλοία όλων των τύπων εκτός των Ε/Γ. Οποιαδήποτε κατηγοριοποίηση του είδους των πλοίων εκτός των Ε/Γ, για την παραγωγή των αντίστοιχων καμπυλών (π.χ. προσδιορισμός καμπύλης $F-N$ για πλοία τύπου δεξαμενόπλοιων), οδηγεί σε υπερβολικά μικρό στατιστικό δείγμα. Αυτό οφείλεται στον πολύ μικρό αριθμό θανατηφόρων ατυχημάτων για πλοία εκτός των Ε/Γ, με αποτέλεσμα μια τέτοια απεικόνιση να θεωρείται ανεπαρκής.

Κατά όμοιο τρόπο κατασκευάζονται οι επιμέρους καμπύλες $F-N$ από τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες F-N

Πίνακας 22. Δύναμη Ε/Γ στην Ελλάδα την περίοδο 1992-2005

Έτος	Δύναμη των Ε/Γ του ελληνικού εμπορικού στόλου
1992	476
1993	495
1994	508
1995	519
1996	522
1997	524
1998	546
1999	551
2000	617
2001	678
2002	694
2003	704
2004	712
2005	476
Σύνολο	Σύνολο
14 έτη	8022 (ship-years)

Πίνακας 23. Δύναμη ελληνικού εμπορικού στόλου στην Ελλάδα εκτός των Ε/Γ την περίοδο 1992-2005

Έτος	Δύναμη του ελληνικού εμπορικού στόλου εκτός των Ε/Γ
1992	1346
1993	1434
1994	1415
1995	1344
1996	1221
1997	1117
1998	999
1999	940
2000	912
2001	851
2002	854
2003	864
2004	828
2005	1005
Σύνολο	Σύνολο
14 έτη	15130 (ship-years)

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καρπύλες
F-N**

Πίνακας 24. Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων των Ε/Γ του ελληνικού εμπορικού στόλου που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς.	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.
1	2	6
2	1	4
8.3	1	3
14	1	2
80	1	1
Σύνολο	6	

Πίνακας 25. Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων του ελληνικού εμπορικού στόλου εκτός των Ε/Γ που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς.	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.
1	8	16
2	3	8
2.5	1	5
4	1	4
6	1	3
7	1	2
20	1	1
Σύνολο	16	

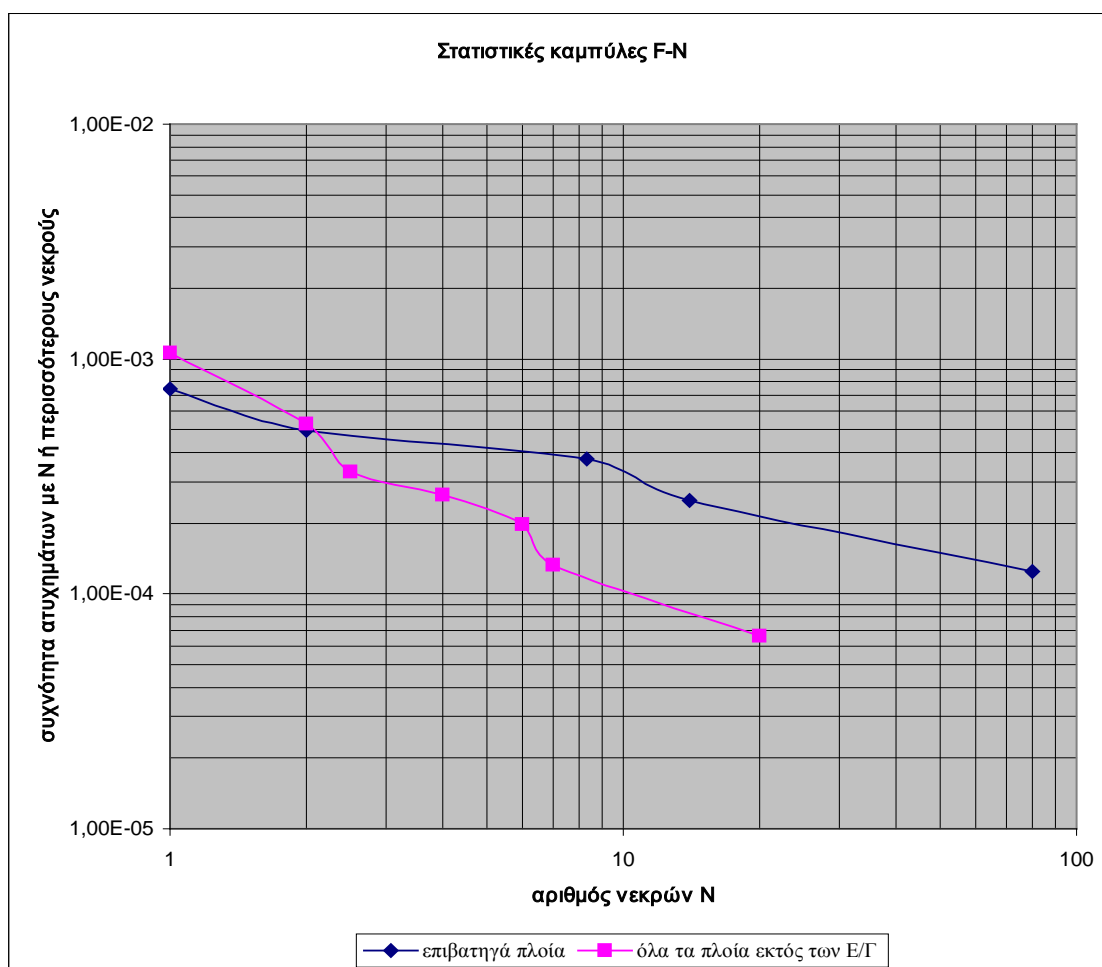
Πίνακας 26. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων ατυχημάτων των Ε/Γ του ελληνικού εμπορικού στόλου

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς . $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{πλοία} \cdot \text{έτος}}$	Αθροιστική Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.
1	0.000249	0.000748
2	0.000125	0.000499
8.3	0.000125	0.000374
14	0.000125	0.000249
80	0.000125	0.000125

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες F-N

Πίνακας 27. Υπολογισμός συχνοτήτων και αθροιστικών συχνοτήτων ατυχημάτων του ελληνικού εμπορικού στόλου εκτός των Ε/Γ

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς . <i>ατυχήματα / πλοία · έτος</i>	Αθροιστική Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.
1	0.000432	0.00095
2	0.000173	0.000518
2.5	4.32E-05	0.000346
4	4.32E-05	0.000302
6	4.32E-05	0.000259
7	4.32E-05	0.000216
20	4.32E-05	0.000173



Σχήμα 29. Στατιστική καμπύλη πλοίων ανά κατηγορία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ανάλυση στατιστικών στοιχείων – Στατιστικές καμπύλες $F-N$

Όπως φαίνεται από το σχήμα περιγράφεται κατάσταση ρίσκου στην Ελλάδα για δύο κατηγορίες πλοίων:

- για όλα τα πλοία εκτός των Ε/Γ
- πλοία Ε/Γ

Παρατηρείται ότι η συχνότητα ατυχημάτων με έναν ή περισσότερους νεκρούς για όλα τα πλοία εκτός των Ε/Γ είναι της τάξης περίπου του 10^{-3} ανά (πλοία x έτη). Η αντίστοιχη συχνότητα για τα πλοία Ε/Γ είναι ελαφρώς μικρότερη. Όσο αυξάνεται όμως ο αριθμός των νεκρών ανά ατύχημα η καμπύλη $F-N$ για τα πλοία Ε/Γ βρίσκεται σε υψηλότερη σχετική θέση, κάτι που καθιστά τα πλοία Ε/Γ λιγότερο ασφαλή, από τις άλλες κατηγορίες πλοίων, για ατυχήματα με πολλαπλό αριθμό νεκρών. Πρέπει να σημειωθεί όμως στα πλοία τύπου Ε/Γ ο μέγιστος αριθμός ανθρώπων (πλήρωμα και επιβάτες) είναι πολύ μεγαλύτερος από οποιοδήποτε άλλο τύπου πλοίο. Έτσι όπως ήταν αναμενόμενο η στατιστική καμπύλη $F-N$ για πλοία τύπου Ε/Γ έχει μεγαλύτερο εύρος ως προς τον αριθμό των νεκρών, από την αντίστοιχη στατιστική καμπύλη $F-N$ για όλα τα πλοία εκτός των Ε/Γ.

Το αντίστοιχο στατιστικό PLL για πλοία τύπου Ε/Γ ισούτε με:

$$PLL = \frac{106.3}{8022} = 0.01325$$

ενώ το στατιστικό PLL για όλα τα πλοία εκτός των Ε/Γ ισούτε με:

$$PLL = \frac{53.5}{15130} = 0.0035$$

όπου τονίζεται ξανά ότι εκφράζουν τον ετήσιο αριθμό νεκρών ανά πλοίο συγκεκριμένου τύπου.

Κεφάλαιο 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

7.1 Εισαγωγή

Η πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου είναι μια περιεκτική, δομημένη και λογική μέθοδος ανάλυσης για την εκτίμηση του ρίσκου σε πολύπλοκα τεχνολογικά συστήματα για τη βελτίωση της ασφάλειας και της απόδοσης τους. Πλέον εφαρμόζεται στους περισσότερους τομείς όπως στις μεταφορές, στον κατασκευαστικό τομέα, στη χημική και πυρηνική βιομηχανία, στην αεροδιαστημική βιομηχανία ακόμη και για οικονομική διαχείριση.

Κυρίως σήμερα εφαρμόζεται ως εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων, διαμορφώνοντας έτσι μια νέα περιοχή στην διαχείριση ρίσκου. Αν και έχει τις βάσεις της στη θεωρία αξιοπιστίας διαφέρει κατά πολύ από αυτήν, καθώς έχει αλλάξει ο τρόπος που οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται την ασφάλεια.

Ο σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι μια περιγραφή μερικών μεθόδων που εφαρμόζονται σε μια πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου. Μείζονος σημασίας σε μια τέτοια ανάλυση είναι ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας. Έτσι, παράλληλα θα επιχειρηθεί να προσδιοριστεί τι σημαίνει ο όρος αβεβαιότητα αλλά και πως μπορεί να υπολογιστεί.

7.2 Τι είναι η Πιθανοθεωρητική Εκτίμηση Ρίσκου (Probabilistic Risk Assessment (PRA));

Η Πιθανοθεωρητική Εκτίμηση Ρίσκου είναι μια συνδυασμένη μεθοδολογία και μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερα βήματα, όπως αυτά πραγματοποιούνται στην πυρηνική και αεροδιαστημική βιομηχανία.^{60, 61}

Πρώτο βήμα: ο προσδιορισμός των ανεπιθύμητων γεγονότων. Μερικά τέτοια παραδείγματα ανεπιθύμητων γεγονότων είναι οι πετρελαιοκηλίδες, ανθρώπινες απώλειες κτλ.

Δεύτερο βήμα: για κάθε από τα γεγονότα που προσδιορίστηκαν στο προηγούμενο βήμα, προσδιορίζεται η ατυχηματική σειρά, τα οποία είναι και τα σενάρια. Αυτό πραγματοποιείται με την χρήση λογικών διαγραμμάτων. Τα σενάρια αυτά περιέχουν γεγονότα όπως : αστοχία εξοπλισμού, ανθρώπινο λάθος, καθώς και ακραία γεγονότα όπως σεισμοί κτλ.

⁶⁰ Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters, 'Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners', August, 2002

⁶¹ Nuclear News Magazine, 'Apostolakis: On PRA', March 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Τρίτο βήμα: υπολογίζεται η πιθανότητα πραγματοποίησης κάθε σεναρίου. Στατιστικά στοιχεία και εκτιμήσεις ειδικών πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν στο βήμα αυτό.

Τέταρτο βήμα: στο τελευταίο βήμα, αφού οι πιθανότητες έχουν ήδη υπολογιστεί, αριθμείται η ατυχηματική ακολουθία σύμφωνα με την πιθανότητα πραγματοποίησης. Αυτό γίνεται για την ορθότερη διαχείριση του ρίσκου, καθώς γνωρίζοντας τους παράγοντες που συνεισφέρουν για την πραγματοποίηση αυτών των γεγονότων, όπως αυτά προσδιορίστηκαν στο πρώτο βήμα, η διαχείριση του ρίσκου πραγματοποιείται με γνώμονα των παραγόντων που συμβάλλουν περισσότερο στο κάθε ατυχηματικό γεγονός.

Το αποτέλεσμα της Πιθανοθεωρητικής Εκτίμησης Ρίσκου είναι η πιθανότητα για κάθε ανεπιθύμητο γεγονός και η αναφορά στους κύριους παράγοντες που οδηγούν σε αυτό.

7.3 Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου σε άλλες βιομηχανίες

Η πιθανοθεωρητική ανάλυση και εκτίμηση ρίσκου παρέχει πρακτικές τεχνικές οι οποίες μπορούν να εκτιμήσουν μελλοντικές καταστάσεις καθώς και για την ορθότερη διαχείριση του ρίσκου και έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος σύνθετων συστημάτων. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων συστημάτων στα οποία η πιθανοθεωρητική ανάλυση ρίσκου έχει εφαρμοστεί επιτυχημένα είναι : πυρηνική βιομηχανία, αεροδιαστημική και χημική βιομηχανία.

7.3.1 Αεροδιαστημική βιομηχανία

Οι πρώτες προσπάθειες για την συστηματική μεθοδολογία εκτίμησης ρίσκου στην αεροδιαστημική βιομηχανία άρχισαν μετά το ατύχημα της εκτόξευσης του APOLLO AS-204 στις 27/01/1967 κατά το οποίο σκοτώθηκαν και οι 3 αστροναύτες που συμμετείχαν στην αποστολή. Μόνο αυτό το ατύχημα έθεσε την NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) 18 μήνες πίσω, για αναθεώρηση των πρακτικών της. Παράλληλα έχασε μεγάλο μέρος στήριξης της κοινωνίας ενώ στοίχισε επιπλέον 410 εκατομμύρια δολάρια. Πριν το ατύχημα του APOLLO, τα επίπεδα ποιότητας και ασφάλειας της NASA, βασιζόντουσαν στην καλή πρακτική των κατασκευαστών και των μηχανικών της.

Αν και η αεροδιαστημική βιομηχανία έχει αποδείξει ότι είναι πρωτοπόρος στις περισσότερες τεχνολογίες και στις εφαρμογές τους, η NASA απέφυγε να ενσωματώσει την πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου για την διαχείριση των αποδεκτών επιπέδων ασφαλείας μετά το ατύχημα του APOLLO AS-204. Παρόλο δηλαδή που την εφάρμοσε, απέφυγε να την υιοθετήσει. Έτσι την ίδια χρονική

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

περίοδο η πυρηνική βιομηχανία ενσωματώνει τέτοιες πρακτικές για την διαχείριση του ρίσκου και της ασφάλειας, ως λύση για την ‘επιβίωση’ της.⁶²

Ο λόγος για την απόρριψη ποιοτικής ανάλυσης ρίσκου στην αεροδιαστημική βιομηχανία εκείνη την εποχή ήταν οι χαμηλές αριθμητικές εκτιμήσεις της πιθανότητας ατυχήματος οι οποίες δεν μπορούσαν να εγγυηθούν την ασφάλεια του τομέα αυτού. Ο Wiggins αναφέρει για το θέμα αυτό:

‘...το πρόβλημα με την ποσοτικοποίηση εκτίμησης ρίσκου είναι ότι απορρέουν αριθμοί, οι αριθμοί αυτοί αντιμετωπίζονται ως απόλυτη εκτίμηση...Αυτοί οι αριθμοί λαμβάνονται ως πραγματικότητα, αντί για αυτό που πραγματικά είναι : υποκειμενικές εκτιμήσεις τις πιθανότητας και των επιπέδων κινδύνου...’⁶³

Βέβαια, οι πραγματικοί λόγοι απόρριψης της πιθανοθεωρητικής εκτίμησης ρίσκου ήταν διότι οι αρχικές εκτιμήσεις των πιθανοτήτων καταστροφικής αστοχίας ήταν αρκετά υψηλές ώστε η υιοθέτηση τους ή ακόμα και η δημοσίευση τέτοιων στοιχείων, θα μπορούσαν να απειλήσουν την βιωσιμότητα ολόκληρου του διαστημικού προγράμματος.⁶⁴

Μόλις μετά το ατύχημα του Challenger η πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου έγινε ένα χρήσιμο και ιδιαίτερα σεβαστό εργαλείο για την εκτίμηση της ασφάλειας στην αεροδιαστημική. Αξίζει να σημειωθεί ότι πριν το ατύχημα του Challenger η πιθανότητα αστοχίας του προωθητικού πυραύλου (ο οποίος και τελικά αστόχησε) εκτιμούταν από τους ειδικούς στο 1 στις 100.000 αντίθετα με τις πιθανοθεωρητικές εκτιμήσεις τις οποίας η πιθανότητα εκτιμούταν περίπου στις 1 στις 35. Πλέον η NASA χρησιμοποιεί σε όλα τα προγράμματά της τέτοιες τεχνικές απόδοσης για την βελτίωση της ασφάλειας αλλά και για την βελτίωση της του κάθε προγράμματος.

7.3.2 Πυρηνική βιομηχανία⁶⁵

Η εφαρμογή και η δημιουργία της Πιθανοθεωρητικής Εκτίμησης Ρίσκου είναι συνδεδεμένη με την ιστορία της πυρηνικής βιομηχανίας. Στις αρχές της εξέλιξης της πυρηνικής ενέργειας, τις δεκαετίες του ’50 και ’60 οι υπεύθυνοι για την κατασκευή των πυρηνικών αντιδραστήρων ήξεραν ότι οι πιθανές συνέπειες από ένα τέτοιο ατύχημα θα ήταν καταστροφικές. Ήταν πολύ σημαντικό να διατηρήσουν τις πιθανότητες ατυχήματος πολύ χαμηλά. Το πρόβλημα ήταν ότι δεν μπορούσαν να ποσοτικοποιήσουν τις πιθανότητες αυτές, για να τις διατηρήσουν σε χαμηλά επίπεδα.

⁶²Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters, ‘Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners’, August, 2002

⁶³Wiggins, 1985

⁶⁴R. Cooke, T. Bedford, ‘Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods’, Cambridge University Press

⁶⁵Nuclear News Magazine, ‘Apostolakis: On PRA’, March 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Οι πρώτες προσεγγίσεις ανάγονταν σε ντετερμινιστικές προσεγγίσεις κατά τις οποίες εξετάζονταν ποιες πιθανές αστοχίες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ένα τέτοια ατύχημα. Ο R. Farmer το 1967 εισήγαγε μια νέα προσέγγιση για την ασφάλεια των πυρηνικών αντιδραστήρων και κατ' επέκταση ολόκληρης της πυρηνικής βιομηχανίας. Ο Farmer υποστήριξε ότι δεν υπάρχουν πιθανά και απίθανα ατυχήματα, αλλά πρέπει να εξεταστεί ολόκληρο το φάσμα των ατυχημάτων. Πρότεινε την εξέταση της σειράς των γεγονότων και τη δημιουργία ατυχηματικών σεναρίων. Παράλληλα πρότεινε και κριτήρια αποδοχής του ρίσκου. Ουσιαστικά σχημάτισε τον πυρήνα μιας Πιθανοθεωρητικής Εκτίμησης Ρίσκου.

Η πρώτη ολοκληρωμένη Πιθανοθεωρητική Εκτίμηση Ρίσκου, στην μορφή που πραγματοποιείται και σήμερα, έγινε το 1975 στις Ηνωμένες Πολιτείες με το όνομα '*Reactor Safety Study*', η οποία έφερε πολλές αναταραχές και επικρίσεις για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Τελικά το 1979 ο οργανισμός υπεύθυνος για την ασφάλεια σχετικά με την πυρηνική ενέργεια στις Ηνωμένες Πολιτείες '*Nuclear Regulatory Commission(NRC)*' κράτησε αποστάσεις σε ότι αφορά την αξιοπιστία τις μελέτης αυτής, καθώς υποστήριξε ότι μια τέτοια αριθμητική εκτίμηση του ολικού ρίσκου δεν είναι αξιόπιστη.

Ήταν μόνο λίγους μήνες μετά όπου πραγματοποιήθηκε το ατύχημα στο Three Mile Island. Η μελέτη '*Reactor Safety Study*' πραγματικά προέβλεπε την ατυχηματική σειρά των γεγονότων όπως αυτό το ατύχημα πραγματοποιήθηκε. Ως τότε οι πιθανότητες σχετικά με την σειρά των γεγονότων, ειδικά όσον αφορά το ανθρώπινο λάθος, δεν φάνταζαν καθόλου ρεαλιστικές.

Σήμερα η διαχείριση της ασφάλειας στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας πραγματοποιείται με τέτοιες αριθμητικές εκτιμήσεις, βάση των οποίων έχουν εκδοθεί και αντίστοιχες οδηγίες για την ασφάλεια της πυρηνικής βιομηχανίας.

7.3.3 Χημική βιομηχανία

Στον τομέα τις χημικής βιομηχανίας οι κυβερνητικές αρχές υιοθέτησαν τεχνικές πιθανοθεωρητικής ανάλυσης ρίσκου για την εκτίμηση της κοινωνικής έκθεσης σε κίνδυνο με σκοπό την λήψη μέτρων και αποφάσεων. Κυρίως η Ολλανδία έχει ενσωματώσει τέτοια αποτελέσματα πιθανοθεωρητικών εκτιμήσεων και νομοθετεί βάση αυτών των αποτελεσμάτων, ενώ οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες έχουν εκδώσει οδηγίες για τις χημικές εγκαταστάσεις, κυρίως σε ότι αφορά τις εκπομπές διοξινών στην ατμόσφαιρα. Για άλλη μια φορά ατυχήματα μεγάλης κλίμακας, όπως το ατύχημα στην νήσο Canvey και το ατύχημα στη πόλη Seveso της Ιταλίας, οδήγησαν στην λήψη τέτοιων αποφάσεων.

Έτσι για την Ολλανδία σε νέες εγκαταστάσεις, το μέσο ετήσιο ατομικό ρίσκο σε οποιοδήποτε σημείο γύρω από την εγκατάσταση, δεν πρέπει να ξεπερνά το 10^{-6} . Το συλλογικό ρίσκο προσδιορίζεται στο ότι η πιθανότητα 10^n ανθρώπινων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

απωλειών (με $n > 1$) δε πρέπει να ξεπερνάει το 10^{-3-2n} ανά έτος. Αν η πιθανότητα ξεπεράσει την τιμή 10^{-5-2n} ανά έτος απαιτούνται μέτρα για την μείωση του ρίσκου.

Κανονισμοί βασισμένοι σε πιθανοθεωρητικές εκτιμήσεις του ρίσκου είναι πλέον κοινός τόπος σε πολλούς διαφορετικούς τομείς.

7.4 Μεταβλητότητα και αβεβαιότητα

Πρώτιστη σημασία για την εφαρμογή των τεχνικών της πιθανοθεωρητικής ανάλυσης και εκτίμησης ρίσκου είναι η ενσωμάτωση της αβεβαιότητας στις τεχνικές αυτές. Στο μέρος αυτό θα γίνει μια προσπάθεια αποσαφήνισης του όρου αυτού αλλά και μια επιλεκτική αναφορά των τρόπων και τεχνικών για το πώς μπορεί να ποσοτικοποιηθεί το μέγεθος αυτό.

Από τη σχετική βιβλιογραφία αναγνωρίστηκαν πληθώρα ορισμών της έννοιας αβεβαιότητας. Ίσως ο πιο γενικός ορισμός συνοψίζεται ως :
'Αβεβαιότητα είναι μια γενική ιδέα, η οποία αντικατοπτρίζει την έλλειψη γνώσης ή πληροφοριών για κάποιο θέμα' ⁶⁶

Η κατανόηση και η μοντελοποίηση της αβεβαιότητας τόσο στα μοντέλα πρόβλεψης όσο και στα μοντέλα αποφάσεων είναι το κλειδί για την ορθή αποτίμηση του ρίσκου. Η εξέταση της αβεβαιότητας σε μια διαδικασία αποφάσεων επιδιώκει να ποσοτικοποιήσει την έλλειψη πληροφοριών και κατά συνέπεια να παρέχει στον λήπτη αποφάσεων επιπλέον πληροφορίες στις οποίες να στηρίξει την απόφαση του.

Μια αναφορά στους αγγλικούς όρους που περιγράφουν την αβεβαιότητα ⁶⁷ , σύμφωνα με την αντίστοιχη βιβλιογραφία συγκεντρώνεται παρακάτω :

- *Aleatory uncertainty*
- *External uncertainty*
- *Inherent uncertainty*
- *Objective uncertainty*
- *Random uncertainty*
- *Stochastic uncertainty*
- *Irreducible uncertainty*
- *Fundamental uncertainty*
- *Real world uncertainty*
- *Epistemic uncertainty*
- *Functional uncertainty*
- *Internal uncertainty*
- *Subjective uncertainty*
- *State-of-knowledge uncertainty*

⁶⁶ PB Sayers, BP Gouldby, JD Simm, I Meadowcroft, J Hall Risk, 'Performance and Uncertainty in Flood and Coastal Defence – A Review', 2003

⁶⁷ (NRC (2000), Van Gelder (1999), Environment Agency (2000a) and MAFF(2000))

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Δυστυχώς οι παραπάνω ορισμοί της αβεβαιότητας περιγράφουν εν μέρει διαφορετικές έννοιες, δημιουργώντας έτσι παρερμηνείες και προβλήματα σχετικά με την ερμηνεία και την χρήση των όρων αυτών.

Οι τόσο διαφορετικοί τύποι της αβεβαιότητας μπορούν να διαχωριστούν ικανοποιητικά, *σε δύο κατηγορίες διαφορετικές μεταξύ τους*: τη μεταβλητότητα και την αβεβαιότητα. Η μεταβλητότητα είναι ένα φαινόμενο του φυσικού κόσμου που μπορεί να μετρηθεί και να αναλυθεί. Αντίθετα η αβεβαιότητα είναι μέρος της γνώσης που κατέχεται. Αυτές οι δυο συνιστώσες, σε συνδυασμό, εκφράζουν την αδυναμία για την ακριβή πρόβλεψη μελλοντικών γεγονότων και καταστάσεων. Αναλυτικότερα:

7.4.1 Μεταβλητότητα (*variability*)

Αποτελείται από τυχαία φαινόμενα ή γεγονότα τα οποία είναι συνάρτηση του συστήματος που το περιγράφουν. **Η μεταβλητότητα δεν μπορεί να περιοριστεί μέσα από πειράματα ή παρατηρήσεις**, αλλά μπορεί να περιοριστεί δια μέσω μιας αλλαγής του συστήματος που περιγράφει το φαινόμενο. Η πιθανότητα μαζί με το εύρος των δυνατών αποτελεσμάτων αποτελούν τα δύο στοιχεία της μεταβλητότητας.

7.4.2 Αβεβαιότητα (*uncertainty*)

Είναι ο βαθμός έλλειψης στοιχείων ή καλύτερα το επίπεδο άγνοιας των παραμέτρων ενός μοντέλου όπου προσδιορίζουν ένα φυσικό σύστημα. Ορισμένες φορές **η αβεβαιότητα μπορεί να περιοριστεί μέσα από παρατηρήσεις ή μελέτες**. Από την φύση του ορισμού της είναι ένα μέγεθος υποκειμενικό, καθώς προσδιορίζεται από τον εκάστοτε εκτιμητή. Παρόλα αυτά υπάρχουν πληθώρα μελετών που επιτρέπουν την ‘αντικειμενική’ ποσοτικοποίηση του υποκειμενικού αυτού μεγέθους.

7.4.3 Ένα παράδειγμα διαφοράς της αβεβαιότητας με την μεταβλητότητα⁶⁸

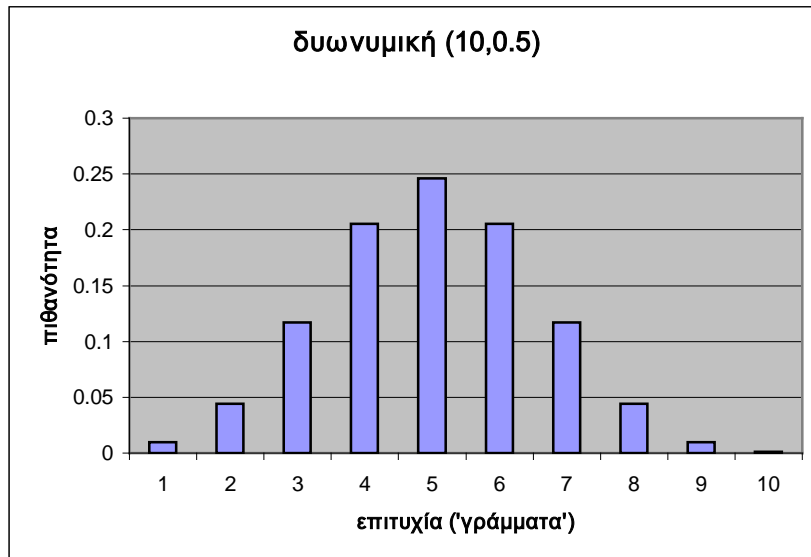
Θα δανειστούμε δύο παραδείγματα από την θεωρία πιθανοτήτων, για να αποσαφηνίσουμε με απλό τρόπο την διαφορά μεταξύ μεταβλητότητας και αβεβαιότητας.

Η ρίψη ενός νομίσματος έχει ως αποτέλεσμα είτε κορόνα είτε γράμματα με πιθανότητα 50% το κάθε αποτέλεσμα. Το αποτέλεσμα κάθε ρίψης είναι ανεξάρτητο από τις προηγούμενες ενώ η σ.μ.π. του αποτελέσματος ‘γράμματα’ σε

⁶⁸ David Vose, ‘Risk Analysis. A quantitative guide- second edition’ John Wiley & Sons, LTD

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

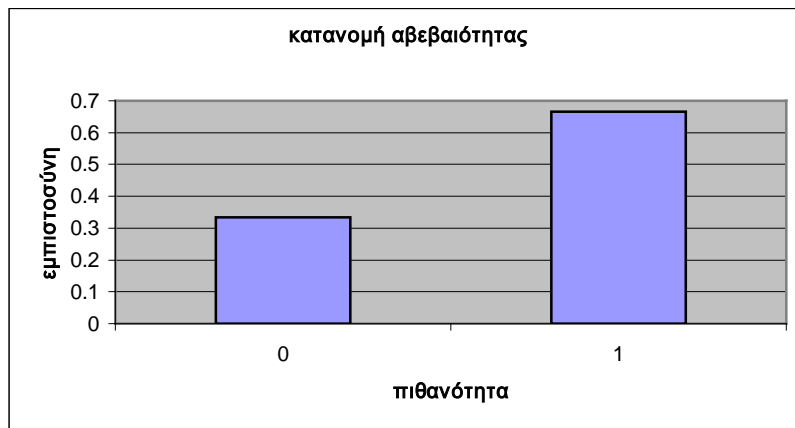
n ρίψεις περιγράφεται από την διωνυμική κατανομή $Binomial(n,0.5)$ (περισσότερα για τις κατανομές αναφέρονται σε επόμενες παραγράφους). Αν υποθεθούν 10 ρίψεις ($n=10$) η αντίστοιχη κατανομή είναι :



Σχήμα 30. Τυπικό παράδειγμα κατανομής μεταβλητότητας

Ο αριθμός των επιτυχιών είναι μια τυχαία μεταβλητή και καθώς ο αριθμός των επιτυχιών δεν είναι γνωστός αλλά ακολουθεί μια στοχαστική διαδικασία. Αυτή η κατανομή εκφράζει καθαρά τη μεταβλητότητα του συστήματος, δηλαδή τις δυνατές τιμές. Όπως φαίνεται στο παράδειγμα ο πιο πιθανός αριθμός 'γράμμάτων' είναι 5. Εδώ η αβεβαιότητα του συστήματος δεν υπάρχει καθώς όλοι οι παράμετροι του προβλήματος θεωρούνται γνωστοί ($n=10, p=0.5$). Έτσι η κατανομή των πιθανοτήτων είναι κατανομή της μεταβλητότητας του συστήματος.

Ας θεωρηθεί τώρα ένα κλειστό κουτί το οποίο περιέχει 10 μπάλες, οι 6 από τις οποίες είναι μαύρες, ενώ οι άλλες 4 είναι άσπρες. Επιλέγεται τυχαία μία μπάλα, χωρίς να αποκαλυφθεί το χρώμα της, και τοποθετείται σε ένα άλλο κλειστό κουτί. Η πιθανότητα να είναι μαύρη, είναι $6/10=60\%$. Κατόπιν επιλέγεται μία άλλη μπάλα η οποία αποκαλύπτεται ότι είναι άσπρη. Τώρα η πιθανότητα ο πρώτη μπάλα να ήταν μαύρη είναι $6/9=66,6\%$. Αλλά αυτό είναι παράξενο καθώς είναι δύσκολο να δεχτεί κανείς ότι η πιθανότητα άλλαξε από γεγονός που συνέβησαν έπειτα από την αρχική επιλογή. Το πρόβλημα έγκειται στον ορό 'πιθανότητα'. Όταν η πρώτη τοποθετείται στο άλλο κουτί, η μπάλα είτε είναι μαύρη είτε άσπρη. Δηλαδή η πιθανότητα μπορεί να πάρει τιμές είτε 1 είτε 0 αντίστοιχα. Αυτή είναι μια κατανομή αβεβαιότητας για την πραγματική τιμή της πιθανότητας. Το χρώμα της μπάλας είναι ένα, αλλά δεν είναι γνωστό, μπορούν όμως να συγκεντρωθούν πληροφορίες για τον προσδιορισμό του. Μετά την αποκάλυψη της δεύτερης μπάλας, υπάρχει μια νέα πληροφορία για την πραγματική τιμή της πιθανότητας η οποία μας πληροφορεί ότι τώρα είμαστε 66.6% σίγουροι ότι είναι μαύρη(η πιθανότητα όμως να είναι μαύρη είναι είτε 0, είτε 1 δεδομένου ότι ήδη έχει τοποθετηθεί στο κλειστό κουτί). Η αντίστοιχη κατανομή είναι :



Σχήμα 31. Τυπικό παράδειγμα κατανομής αβεβαιότητας

Ο οριζόντιος άξονας δείχνει ότι η πιθανότητα μπορεί να πάρει είτε την τιμή 0, είτε την τιμή 1. Το εξεταζόμενο πρόβλημα είναι μια ντετερμινιστική διαδικασία, δεν περιέχει δηλαδή καθόλου μεταβλητότητα, παρά μόνο την έλλειψη γνώσης, της πραγματικής τιμής.

7.5 Σύνδεση της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας με το ρίσκο στην ναυτιλία

Το κοινωνικό ρίσκο τόσο στην ναυτιλία όσο και στους άλλους τομείς / εγκαταστάσεις / μεταφορές, περιγράφεται με τις καμπύλες $F-N$, καθώς είναι κοινά αποδεκτό ότι μια τέτοια απεικόνιση περιγράφει καλύτερα το κοινωνικό ρίσκο, όταν οι συνέπειες περιορίζονται στις ανθρώπινες απώλειες. Κατά συνέπεια θα εξεταστεί η έννοια της μεταβλητότητας και αβεβαιότητας μέσα από τα διαγράμματα $F-N$.

Τα διαγράμματα $F-N$ όμως περιγράφουν την αποτίμηση του κοινωνικού ρίσκου, μέσα από τη καμπύλη $F-N$, καθώς και την αποδοχή του κοινωνικού ρίσκου, μέσα από τα προτεινόμενα όρια. Σκόπιμο θεωρείται να εξεταστεί κάθε περίπτωση χωριστά.

Αξίζει να σημειωθεί ότι έως τώρα μια τέτοια διάκριση δεν έχει γίνει. Δηλαδή για πρώτη φορά εισάγονται οι έννοιες της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας για την αποτίμηση και την αποδοχή του ρίσκου στην ναυτιλία μέσω των καμπυλών $F-N$. Αλλά ας δειχθούν αυτά αναλυτικότερα.

7.5.1 Καμπύλη $F-N$

Η κατανομή της $F-N$ καμπύλης αντιπροσωπεύει την κατάσταση γνώσης μας για το κοινωνικό ρίσκο. Για την κατασκευή της καμπύλης $F-N$ ο αριθμός των νεκρών θεωρείται ως τυχαία μεταβλητή. Μια τυχαία μεταβλητή όμως, μπορεί να έχει διαφορετικά αποτελέσματα, ακόμη και αν το πείραμα εκτελείται με τον ίδιο τρόπο κάθε φορά.

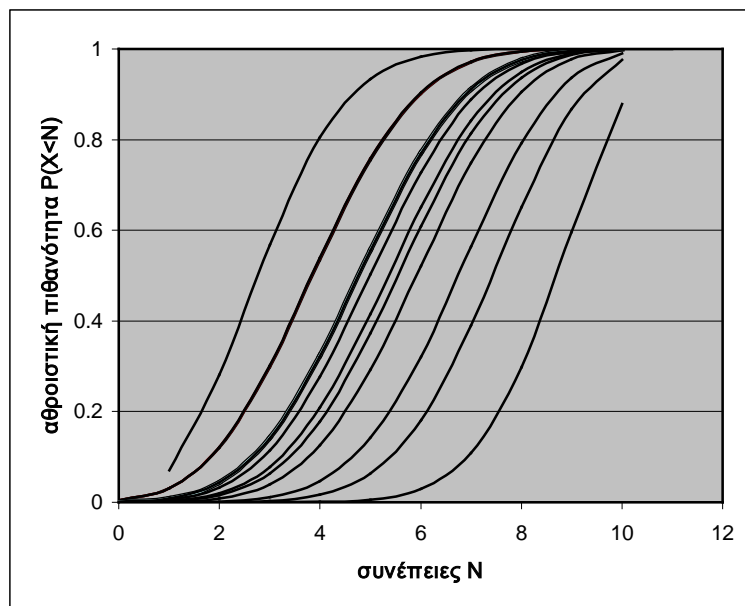
Αγνοώντας την αβεβαιότητα για τη πραγματική τιμή της πιθανότητας μιας τυχαίας μεταβλητής, οδηγεί σε μια (μοναδική) καμπύλη όπου εκφράζει μια μέση δυνατή πραγματικότητα η οποία μπορεί και να μη πραγματοποιηθεί ποτέ.

Κατά συνέπεια η μεταβλητότητα σε μια καμπύλη $F-N$ προσδιορίζει όλες τις πιθανές ανθρώπινες απώλειες, ενώ η αβεβαιότητα προσδιορίζει τις πραγματικές τιμές της πιθανότητας για κάθε δυνατό αριθμό νεκρών x_i . Αυτό το νέφος καμπυλών $F-N$ είναι που προσδιορίζει την κατάσταση γνώσης μας για το κοινωνικό ρίσκο.

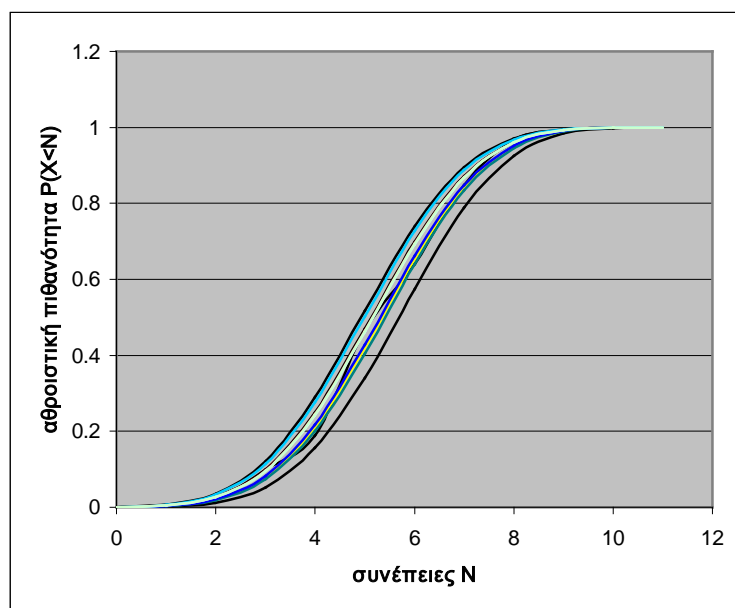
Για την αποτύπωση των παραπάνω στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, η μεταβλητότητα προσδιορίζεται από τη στοχαστική διαδικασία που περιγράφει το σύστημα (καθώς δίνει τις δυνατές τιμές x_i), ενώ η αβεβαιότητα προσδιορίζεται από τις τιμές που μπορούν να πάρουν οι παράμετροι που προσδιορίζουν την κατανομή (καθώς προσδιορίζει το φάσμα της κατανομής).

Για τον ίδιο λόγο που οι καμπύλες $F-N$ είναι το καλύτερο εργαλείο για την αποτίμηση του ρίσκου, καθώς δεν απεικονίζουν το ρίσκο με έναν αριθμό αλλά με μια καμπύλη, έτσι και το νέφος καμπυλών δίνει περισσότερες πληροφορίες για τον χαρακτηρισμό του ρίσκου σε σχέση με μια καμπύλη $F-N$. Τονίζεται πάλι ότι μια (μοναδική) καμπύλη εκφράζει μια μέση δυνατή πραγματικότητα η οποία μπορεί και να μη πραγματοποιηθεί ποτέ. Ένα νέφος καμπυλών δίνει την δυνατότητα εκτίμησης για το που μπορεί να κυμανθούν τα εκάστοτε επίπεδα του ρίσκου καθώς και για το πόσο βέβαιοι μπορούμε να είμαστε για τις τιμές αυτές.

Εκτός από το γεγονός ότι μια τέτοια προσέγγιση είναι μαθηματικά ορθότερη η εισαγωγή και ο διαχωρισμός της μεταβλητότητας και της αβεβαιότητας στις καμπύλες $F-N$ δίνουν και ένα άλλο πλεονέκτημα. Δίνει τη δυνατότητα να αναγνωρίσουμε αν το μεγαλύτερο μέρος της εκτίμησης προέρχεται από την αβεβαιότητα ή τη μεταβλητότητα. Συνεπώς όταν στο μοντέλο, το μέγεθος που επικρατεί είναι η αβεβαιότητα (σχήμα 32), τότε αυτό δείχνει είναι απαραίτητο να ληφθούν περισσότερες πληροφορίες για την καλύτερη εκτίμηση της μελλοντικής κατάστασης. Αντίθετα όταν στο μοντέλο επικρατεί η μεταβλητότητα (σχήμα 33) του συστήματος αυτό δείχνει ότι είμαστε πιο σίγουροι για την πραγματικότητα που περιγράφεται. Συλλογή περισσότερων στατιστικών στοιχείων δεν θα μετέβαλλε τις αντίστοιχες καμπύλες.



Σχήμα 32. Παράδειγμα α.σ.κ. στην οποία επικρατεί η αβεβαιότητα.



Σχήμα 33. Παράδειγμα α.σ.κ. στην οποία επικρατεί η μεταβλητότητα.

7.5.2 Κριτήρια Αποδοχής Ρίσκου

Αν και με τα Κριτήρια Αποδοχής Ρίσκου θα ασχοληθούμε εκτενώς στο Τεύχος Β κεφάλαιο 12, σε αυτό το σημείο θα ήταν ίσως σκόπιμο να αναφερθούμε σε ορισμένες ιδιότητες τους σχετικές με τα όσα συζητήσαμε στα προηγούμενα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι οι έννοιες της μεταβλητότητας και αβεβαιότητας στα προτεινόμενα όρια σε ένα διάγραμμα $F-N$, έχουν μικρές διαφοροποιήσεις από την παραπάνω προσέγγιση.

Τα κριτήρια αποδοχής ρίσκου ανεξάρτητα από τον τρόπο που εκφράζονται (κομβικά σημεία, συσχέτιση με την οικονομική αξία της δραστηριότητας κ.τ.λ.) απεικονίζονται ως ευθείες γραμμές στο διάγραμμα $F-N$. Στο κεφάλαιο 12 δείχνουμε ότι τα όρια αυτά είναι γενικά της μορφής $F_N(N) \leq \frac{C}{N^a}$.

Εδώ η μεταβλητότητα του ορίου εκφράζεται με την εκτίμηση των παραμέτρων C και a . Μόλις αυτές οι τιμές οριστούν προσδιορίζονται οι οριακές τιμές των F_N που είναι αποδεκτές. Συγκεκριμένα με τον προσδιορισμό της παραμέτρου C προσδιορίζεται η οριακή συχνότητα F_I με την οποία σχετίζονται και οι υπόλοιπες αθροιστικές συχνότητες F_N . Ο συντελεστής a αν και στην σχετική βιβλιογραφία αναφέρεται ως δείκτης ως προς την αποστροφή του ρίσκου (*risk aversion*), στην πραγματικότητα προσδιορίζει την αποστροφή ως προς τα πολύνεκρα ατυχήματα (*disaster aversion*)⁶⁹. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο νομοθέτης αξιολογεί ως πιο σημαντικό το να αποτρέψει ένα ατύχημα που περιλαμβάνει 100 νεκρούς από ότι 100 ατυχήματα κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει 1 νεκρό. Οι συχνότητες όμως αυτές αναφέρονται σε ατυχήματα και όχι στην επιλογή μεταξύ πιθανών καταστάσεων. Δηλαδή η παράμετρος a (κλίση της ευθείας) αξιολογεί την αποδοχή του ρίσκου βάση του μεγέθους των ατυχημάτων και όχι βάση της πιθανότητας εμφάνισης του ατυχήματος. Τελικά ο προσδιορισμός των παραμέτρων C και a προσδιορίζει την μεταβλητότητα του συστήματος.

Η έννοια της αβεβαιότητας είναι αυτή που στην πραγματικότητα εκφράζει την συμπεριφορά αποστροφής ως προς το ρίσκο. Η επιλογή που κάνει ο εκάστοτε νομοθέτης ως προς αβέβαιες καταστάσεις είναι αποστροφή ή όχι αποστροφή προς το ρίσκο και όχι η επιλογή μεταξύ μεγέθους βέβαιων ατυχημάτων όπως αυτά προσδιορίζονται από την κλίση της ευθείας.

Πρέπει όμως να τονιστεί ότι στην πραγματικότητα φαίνεται ανήθικο να νομοθετεί κάποιος βασιζόμενος στην αβεβαιότητα. Τα όρια αυτά πρέπει να είναι σαφή και ξεκάθαρα. Αντίθετα επιλογές και αποφάσεις που λαμβάνονται μεταξύ εναλλακτικών προτάσεων εμπεριέχουν την συμπεριφορά του λήπτη αποφάσεων ως προς το ρίσκο. Κατά συνέπεια μέσα στην ALARP περιοχή όπου εξετάζονται εναλλακτικές προτάσεις η έννοια της αβεβαιότητας πρέπει να εξετάζεται. Το πώς λαμβάνονται οι αποφάσεις στην ALARP περιοχή είναι όμως κάτι που ξεφεύγει από τους σκοπούς και τους στόχους αυτής της διπλωματικής.

⁶⁹ Tim Bedford, 'Decision making for risk reduction using multicriteria analysis'

7.6 Στοχαστικές διαδικασίες και κατανομές πιθανοτήτων

Μια καμπύλη $F-N$ εκφράζει την συχνότητα / πιθανότητα ατυχήματος με N ή περισσότερους νεκρούς. Λαμβάνοντας τον αριθμό νεκρών από ατύχημα ως τυχαία μεταβλητή μπορεί να εκτιμηθεί η σ.π.π. του αριθμού των νεκρών από ατύχημα. Αξίζει να σημειωθεί εδώ η έννοια της τυχαίας μεταβλητής. Μια τυχαία μεταβλητή μπορεί να έχει διαφορετικά αποτελέσματα, ακόμη και αν το πείραμα εκτελείται με τον ίδιο τρόπο κάθε φορά.⁷⁰

Η ακρίβεια σε μια τέτοια ανάλυση ρίσκου βασίζεται σημαντικά στην χρήση της κατάλληλης κατανομής, η οποία πρέπει να περιγράφει ικανοποιητικά την αβεβαιότητα και την μεταβλητότητα του προβλήματος.

Στο σημείο αυτό επισημαίνεται και πάλι πως ορίζονται οι έννοιες της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας σε αυτή τη διπλωματική και πως μπορούν να εκφραστούν.

Αβεβαιότητα: Είναι το επίπεδο άγνοιας των παραμέτρων ενός μοντέλου όπου προσδιορίζουν ένα φυσικό σύστημα. Εκφράζεται μέσα από μια στοχαστική διαδικασία και περιγράφει την έλλειψη γνώσης μας για την πραγματική τιμή της πιθανότητας. Θεωρητικά η αβεβαιότητα μπορεί να περιοριστεί από την συλλογή περισσότερων στατιστικών στοιχείων, αφού κατά αυτό τον τρόπο γινόμαστε πιο σίγουροι για την πραγματική τιμή της πιθανότητας.

Μεταβλητότητα: Αποτελείται από τυχαία φαινόμενα ή γεγονότα τα οποία είναι συνάρτηση του συστήματος που το περιγράφουν. Το εύρος των δυνατών αποτελεσμάτων μαζί με την πιθανότητα πραγματοποίησης του κάθε τυχαίου γεγονότος αποτελούν τα δύο στοιχεία της μεταβλητότητας. Η μεταβλητότητα είναι θεμελιώδης ιδιότητα του στοχαστικού συστήματος και δεν μπορεί ποτέ να παρατηρηθεί ούτε να περιοριστεί από την συλλογή περισσότερων στατιστικών στοιχείων.

Εδώ θα αναφερθούν μερικές κατανομές οι οποίες θα μπορούσαν να περιγράψουν επαρκώς τα στατιστικά στοιχεία των ναυτικών ατυχημάτων στις ελληνικές θάλασσες ως πιθανά αποτελέσματα της στοχαστικής διαδικασίας την οποία περιγράφουν. Παράλληλα θα αναφερθούν και κατανομές όπου μπορούν να προσδιορίσουν άλλες παραμέτρους, όπως τον αριθμό των νεκρών ανά έτος, τον αριθμό των νεκρών ανά ατύχημα κτλ., που ενδεχομένως να πρέπει να εκτιμηθούν σε μια πιθανοθεωρητική ανάλυση και εκτίμηση ρίσκου στην ναυτιλία.

⁷⁰ Γ.Α. Αθανασούλης, 'Πράξεις και μετασχηματισμοί τυχαίων μεταβλητών – Ανεμογενείς θαλάσσιοι κυματισμοί', Ε.Μ.Π. Αθήνα 2003

7.6.1 Διωνυμική κατανομή (Binomial distribution)

Η *διωνυμική* κατανομή αποτελείται από τρεις παράμετρους $\{s, n, p\}$ οι οποίες περιγράφουν την *διωνυμική* διαδικασία, όπου :

n : εκφράζει το πλήθος των δοκιμών

s : εκφράζει το αριθμό των ‘επιτυχιών’

p : εκφράζει την πιθανότητα ‘επιτυχίας’

Ο προσδιορισμός και των τριών ποσοτήτων εκφράζει την πιθανότητα s ‘επιτυχιών’ σε n δοκιμές:

$$p(X = s) = \left(\frac{n!}{s!(n-s)!} \right) \cdot p^s \cdot (1-p)^{n-s}$$

Για την εφαρμογή της διωνυμικής κατανομής πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις :

- Κάθε δοκιμή είναι ανεξάρτητη της άλλης
- Κάθε δοκιμή έχει δύο δυνατά αποτελέσματα
- Η πιθανότητα επιτυχίας σε κάθε δοκιμή, όπου συμβολίζεται με p παραμένει σταθερή.

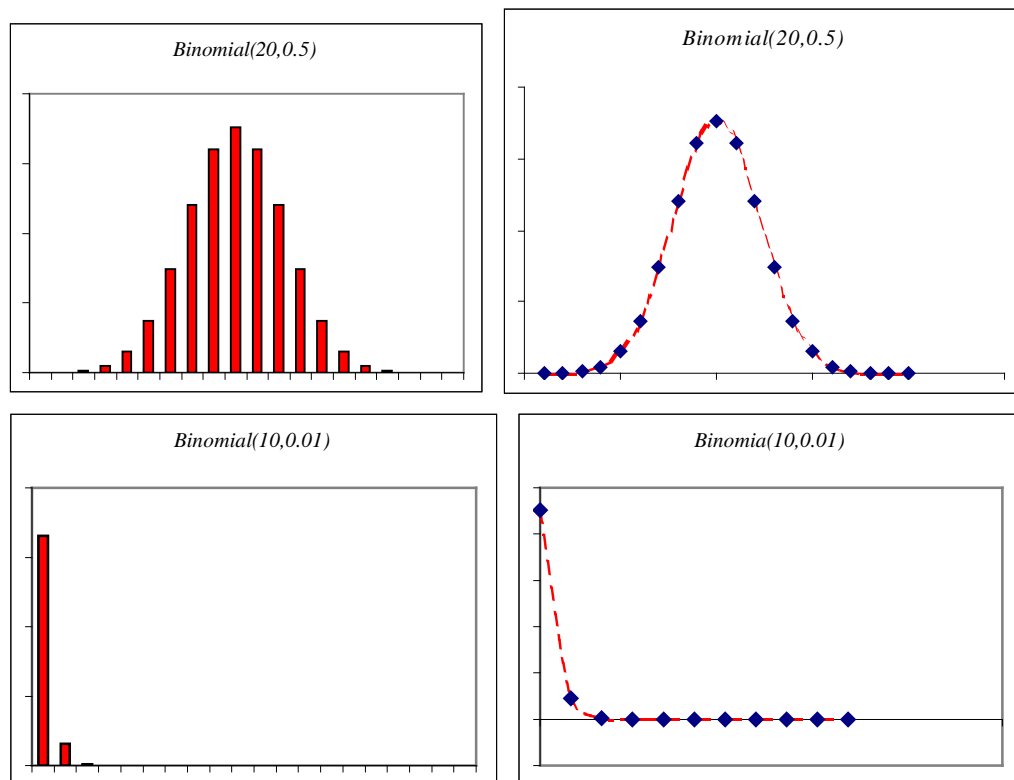
Ο διωνυμικός συντελεστής C_s όπου :

$$C_s = \binom{n}{s} = \frac{n!}{s!(n-s)!}$$

προσδιορίζει τον συνολικό αριθμό των τρόπων όπου μπορούν να παρατηρηθούν s : ‘επιτυχίες’ σε n δοκιμές. Κάθε τρόπος να παρατηρηθούν s : ‘επιτυχίες’ σε n δοκιμές έχει σταθερή πιθανότητα όση με : $p^s \cdot (1-p)^{n-s}$ και κατά συνέπεια αν θεωρηθεί ως τυχαία μεταβλητή ο αριθμός των επιτυχιών σε n δοκιμές τότε :

$$s = f(x) = \text{Binomial}(n, p) = \binom{n}{x} \cdot p^x \cdot (1-p)^{n-x}$$

όπου η παραπάνω είναι η σ.μ.π. του αριθμού των επιτυχιών και εκφράζει την μεταβλητότητα του συστήματος. Παρακάτω απεικονίζονται μερικά τυπικά παραδείγματα.

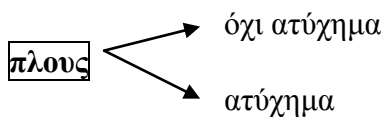


Σχήμα 34. Παραδείγματα Διωνυμικής κατανομής.

7.6.1.1 Υπολογισμός του ετήσιου αριθμού ατυχημάτων για την Ελλάδα

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παραπάνω παράγραφο μπορεί να θεωρηθεί ότι ο ετήσιος αριθμός ατυχημάτων ακολουθεί διωνυμική κατανομή καθώς:

- n : ο ετήσιος αριθμός πλόων
ο κάθε πλους θεωρείται ανεξάρτητος και έχει δύο δυνατά αποτελέσματα

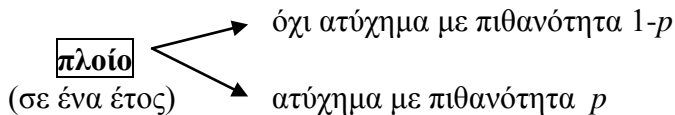


- s : ο ετήσιος αριθμός ατυχημάτων
- p : πιθανότητα ατυχήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Βέβαια η συχνότητα στην ναυτιλία απεικονίζεται παραδοσιακά στην μορφή, $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{αριθμός πλοίων} \times \text{έτη}}$ και όχι όπως προκύπτει από την παραπάνω θεώρηση στη μορφή, $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{πλοες} \times \text{έτη}}$.

Κατά συνέπεια η αναγωγή ως προς τον στόλο των πλοίων απαιτεί την εξής παραδοχή :



και n : ο ετήσιος αριθμός πλοίων

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία όπως αναφέρονται στο κεφάλαιο 6 για τα ναυτικά ατυχήματα που έγιναν στα ελληνικά ύδατα τα έτη 1992-2005 περιλαμβάνοντας όλα τα εμπορικά πλοία με ελληνική σημαία, χωρητικότητας 100 ΚΟΧ (κόρων ολικής χωρητικότητας) και άνω θα προσδιοριστεί αναμενόμενος ετήσιος αριθμός ατυχημάτων για το 2006.

$N=1483$ ο αριθμός πλοίων για το έτος 2006⁷¹

✓ εκτίμηση της πιθανότητας

η πιθανότητα για x ατυχήματα σε n πλοία δίνεται από την σχέση :

$$p_x = C_x^n \cdot p^x \cdot (1-p)^{n-x} \text{ και λογαριθμώντας η σχέση γίνεται :}$$

$$L(p) = \log(C_x^n) + \log(p^x) + \log[(1-p)^{n-x}] \Rightarrow$$

$$L(p) = \log(C_x^n) + x \cdot \log(p) + (n-x) \cdot \log(1-p) \Rightarrow$$

$$\frac{dL(p)}{dp} = \frac{x}{p} - \frac{n-x}{1-p}$$

Η καλύτερη εκτίμηση p_0 για το p δίνεται από την σχέση :

$$\left. \frac{dL(p)}{dp} \right|_{p_0} = 0 \Rightarrow \frac{x}{p_0} - \frac{n-x}{1-p_0} = 0 \Rightarrow p_0 = \frac{x}{n}$$

⁷¹ Πηγή: Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας (YEN)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

ΠΙΝΑΚΑΣ 28. <i>Συνολικός αριθμός ατυχημάτων/ στόλου 1992- 2005</i>	
Έτη (1992-2005)	14
Συνολικός αριθμός ατυχημάτων	569
Συνολικός αριθμός πλοίων	23152

Κατά συνέπεια η εκτίμηση για την πιθανότητα ατυχήματος είναι :

$$p_0 = \frac{x}{n} = \frac{569}{23152} = 0.024577$$

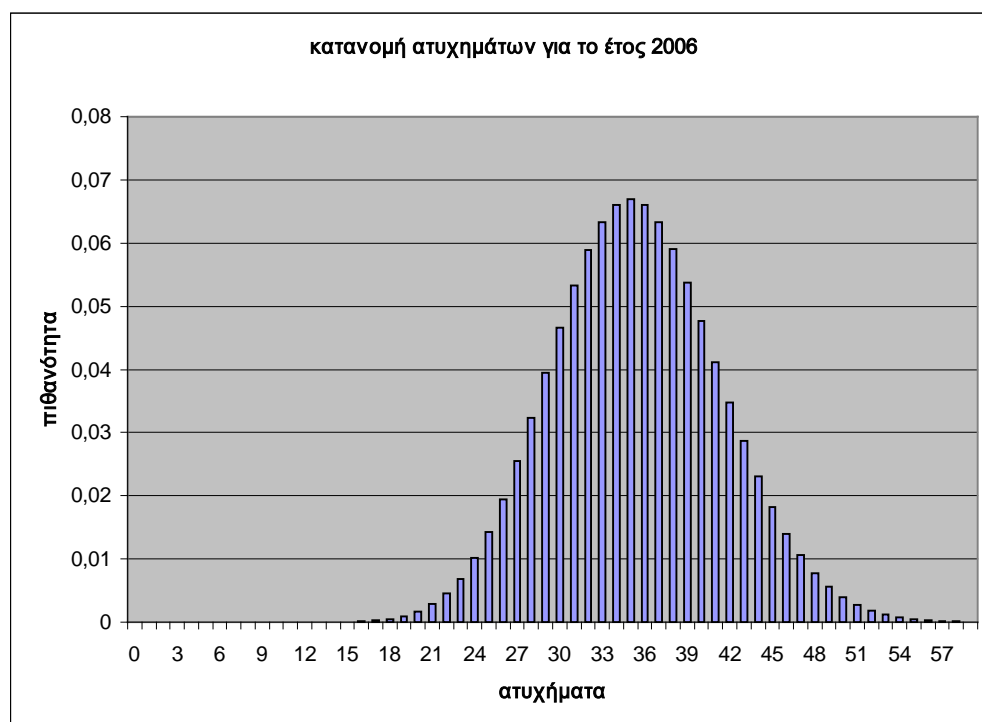
Η αντίστοιχη κατανομή ετήσιων ατυχημάτων δίνεται από την σχέση :

$$s = \binom{n}{x} \cdot p^x \cdot (1-p)^{n-x}$$

η αντίστοιχη σ.μ.π. φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και

$$E(x) = n \cdot p = 1483 \cdot 0.024577 = 36.45 \text{ ατυχήματα}$$

$$\sigma = \sqrt{n \cdot p \cdot (1-p)} = \sqrt{1483 \cdot 0.024577 \cdot (1-0.024577)} = 5.96 \text{ ατυχήματα}$$



Σχήμα 35. Κατανομή ατυχημάτων για το έτος 2006.

Στο παράδειγμα αυτό υπολογίστηκε η μεταβλητότητα του συστήματος ως προς τα πιθανό αριθμό ατυχημάτων, ενώ η αβεβαιότητα εκφράστηκε στην μορφή της τυπικής απόκλισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Σε μια άλλη περίπτωση θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ο αριθμός των ατυχημάτων σε n πλόες ή πλοία, είναι γνωστός και από αυτές τις πληροφορίες να υπολογιστεί η πιθανότητα ατυχήματος p . Αλλά η πιθανότητα p είναι θεμελιώδης ιδιότητα του στοχαστικού συστήματος και δεν μπορεί ποτέ να παρατηρηθεί. Μπορούμε όμως να γίνουμε πιο σίγουροι για την πραγματική της τιμή από τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία. Στη παράγραφο 7.7 περιγράφεται πως μπορεί να ποσοτικοποιηθεί η αβεβαιότητα, για την πραγματική τιμή της διωνυμικής πιθανότητας.

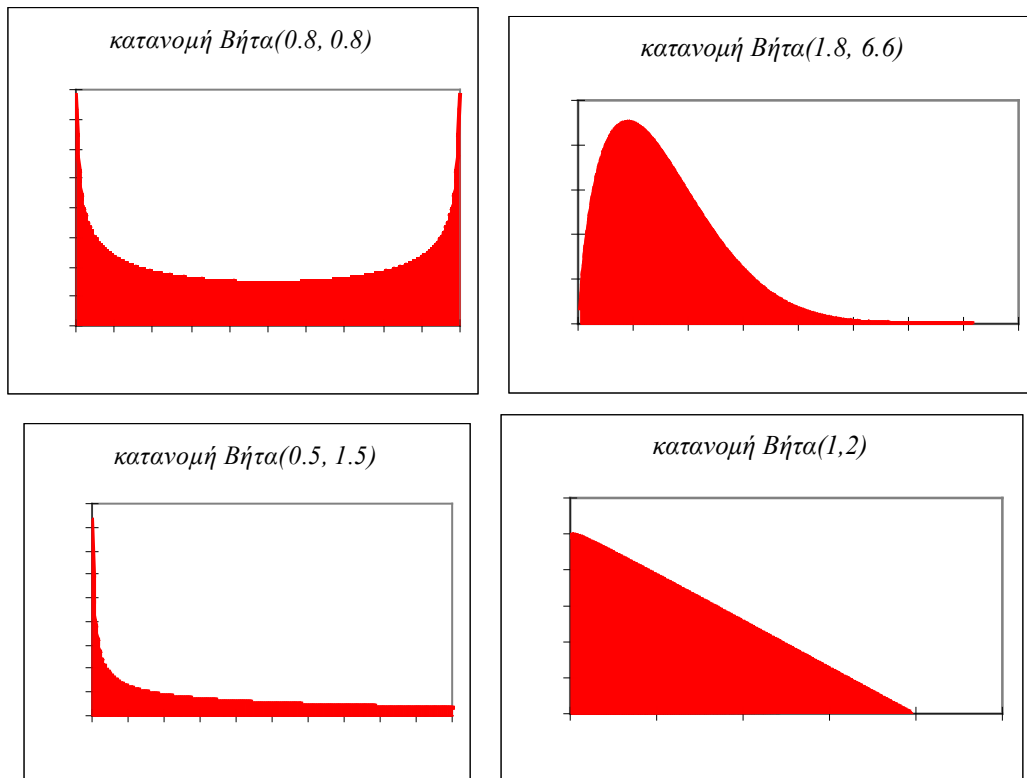
7.6.2 Κατανομή Βήτα (beta distribution)

Η κατανομή Βήτα έχει σ.π.π. που δίνεται από την σχέση,

$$Beta(a_1, a_2) = f(x) = \frac{x^{a_1-1} \cdot (1-x)^{a_2-1}}{\int_0^1 x^{a_1-1} \cdot (1-x)^{a_2-1} \cdot dx} \quad \text{με } a_1 > 0, a_2 > 0$$

Η κατανομή Βήτα χρησιμοποιείται σε μεγάλο πλήθος εφαρμογών καθώς έχει την δυνατότητα ευελιξίας της μορφής της, καθώς μεταβάλλονται οι παράμετροι a_1, a_2 .

Μερικά παραδείγματα της μορφής που μπορεί να πάρει η κατανομή αυτή αναφέρονται στα παρακάτω σχήματα :



Σχήμα 36. Παραδείγματα κατανομής Beta.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Η κατανομή Βήτα είναι αρχική συζυγής της διωνυμικής συνάρτησης πιθανότητας στην μέθοδο *Bayesian Inference*. Έτσι πολύ συχνά χρησιμοποιείται για να εκφράσει την αβεβαιότητα για την πραγματική τιμή της πιθανότητας της διωνυμικής κατανομής. Περισσότερα για αυτά αναφέρονται στην *Ενότητα 7.7* η οποία ασχολείται με τη τεχνική της *Bayesian Inference*.

7.6.3 Κατανομή Pareto (Pareto distribution)

Η κατανομή *Pareto* πήρε το όνομά της από τον Ιταλό οικονομολόγο και κοινωνιολόγο Vilfredo Pareto, ο οποίος υποστήριξε ότι το εισόδημα για μια κοινωνία εκφράζεται μέσα από την κατανομή αυτή. Ο ίδιος πίστευε ότι η κατανομή αυτή πρόκειται για ένα καθολικό νόμο του φυσικού κόσμου.

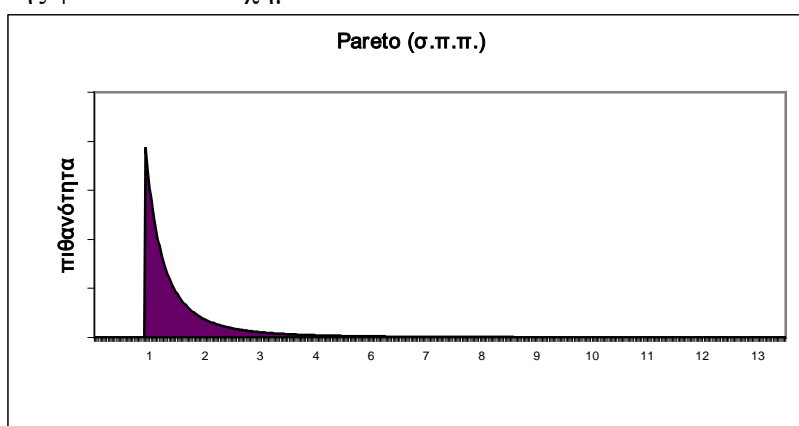
Χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει οποιαδήποτε μεταβλητή η οποία έχει ελάχιστη τιμή, και η ελάχιστη αυτή τιμή είναι και η πιο πιθανή.

Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) :

$$Pareto(\theta, \alpha) = f(x) = \frac{\theta \cdot \alpha^\theta}{x^{\theta+1}}$$

με $\theta, \alpha > 0$

Η μορφή της φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 37. Παράδειγμα κατανομής Pareto.

Η παράμετρος α της *Pareto* κατανομής προσδιορίζει το ελάχιστο (το οποίο είναι και το πιο πιθανό ενδεχόμενο) ενώ το θ προσδιορίζει το σχήμα της καμπύλης. Όσο μεγαλύτερο είναι το θ τόσο πιο γρήγορα μειώνεται από την ελάχιστη τιμή ενώ παράλληλα περιορίζεται το εύρος της.

7.6.3.1 Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση για την κατανομή Pareto

Θα δειχθεί ότι η κατανομή αυτή σχετίζεται με τα κριτήρια αποδοχής ρίσκου.

Αθροιστική συνάρτηση κατανομής $F(x)$ (α.σ.κ.)

$$F(x) = \int_x^{\infty} f(u) \cdot du = \int_x^{\infty} \frac{\theta \cdot \alpha^{\theta}}{u^{\theta+1}} \cdot du = \theta \cdot \alpha^{\theta} \cdot \int_x^{\infty} \left(-\frac{1}{\theta} \cdot u^{-\theta-1+1}\right)' \cdot du = \theta \cdot \alpha^{\theta} \cdot \left[-\frac{1}{\theta} \cdot u^{-\theta}\right]_x^{\infty}$$

και $\lim_{u \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{u^{\theta}}\right) = 0$ άρα

$$F(x) = -\alpha^{\theta} \cdot (0 - x^{-\theta}) = \frac{\alpha^{\theta}}{x^{\theta}} = \left(\frac{\alpha}{x}\right)^{\theta} \Rightarrow$$

$$F(x) = \left(\frac{\alpha}{x}\right)^{\theta}$$

Η παραπάνω σχέση για την αθροιστική συνάρτηση κατανομής $F(x)$ ταυτίζεται με τα προτεινόμενα όρια για τις καμπύλες $F-N$. Τα όρια αυτά όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 10 (Τεύχος Β) είναι της μορφής :

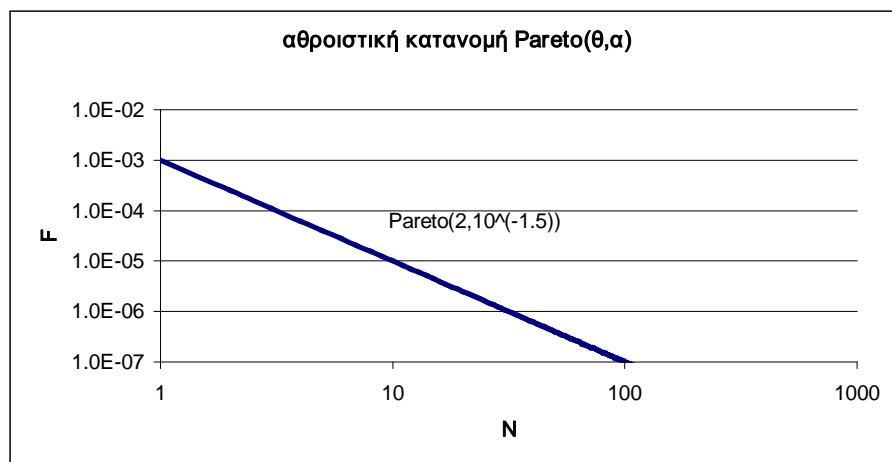
$$F_N(N) \leq \frac{C}{N^a}$$

και παριστάνουν μια ευθεία γραμμή όταν σχεδιάζονται σε λογαριθμική κλίμακα.

Συνεπώς η παράμετρος θ της κατανομής εκφράζει την κλίση της ευθείας του ορίου, ενώ η παράμετρος α^{θ} προσδιορίζει την σταθερά C . Για παράδειγμα το

Ολλανδικό κριτήριο για μεμονωμένες εγκαταστάσεις $F_N(x) \leq \frac{10^{-3}}{x^2}$, είναι μια

κατανομή *Pareto* με $\theta=2$ και $\alpha = \sqrt{10^{-3}}$. Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής *Pareto*, περιγράφει το Ολλανδικό κριτήριο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 38. Απεικόνιση α.σ.κ. *Pareto* ως προσδιορισμός της ALARP περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

όπου αυτή είναι η γραφική παράσταση του τμήματος της αθροιστικής κατανομής $Pareto(2, \sqrt{10^{-3}})$ για $x \geq 1$ αφού ο οριζόντιος άξονας εκφράζει τις ανθρώπινες απώλειες με $x \geq 1$.

Συνεπώς είτε οι οριακές συχνότητες f_N είτε οι οριακές συχνότητες F_N όπως αυτές περιγράφονται από τα όρια της μορφής $F_N(N) \leq \frac{C}{N^a}$ ακολουθούν μια κατανομή *Pareto*.

Συνοψίζοντας, η απαίτηση τα όρια να χαράσσονται ως ευθείες σε λογαριθμικές κλίμακες οδηγεί στην χρήση ορίων της μορφής $F_N(N) \leq \frac{C}{N^a}$, όπως θα δειχθεί στο κεφάλαιο 10. Όμως αυτή αποτελεί την σχέση που υπολογίζει την αθροιστική κατανομή *Pareto*. Αυτό σημαίνει :

Για πρώτη φορά αποδεικνύεται ότι τα έως τώρα προτεινόμενα όρια ακολουθούν μια στοχαστική διαδικασία, ενώ τεκμηριώνεται η ορθολογιστική χρήση των ορίων αυτής της μορφής καθώς :

- ✓ Η κατανομή αυτή έχει την πιο μακριά ουρά⁷² από όλες τις υπόλοιπες κατανομές με αποτέλεσμα να περιγράφει καλύτερα ακραία γεγονότα. Δηλαδή τα ατυχήματα με μεγάλο αριθμό νεκρών και πολύ μικρή πιθανότητα εμφάνισης.
- ✓ Από το παραπάνω συνεπάγεται ότι η κατανομή αυτή περιγράφει την δυσμενέστερη κατάσταση αφού δίνει την μεγαλύτερη βαρύτητα στα ακραία γεγονότα
- ✓ Παράλληλα ορίζονται οι αποδεκτές πιθανότητες για το μέγεθος των ανθρώπινων απωλειών κάθε ατυχήματος όπως αυτές εκφράζονται από την σ.π.π. της κατανομής

Κατά συνέπεια η χρήση της ευθείας ως όριο, σε ένα διάγραμμα $F-N$, θεωρείται ότι είναι η πλέον κατάλληλη. Αυτό βέβαια έχει να κάνει με την μορφή του ορίου. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων είναι αυτό που τελικά θα κρίνει την καταλληλότητα του εκάστοτε ορίου.

Το κυριότερο όμως πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι οι οριακές συχνότητες αντικαθιστούνται από τις αντίστοιχες πιθανότητες. Οι συχνότητες στην μορφή $\frac{\text{ατυχήματα}}{\text{έτος}}$ εξαρτώνται από το μέγεθος του πληθυσμού, το πλήθος

των εγκαταστάσεων, κάτι που είναι απαγορευτικό για μια οριοθέτηση του ρίσκου σε γενικό επίπεδο, εκτός της υπό εξέταση εγκατάσταση. Η οριοθέτηση του ρίσκου με αποδεκτές πιθανότητες επιτρέπει την δημιουργία ορίων τόσο σε εθνικό αλλά όσο και σε ένα οικουμενικό επίπεδο.

⁷² Μτφρ. του όρου long tails ή heavy tails

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Επίσης η μέση τιμή της κατανομής είναι:

$$E(x) = \int_0^{\infty} x \cdot f(x) \cdot dx = \int_0^{\infty} x \cdot \frac{\theta \cdot \alpha^{\theta}}{x^{\theta+1}} \cdot dx = \theta \cdot \alpha^{\theta} \cdot \int_0^{\infty} \left(\frac{1}{1-\theta} \cdot x^{-\theta+1}\right)' \cdot dx$$

και αφού η ελάχιστη τιμή του x προσδιορίζεται από το a :

$$E(x) = \theta \cdot \alpha^{\theta} \cdot \int_a^{\infty} \left(\frac{1}{1-\theta} \cdot x^{-\theta+1}\right)' \cdot dx = \frac{a \cdot \theta}{\theta - 1}$$

Δηλαδή για $\theta=1$ η μέση τιμή τείνει στο άπειρο $\left\{ \lim_{\theta \rightarrow 1} \left(\frac{a \cdot \theta}{\theta - 1}\right) = \infty \right\}$

Παρατηρούμε δηλαδή ότι για την κατανομή Pareto για $\alpha=1$ δεν ορίζεται η μέση τιμή. Όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 11 του Τεύχους Β, η διαπίστωση αυτή αφορά και τα Κριτήρια Αποδοχής Ρίσκου με κλίση -1, τα οποία αδυνατούν να θέσουν ένα περιορισμό στον ανώτατο αποδεκτό αριθμό νεκρών ανά έτος.

Παράλληλα για την διασπορά :

$$Var(x) = \int_0^{\infty} (x - \mu)^2 \cdot f(x) \cdot dx = E(x^2) - \mu^2$$

$$\text{με } \mu = E(x) \Rightarrow \mu^2 = (E(x))^2 = \left(\frac{\alpha \cdot \theta}{\theta - 1}\right)^2$$

και

$$E(x^2) = \int_0^{\infty} x^2 \cdot f(x) \cdot dx = \int_0^{\infty} x^2 \cdot \frac{\theta \cdot \alpha^{\theta}}{x^{(\theta+1)}} \cdot dx = \frac{\alpha^2 \cdot \theta}{\theta - 2}$$

άρα

$$Var(x) = E(x^2) - \mu^2 = \left(\frac{\alpha \cdot \theta}{\theta - 1}\right)^2 - \frac{\alpha^2 \cdot \theta}{\theta - 2} = \frac{\alpha^2 \cdot \theta}{(\theta - 1)^2 \cdot (\theta - 2)}$$

Συνεπώς για να ορίζεται η διασπορά και η τυπική απόκλιση για την κατανομή Pareto θα πρέπει $\theta > 2$. Ανάλογα συμπεράσματα μπορούμε να βγάλουμε και για τα Κριτήρια Αποδοχής Κοινωνικού Ρίσκου με κλίση -2, τα οποία να μεν περιορίζουν τον ανώτατο αποδεκτό αριθμό των νεκρών, δεν καταφέρνουν ωστόσο να περιορίσουν την τυπική απόκλιση του.

Πρέπει πάλι όμως να τονιστεί ότι τα κριτήρια αυτά αν και αξιολογούν κατάλληλα την αποστροφή τους ως προς τα ατυχήματα μεγάλης κλίμακας, εκφράζουν αποκλειστικά τις συνέπειες. Αν και δεν έχει αναφερθεί ακόμα τίποτα σε ότι αφορά τα κριτήρια αποδοχής του ρίσκου, η ένστασή μας στα υπάρχοντα κριτήρια έγκειται στην αποτύπωση των κριτηρίων αποδοχής με γνώμονα αποκλειστικά το ρίσκο. Γενικά όμως το ρίσκο δεν είναι μια έννοια που μπορεί να ποσοτικοποιηθεί από μόνη της. Το ρίσκο είναι αποδεκτό μόνο αν μπορεί να αποκομιστεί κάποιος όφελος. Χωρίς όφελος δεν έχει νόημα οποιαδήποτε αποδοχή πρότασης που περιέχει ρίσκο. Κατά συνέπεια, η αποδοχή του ρίσκου εξαρτάται και πρέπει να συμπεριλαμβάνει και το όφελος που αποκομίζεται από την εκάστοτε δραστηριότητα.

7.6.4 Κατανομή Poisson (Poisson distribution)

Στην στοχαστική διαδικασία *Poisson*, αντίθετα με την διωνυμική διαδικασία, υπάρχει συνεχής δυνατότητα πραγματοποίησης ενός γεγονότος. Θεωρητικά ο αριθμός των γεγονότων μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ του μηδέν και άπειρο. Υπάρχει επίσης πάντα η πιθανότητα πραγματοποίησης του γεγονότος, ανεξάρτητα από το πόσο μικρό είναι το υπό εξέταση χρονικό διάστημα.

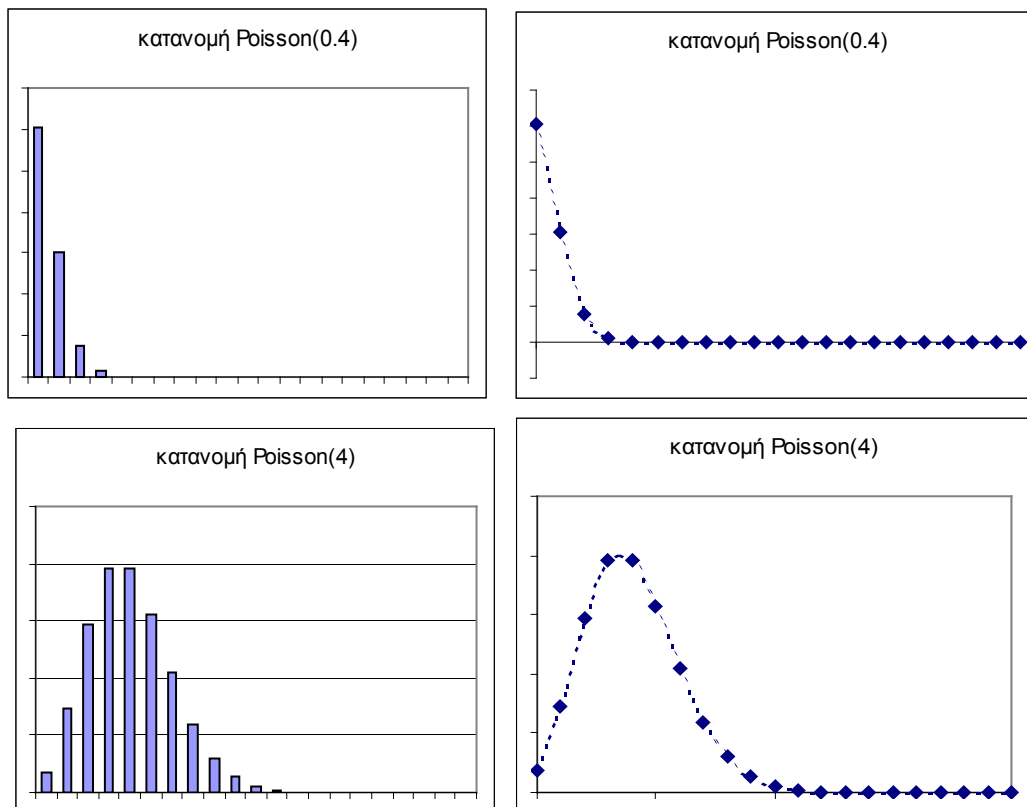
Η τυχαία μεταβλητή X η οποία ισούται με τον αριθμό των 'γεγονότων' μέσα στο υπό εξέταση διάστημα ακολουθεί την κατανομή Poisson όταν :

- Η πιθανότητα για περισσότερα από ένα γεγονότα σε ένα υποδιάστημα είναι μηδέν
- Η πιθανότητα για ένα γεγονός σε ένα υποδιάστημα είναι η ίδια για κάθε άλλο υποδιάστημα και είναι ανάλογη του μεγέθους των υποδιαστημάτων
- Το γεγονός σε κάθε υποδιάστημα είναι ανεξάρτητο

Συνάρτηση μάζας πιθανότητας (σ.μ.π.):

$$Poisson(\lambda) = f(x) = p(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^x}{x!} \quad \text{με } x = 0, 1, 2, \dots \text{ και } \lambda > 0$$

Τυπικά παραδείγματα της κατανομής απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 39. Παραδείγματα κατανομής Poisson.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Επειδή στις περισσότερες εφαρμογές το μέγεθος έκθεσης είναι ο χρόνος t χρησιμοποιείται η κατανομή $Poisson(\lambda t)$ όπου μοντελοποιεί τον αριθμό πραγματοποίησης των γεγονότων μέσα στο χρόνο t όταν ο χρόνος μεταξύ δύο 'επιτυχημένων' γεγονότων ακολουθεί την διαδικασία $Poisson$.

Συνάρτηση μάζας πιθανότητας (σ.μ.π.):

$$Poisson(\lambda \cdot t) = f(x) = \frac{e^{-\lambda \cdot t} \cdot (\lambda \cdot t)^x}{x!} \quad \text{με } \lambda t > 0$$

η οποία έχει μέση τιμή και διασπορά :

$$E(x) = \lambda \cdot t \quad \text{και} \quad Var(x) = \lambda \cdot t$$

Η κατανομή $Poisson$ έχει την πολύ χρήσιμη ιδιότητα :
 $Poisson(a) + Poisson(b) = Poisson(a+b)$

7.6.4.1 Παρατηρήσεις για την κατανομή $Poisson$

Η παράμετρος που περιγράφει την διαδικασία $Poisson$ είναι η παράμετρος λ , ο μέσος αριθμός γεγονότων που θα πραγματοποιηθούν μέσα στο υπό εξέταση διάστημα t . Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια σταθερή πιθανότητα να πραγματοποιηθεί το γεγονός μέσα στο χρονικό διάστημα, ανεξάρτητα αν έχει ή όχι ήδη πραγματοποιηθεί. Μια τέτοια διαδικασία χαρακτηρίζεται 'χωρίς μνήμη' και είναι κάτι που χαρακτηρίζει την κατανομή $Poisson$.

Όπως η πιθανότητα p στην διωνυμική διαδικασία έτσι και εδώ η παράμετρος λ είναι ιδιότητα του φυσικού συστήματος που περιγράφεται από την διαδικασία. **Η παράμετρος λ** (όπως και η πιθανότητα p στη διωνυμική διαδικασία) **δεν είναι μεταβλητή**, καθώς δεν μπορεί ποτέ να παρατηρηθεί, αλλά μπορούμε να την προσδιορίσουμε μέσω μιας κατανομής όπου θα περιγράφει την κατάσταση γνώση μας για την τιμή της παραμέτρου λ . Μια τέτοια κατανομή, είναι κατανομή αβεβαιότητας.

7.6.5 Εκθετική κατανομή (Exponential distribution)

Όταν ένα γεγονός είναι τυχαίο με σταθερή πιθανότητα εμφάνισης τότε ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών γεγονότων εκφράζεται μέσα από την εκθετική κατανομή. Χρησιμοποιείται και για να εκφράσει την διαδικασία $Poisson$ ενώ θεωρείται ως διαδικασία η οποία δεν έχει 'μνήμη'. Ένα παράδειγμα εφαρμογής όπου θα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

μπορούσε να εκφραστεί με την εκθετική κατανομή είναι ο χρόνος μέχρι το επόμενο θανατηφόρο ναυτικό ατύχημα. Επίσης χρησιμοποιείται ευρύτατα στα μοντέλα αξιοπιστίας

Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) :

$$\text{Expon}(\beta) = f(x) = \frac{\exp(-\frac{x}{\beta})}{\beta} \quad \text{με } \beta > 0 \text{ και } x \geq 0$$

ή πολλές φορές γράφεται με παράμετρο λ όπου $\lambda = 1/\beta$

Η παράμετρος β εκφράζει το μέσο χρόνο μέχρι την πραγματοποίηση του επόμενου γεγονότος.

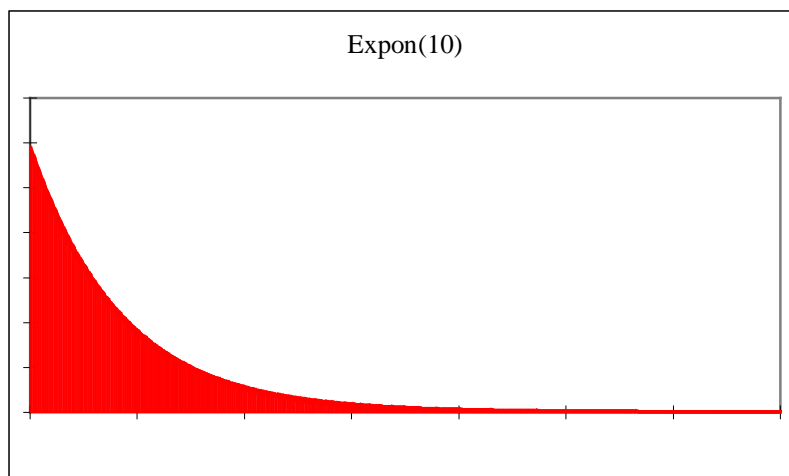
Αθροιστική συνάρτηση κατανομής $F(x)$ (α.σ.κ.)

$$F(x) = \exp(-x/\beta)$$

και έχει ίδια μέση τιμή και τυπική απόκλιση ίση με :

$$E(x) = \sigma(x) = \beta$$

Ενα τυπικό παράδειγμα της κατανομής απεικονίζεται παρακάτω:



Σχήμα 40. Παράδειγμα εκθετικής κατανομής.

7.6.6 Κατανομή Weibull (Weibull distribution)

Η κατανομή *Weibull* πολύ συχνά χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει το χρόνο μέχρι την αστοχία για πολλά διαφορετικά φυσικά συστήματα. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κατανομής *Weibull* είναι ότι η πιθανότητα αποτυχίας μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο. Ο κυρίως τομέας εφαρμογής της είναι στη θεωρία αξιοπιστίας καθώς και στην αντοχή των υλικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

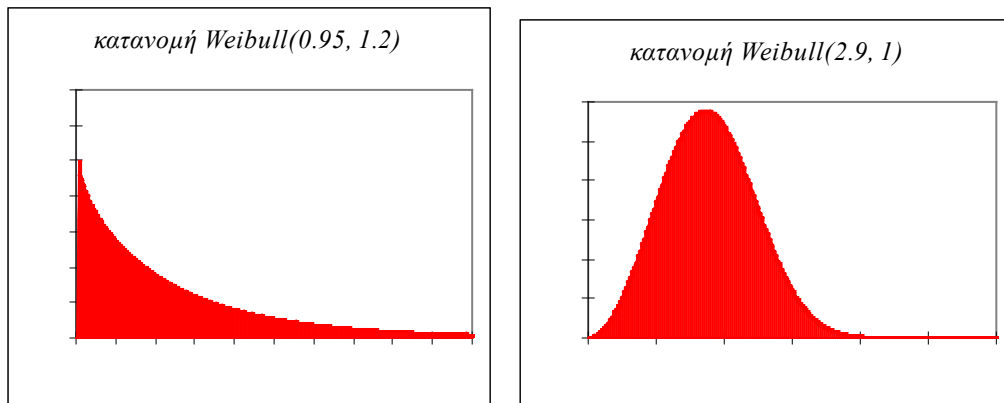
Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) :

$$Weibull(\beta, \delta) = f(x) = \frac{\beta}{\delta} \cdot \left(\frac{x}{\delta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta} \text{ με } x > 0$$

και οι περιορισμοί στις παραμέτρους είναι $\beta > 0, \delta > 0$

όπου β είναι η παράμετρος όπου προσδιορίζει το σχήμα της κατανομής και δ η παράμετρος που προσδιορίζει την κλίμακα των τιμών.

Τυπικά παραδείγματα της κατανομής απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 41. Παραδείγματα κατανομής Weibull.

Η κατανομή *Rayleigh* είναι ειδική περίπτωση της κατανομής *Weibull* για $\beta=2$, καθώς $Rayleigh(\delta) = Weibull(2, \sqrt{2} \cdot \delta)$ και η οποία χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση του ύψους κύματος σχετικά με τους θαλάσσιους κυματισμούς.

Επίσης για $\beta=1$ η κατανομή *Weibull* μια εκθετική κατανομή:

$$exponential(\delta) = Weibull(1, \delta)$$

Αθροιστική συνάρτηση κατανομής $G(x)$ (α.σ.κ.)

$$G(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta}$$

για τον υπολογισμό της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής $F(x)$ σύμφωνα με την συνθήκη κανονικοποίησης :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \xrightarrow{x>0} \int_0^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \Rightarrow \int_0^x f(x) \cdot dx + \int_x^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \Rightarrow$$

$$F(x) + G(x) = 1 \Rightarrow F(x) = 1 - G(x) = 1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta}\right) = e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta} \Rightarrow$$

$$F(x) = e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta}$$

Και η μέση τιμή $E(x)$ και η διασπορά $Var(x)$ δίνονται από τις σχέσεις :

$$E(x) = \delta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$Var(x) = \delta^2 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \delta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2$$

7.6.7 Κατανομή Extreme Value

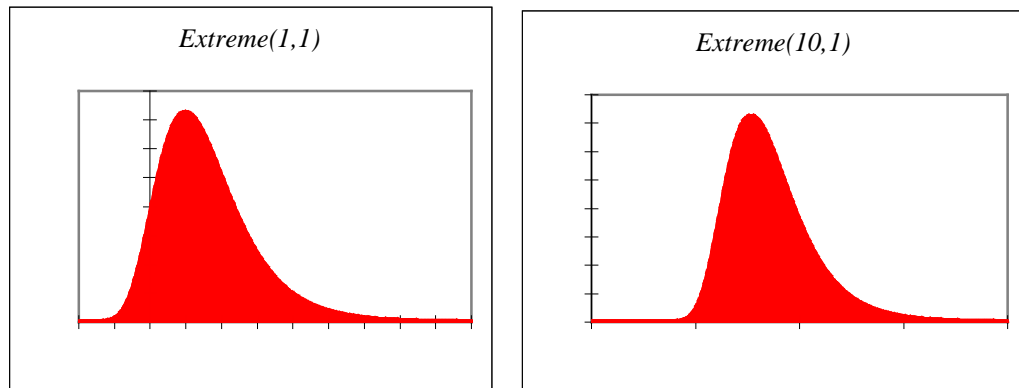
Οι μηχανικοί πολύ συχνά ενδιαφέρονται για τις ακραίες τιμές ενός συστήματος (π.χ. την τάση θραύσεως) καθώς αυτές οι ακραίες τιμές είναι που θα προσδιορίσουν αν είναι το σύστημα πιθανό να αστοχήσει. Έχει επίσης εφαρμογές στην υδρολογία και σε περιβαλλοντολογικά φαινόμενα. Μια τέτοια κατανομή θα μπορούσε επαρκώς να εκφράζει ενδεχόμενη ανάλυση των ναυτικών ατυχημάτων, καθώς τα ακραία ατυχήματα είναι αυτά που έχουν μεγαλύτερες επιπτώσεις στις εξεταζόμενες συνέπειες.

Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.):

$$Extreme(a, b) = f(x) = \frac{1}{b} \cdot \exp\left(-\frac{x-a}{b}\right) \cdot \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right]$$

με την απαίτηση για την παράμετρο β : $\beta > 0$

τυπικές μορφές της κατανομής δίνονται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 42. Παραδείγματα κατανομής Extreme Value.

Η κατανομή *Extreme Value* θεωρείται ως γενικευμένη *Pareto* κατανομή καθώς μπορεί να περιγράψει και άλλες γνωστές κατανομές όπως την κανονική κατανομή, *Pareto* κατανομή, *Weibull* κατανομή κτλ.

Για λόγους πληρότητας αναφέρεται ότι υπάρχουν τρεις κατανομές *Extreme Value*.

Και οι τρεις περιγράφονται από την α.σ.κ. που είναι της μορφής:

Αθροιστική συνάρτηση κατανομής $G(x)$ (α.σ.κ.):

$$G(x) = \exp\left[-\left(1 + \gamma \cdot x\right)^{\frac{1}{\gamma}}\right]$$

$$\text{όπου } \left[\left(1 + \gamma \cdot x\right)^{\frac{1}{\gamma}} \right] = e^{-x} \quad \text{και για } \begin{array}{ll} \gamma = 0 \rightarrow \text{κατανομή} & \text{Gumbel} \\ \gamma > 0 \rightarrow \text{κατανομή} & \text{Frechet} \\ \gamma < 0 \rightarrow \text{κατανομή} & \text{Weibull} \end{array}$$

7.6.7.1 Παρατηρήσεις για την κατανομή Extreme Value

Θεωρούμε ότι η κατανομή *Extreme Value* είναι από τις πλέον κατάλληλες κατανομές για να περιγράψουν τον αριθμό των νεκρών όπως προκύπτουν από τα ναυτικά ατυχήματα. Αυτό στηρίζεται από την θεωρία των ακραίων τιμών.

Ας θεωρηθεί το παρακάτω παράδειγμα.

Σε μια δεδομένη χρονική βάση έχουν καταγραφεί τα παρακάτω ναυτικά ατυχήματα που οδήγησαν στις εξής ανθρώπινες απώλειες, [1,1,2,1,5,35,.....,1].

Το ατύχημα με τις περισσότερες ανθρώπινες απώλειες ήταν αυτό που οδήγησε σε 35 νεκρούς. Το ατύχημα αυτό με την μεγαλύτερη τιμή από όλο τα στατιστικό δείγμα θεωρείται ότι ανήκει στο δειγματικό χώρο της κατανομής. Η κατανομή αυτή πρόκειται για μια ασυμπτωτική κατανομή ως προς αυτή την τιμή και η σχετική θέση της εξαρτάται κυρίως από την ουρά της κατανομής αυτής. Κατά συνέπεια η κατανομή αυτή δεν ακολουθεί πιστά τα στατιστικά στοιχεία (όπως μια κανονική κατανομή) αλλά δίνει βαρύτητα στην προσέγγιση της ουράς της κατανομής.

Βέβαια, το πρόβλημα βρίσκεται ως προς τον προσδιορισμό και την φυσική έννοια των παραμέτρων. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων μπορεί να γίνει μόνο μέσω των στατιστικών στοιχείων τα οποία και θεωρούνται ότι ανήκουν στον δειγματικό χώρο της κατανομής.

Τα βασικά στοιχεία της κατανομής δίνονται παρακάτω.

Αθροιστική συνάρτηση κατανομής $G(x)$ (α.σ.κ.)

$$G(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right]$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

για τον υπολογισμό της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής $F(x)$ (καθώς μια τέτοια κατανομή απεικονίζεται στις καμπύλες $F-N$) σύμφωνα με τη συνθήκη κανονικοποίησης :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \xrightarrow{x>0} \int_0^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \Rightarrow \int_0^x f(x) \cdot dx + \int_x^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \Rightarrow$$

$$F(x) + G(x) = 1 \Rightarrow F(x) = 1 - G(x) \Rightarrow$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right]$$

Ενώ η μέση τιμή $E(x)$ και η διασπορά $Var(x)$ δίνονται από τις σχέσεις :

$$E(x) = a - b \cdot \Gamma'(1)$$

$$\text{όπου } \Gamma'(1) \cong -0,5772$$

$$Var(x) = \frac{(b \cdot \pi)^2}{6}$$

Τέλος η παράμετρος β , είναι αυτή που προσδιορίζει την μορφή της κατανομής. Δηλαδή προσδιορίζει την ταχύτητα με την οποία η ουρά εξαφανίζεται.

7.6.8 Κατανομή Γάμα (Gamma distribution)

Η κατανομή Γάμα εφαρμόζεται σε ένα μεγάλο εύρος φυσικών συστημάτων, όπως μετεωρολογικά φαινόμενα, ασφαλίσεις, ενώ βρίσκει εφαρμογή και στην οικονομία. Συνήθως χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει τον χρόνο που απαιτείται για να συμβούν a 'γεγονότα', δεδομένου ότι τα γεγονότα πραγματοποιούνται τυχαία μέσα από μια διαδικασία *Poisson*, με μέσο χρόνο b μεταξύ των γεγονότων a .

Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.):

$$Gamma(a,b) = \frac{b^{-a} \cdot x^{a-1} \cdot \exp\left(\frac{-x}{b}\right)}{\Gamma(a)}$$

με την απαίτηση για τις παραμέτρους a, b : $a > 0, b > 0$

Η παράμετρος a προσδιορίζει την μορφή της καμπύλης, ενώ η παράμετρος b προσδιορίζει την κλίμακα της κατανομής. Η κατανομή Γάμα σχετίζεται άμεσα με τις κατανομές *Poisson* και *Exponential* καθώς για $a=1$ η κατανομή Γάμα ταυτίζεται με την *Exponential*.

$$Gamma(1,b) = Expon(b)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

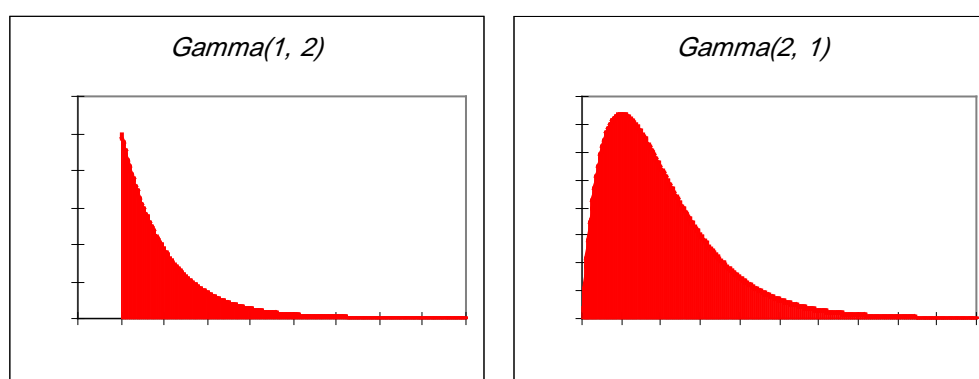
Υπάρχουν τρεις συνθήκες που πρέπει να ισχύουν σε ένα σύστημα για την εφαρμογή της κατανομής:

- Ο αριθμός των πιθανών γεγονότων a μέσα σε μια οποιαδήποτε μονάδα μέτρησης δεν περιορίζεται σε έναν δεδομένο αριθμό.
- Τα γεγονότα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.
- Ο μέσος αριθμός των γεγονότων ανά μονάδα μέτρησης παραμένει σταθερός

Η μέση τιμή και η διασπορά της κατανομής Γάμα δίνονται από τις σχέσεις:

$$E(x) = a \cdot b \text{ και } Var(x) = a \cdot b^2$$

Τυπικές μορφές της κατανομής δίνονται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 43. Παραδείγματα κατανομής Γάμα.

7.7 Ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας - Bayesian Inference

7.7.1 Εισαγωγικά

Ήδη παραπάνω έχει αναφερθεί η ουσιώδης διαφορά μεταξύ αβεβαιότητας και μεταβλητότητας. Στη παράγραφο αυτή θα εξεταστεί η τεχνική *Bayesian Inference* η οποία επιτρέπει να περιγράψουμε ποσοτικά την αβεβαιότητα όπου σχετίζεται με την εκτίμηση των παραμέτρων που περιγράφουν την διαδικασία.

Βέβαια η τεχνική *Bayesian Inference*, δεν είναι η μοναδική. Μερικές άλλες τεχνικές που εφαρμόζονται ευρέως σήμερα είναι η *κλασσική θεωρία στατιστικής*, η *θεωρία μέγιστης εντροπίας* καθώς και η τεχνική *Bootstrap*.

Ο λόγος που αποφεύγεται εδώ η *κλασσική θεωρία στατιστικής* για την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας, ως προς τον προσδιορισμό των παραμέτρων της κατανομής, είναι γιατί δεν ικανοποιούνται ικανοποιητικά οι αρχικές παραδοχές για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Η κλασική θεωρία στατιστικής κάνει την παραδοχή ότι το μοντέλο περιγράφεται από μια κανονική κατανομή. Αν και η κανονική κατανομή περιγράφει τις περισσότερες στοχαστικές διαδικασίες, κάτι τέτοιο δεν ισχύει για την περίπτωση της μοντελοποίησης του αριθμού των νεκρών από τα ναυτικά ατυχήματα. Η συντριπτική πλειοψηφία των θανατηφόρων ναυτικών ατυχημάτων οδηγούν σε μια ανθρώπινη απώλεια. Η τιμή αυτή είναι η ελάχιστη αλλά και η πιο πιθανή.

Συνεπώς ο συνολικός αριθμός των νεκρών περιγράφεται από μια διαδικασία με μακριά ουρά και μεγάλη διασπορά. Κάτι που απέχει κατά πολύ από την μορφή της κανονικής κατανομής.

Παράλληλα μια άλλη συνθήκη που πρέπει να ισχύει για την εφαρμογή της κλασικής θεωρίας στατιστικής είναι ότι η μέση τιμή να είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη τυπική απόκλιση. Κάτι που επίσης δεν αντιπροσωπεύει την μοντελοποίηση του αριθμού των νεκρών από τα ναυτικά ατυχήματα.

Τονίζεται πάλι ότι με αυτές τις μεθόδους προσδιορίζεται η αβεβαιότητα του συστήματος προσδιορίζοντας την κατανομή που περιγράφει την παράμετρο της αρχικής κατανομής του συστήματος. Τέλος, στο τέλος της παραγράφου γίνεται μια ειδική μνεία για την *αρχή μέγιστης εντροπίας* που περιγράφει τον παραπάνω σκοπό.

7.7.2 Bayesian Inference

Η τεχνική *Bayesian Inference* βασίζεται στο θεώρημα *Bayes* το οποίο είναι :

$$P(A_i | B) = \frac{P(B | A_i) \cdot P(A_i)}{\sum_{i=1}^n P(B | A_i) \cdot P(A_i)}$$

Το παραπάνω θεώρημα μετατρέπεται στην μορφή^{73, 74, 75} :

$$f(\theta | X) = \frac{\pi(\theta) \cdot l(X | \theta)}{\int \pi(\theta) \cdot l(X | \theta) \cdot d\theta}$$

όπου :

- $\pi(\theta)$: είναι η *‘προγενέστερη κατανομή’*⁷⁶. Είναι η συνάρτηση πυκνότητας της αρχικής εκτίμησης για την τιμή της παραμέτρου θ , πριν από την

⁷³ Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters, *‘Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners’*, August, 2002

⁷⁴ B. Render, R.M. Stair, *‘Quantitative Analysis For Management’*

⁷⁵ Vicki M. Bier, Louis Anthony Cox, Jr. *‘Probabilistic Risk Analysis for Engineered Systems’*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

παρατήρηση των δεδομένων X . Προσδιορίζει δηλαδή την κατάσταση γνώσης μας για την παράμετρο θ πριν παρατηρηθούν τα δεδομένα X . Με άλλα λόγια εκφράζει μια κατανομή αβεβαιότητας.

- $l(X|\theta)$: είναι η συνάρτηση πιθανότητας. Υπολογίζει δηλαδή την πιθανότητα παρατηρήσεων των τιμών X για μια δεδομένη τιμή του θ . Η μορφή της κατανομής ενσωματώνει τις πληροφορίες από τα στοιχεία.
- $f(\theta|X)$: είναι η 'μεταγενέστερη κατανομή'⁷⁷. Περιγράφει την κατάσταση γνώσης για την παράμετρο θ αφού έχουν παρατηρηθεί τα δεδομένα X και δοθείσας της εκτίμησης για την τιμή του θ πριν παρατηρηθούν τα δεδομένα X .

Το ολοκλήρωμα στον παρανομαστή του κλάσματος δεν είναι μια συνάρτηση του θ , αλλά απλώς χρησιμοποιείται για να κανονικοποιήσει την συνάρτηση $f(\theta|X)$ ούτως ώστε όλη η περιοχή κάτω από την $f(\theta|X)$ να ισούται με ένα. Με άλλα λόγια:

$$f(\theta|X) \stackrel{\text{(ανάλογο)}}{\propto} \pi(\theta) \cdot l(X|\theta)$$

7.7.3 Ερμηνεία της τεχνικής Bayesian Inference

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η λογική *Bayesian Inference* βασίζεται στο θεώρημα *Bayes* το οποίο είναι :

$$P(A_i | B) = \frac{P(B | A_i) \cdot P(A_i)}{\sum_{i=1}^n P(B | A_i) \cdot P(A_i)}$$

Η σχέση αυτή δείχνει πώς η αρχική εκτίμηση για την πιθανότητα του γεγονότος A_i μεταβάλλεται από $P(A_i)$, στην τελική εκτίμηση $P(A_i | B)$ μόλις γίνονται διαθέσιμα, τα στοιχεία B . Η πιθανότητα $P(B | A_i)$ εκφράζει τη συνάρτηση πιθανότητας και εισάγει τα στοιχεία όπου παρατηρήθηκαν θεωρώντας ότι το γεγονός A έχει ήδη πραγματοποιηθεί. Η πιθανότητα $P(A_i)$ εκφράζει την 'προγενέστερη κατανομή' ενώ η πιθανότητα $P(A_i | B)$ εκφράζει την 'μεταγενέστερη κατανομή'

Κατά συνέπεια το θεώρημα *Bayes* μετατρέπεται στην μορφή :

$$f(\theta|X) = \frac{\pi(\theta) \cdot l(X|\theta)}{\int \pi(\theta) \cdot l(X|\theta) \cdot d\theta} \text{ όταν το } \theta \text{ θεωρείται συνεχές}$$

⁷⁶ μετάφραση του όρου 'prior distribution'

⁷⁷ μετάφραση του όρου 'posterior distribution'

$$f(\theta_i | X) = \frac{\pi(\theta_i) \cdot I(X/\theta_i)}{\sum_i^n \pi(\theta_i) \cdot I(X/\theta_i)} \text{ όταν το } \theta \text{ θεωρείται διακριτό}$$

7.7.4 Προσέγγιση της πιθανότητας από τις αντίστοιχες συχνότητες

Η ουσιώδης διαφορά μεταξύ συχνότητας και αντίστοιχης πιθανότητας, δυστυχώς παραβλέπεται σε πληθώρα μελετών ανάλυσης και διαχείρισης ρίσκου.

Εάν έχουμε στα χέρια μας μια σειρά από στατιστικά στοιχεία ο πρώτος τρόπος προσδιορισμού της πιθανότητας, είναι μέσω της κατάλληλης κανονικοποίησης των συχνοτήτων ώστε να εκφράζουν το εύρος των δυνατών αποτελεσμάτων.

Ο δεύτερος τρόπος μπορεί να περιγραφεί μέσα από την ερμηνεία της λογικής *Bayesian Inference*. Ο μεγάλος αριθμός δοκιμών για την ικανοποιητική προσέγγιση μέσα από τις αντίστοιχες παρατηρήσεις (στατιστικά στοιχεία ή συχνότητες), όπως περιγράφεται από τον πρώτο τρόπο προσέγγισης δεν είναι πλέον απαραίτητος. Η πιθανότητα πλέον ερμηνεύεται ως μέτρο της κατάστασης γνώσης μας για το φυσικό μοντέλο που περιγράφεται. Μέσα από την τεχνική αυτή η πιθανότητα απλώς είναι μια αριθμητική έκφραση της πεποίθησης που κατέχουμε για το πώς περιγράφεται το αντίστοιχο στοχαστικό μοντέλο που αποτυπώνει τον φυσικό κόσμο. Τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία (δηλαδή οι αντίστοιχες συχνότητες) χρησιμοποιούνται ως 'είσοδοι', μέσω της συνάρτησης $I(X|\theta)$ για την προσέγγιση της κατανομής $f(\theta|X)$ η οποία και περιγράφει τη διαδικασία, η οποία προσδιορίζεται.

7.7.5 Παράδειγμα εφαρμογής της Bayesian Inference

Στην παράγραφο 7.6.1.1 έγινε μοντελοποίηση του αριθμού των ατυχημάτων 's' στην Ελλάδα μέσω της διωνυμικής διαδικασίας. Μια τέτοια μοντελοποίηση προσδιόριζε την μεταβλητότητα του συστήματος. Μερικές φορές όμως, χρησιμοποιώντας αλλιώς τα στατιστικά στοιχεία μπορούν να προσδιοριστούν διαφορετικά πράγματα. Για παράδειγμα έχοντας καταγράψει σε ένα στόλο 'n' πλοίων 's' πλοία που έδωσαν ατύχημα και με την παραδοχή ότι το μοντέλο αυτό περιγράφεται από την διωνυμική διαδικασία μπορούμε να εκτιμήσουμε την πιθανότητα πραγματοποίησης ατυχήματος 'p' σε ένα πλοίο.

Η διωνυμική πιθανότητα είναι ιδιότητα του στοχαστικού συστήματος και δεν μπορεί ποτέ να παρατηρηθεί. Μπορούμε όμως να γίνουμε πιο σίγουροι για την πραγματική τιμή της πιθανότητας συλλέγοντας στοιχεία. Ορίζοντας την πιθανότητα $p=\theta$ ως την παράμετρο που θέλουμε να εκτιμηθεί, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Αρχικά, χωρίς να υπάρχουν πληροφορίες για την τιμή της πιθανότητας p , υποτίθεται ότι ακολουθεί την κατανομή $Beta(a_1, a_2)$. Με αυτό τον τρόπο ποσοτικοποιείται η αβεβαιότητα για την πραγματική τιμή της πιθανότητας.

Συνεπώς η κατανομή $Beta(a_1, a_2)$ έχει σ.π.π. την $\pi(\theta)$:

$$Beta(a_1, a_2) = \pi(\theta) = \frac{\theta^{a_1-1} \cdot (1-\theta)^{a_2-1}}{\int_0^1 \theta^{a_1-1} \cdot (1-\theta)^{a_2-1} \cdot d\theta}$$

Το ολοκλήρωμα είναι σταθερό και υπολογίσιμο για δεδομένες τιμές των a_1, a_2 και κατά συνέπεια

$$\pi(\theta) \propto \overset{\text{ανάλογο}}{\theta^{a_1-1} \cdot (1-\theta)^{a_2-1}}$$

Έχοντας παρατηρήσει ' s ' πλοία που έδωσαν ατύχημα, σε ένα στόλο ' n ' πλοίων η πιθανότητα πραγματοποίησης ατυχήματος σε ένα πλοίο δίνεται από την διωνυμική κατανομή $l(s, n; \theta)$ όπου το θ συμβολίζει την άγνωστη παράμετρο.

$$l(s, n; \theta) = \binom{n}{s} \cdot \theta^s \cdot (1-\theta)^{n-s}$$

και καθώς ο διωνυμικός συντελεστής είναι σταθερός για δεδομένα s, n :

$$l(s, n; \theta) \propto \overset{\text{αναλογο}}{\theta^s \cdot (1-\theta)^{n-s}}$$

Κατά συνέπεια η 'μεταγενέστερη' κατανομή δίνεται από την σχέση :

$$f(\theta | s, n) = \frac{\pi(\theta) \cdot l(\theta | s, n)}{\int \pi(\theta) \cdot l(s, n | \theta) \cdot d\theta} \Rightarrow$$
$$f(\theta | s, n) = \frac{\theta^{a_1-1+s} \cdot (1-\theta)^{a_2-1+n-s}}{\int_0^1 x^{a_1-1+s} \cdot (1-x)^{a_2-1+n-s} \cdot dx}$$

η οποία είναι η κατανομή $Beta(a_1+s, a_2+n-s)$. Αυτή η κατανομή εκφράζει την αβεβαιότητα μας για την πραγματική τιμή της πιθανότητας p της διωνυμικής κατανομής.

Η $Beta$ κατανομή ονομάζεται και συζυγής αρχική κατανομή της διωνυμικής, αφού οδηγεί σε μια τελική κατανομή η οποία ανήκει στην ίδια κατηγορία με την αρχική κατανομή.

7.8 Αρχή μέγιστης εντροπίας – (Maximum Entropy Principle)^{78, 79}

Η αρχή της μέγιστης εντροπίας είναι μια στατιστική μέθοδος για τον προσδιορισμό της κατανομής της παραμέτρου με τη μέγιστη λογική αβεβαιότητα για την παράμετρο αυτή, βάση κάποιων αρχικών πληροφοριών.

Γενικά η εντροπία είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την αταξία του συστήματος και περιλαμβάνει όλες τις πιθανές καταστάσεις του. Οι κατανομές πιθανότητας δίνουν ένα συγκεκριμένο εύρος πληροφοριών και προσδιορίζουν την μεταβλητότητα του συστήματος. Δεν αξιολογούν όμως το επίπεδο εμπιστοσύνης των αντίστοιχων πιθανοτήτων. Ο Shannon το 1948 όρισε ένα μέτρο μέτρησης της αβεβαιότητας που σχετίζεται με τις πληροφορίες για τον προσδιορισμό της κατανομής πιθανότητας, οι οποίες πληροφορίες εκφράζονται με όρους εντροπίας. Κατά αυτό τον τρόπο η αβεβαιότητα ποσοτικοποιείται με την εισαγωγή της εντροπίας συνυπολογίζοντας όλα τα διαφορετικά είδη πληροφοριών. Με αυτό τον τρόπο όταν παρέχονται όλες οι πιθανές πληροφορίες, η εντροπία είναι μηδέν, καθώς δεν υπάρχει πλέον αβεβαιότητα. Σε κάθε άλλη περίπτωση η εντροπία είναι μεγαλύτερη του μηδενός.

Η κατανομή αυτή προσδιορίζεται από την μεγιστοποίηση της συνάρτησης $S(x)$ όπου:

$$S(x) = -\sum_{i=1}^M p_i \cdot \log_b(p_i)$$
$$S(x) = -\int_0^{\infty} f(x) \cdot \log_b(f(x)) \cdot dx$$

για διακριτή ή συνεχή μεταβλητή αντίστοιχα. Το p_i εκφράζει την εμπιστοσύνη για κάθε μια από τις M πιθανές τιμές x_i της μεταβλητής x . Το b εκφράζει την βάση του λογαρίθμου. Στην επιστήμη της πληροφορικής όπου η πληροφορία οργανώνεται στο δυαδικό σύστημα θεωρείται $b=2$. Πολύ συχνά όμως όταν η πιθανότητα είναι ιδιότητα κάποιας στοχαστικής διαδικασίας, τότε αυτή εκφράζεται σε εκθετική μορφή.

Για παράδειγμα ,

$$\text{διωνυμική κατανομή : } p_x(X=x) = \binom{n}{x} \cdot p^x \cdot (1-p)^{n-x}$$

$$\text{κατανομή Poisson : } p_x(X=x) = \frac{e^{-\lambda \cdot t} \cdot (\lambda \cdot t)^x}{x!}$$

⁷⁸ Andrew S. Brierley, Stephen F. Gull, and Maged H. Wafy, 'A Bayesian maximum entropy reconstruction of stock distribution and inference of stock density from line-transect acoustic-survey data', ICES Journal of Marine Science

⁷⁹ Vijay P Singh, 'The entropy theory as a tool for modelling and decisionmaking in environmental and water resources', Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Πιθανοθεωρητική εκτίμηση ρίσκου

Για αυτό ακριβώς το λόγο, θεωρούμε ότι η καταλληλότερη εκλογή βάσης, σε μια πιθανοθεωρητική ανάλυση, είναι ο φυσικός νεπέριος αριθμός e . Στη πράξη η κατάλληλη κατανομή αβεβαιότητας προσδιορίζεται από τη μέθοδο των πολλαπλασιαστών Lagrange και με αυτό τον τρόπο όλες οι μεταβλητές λαμβάνονται ως διακριτές.

Παράλληλα πολύ συχνά η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για να προσδιορίσει τις αρχικές συναρτήσεις στην *Bayesian* ανάλυση. Πιο βαθιά ανάλυση στις μαθηματικές σχέσεις που διέπουν την *αρχή μέγιστης εντροπίας*, ξεπερνάει τους σκοπούς αυτή της διπλωματικής.

Κεφάλαιο 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Εισαγωγή

Ο σκοπός της πιθανοθεωρητικής μοντελοποίησης είναι η αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των επιπέδων ρίσκου στα οποία εκτίθεται ο ελληνικός στόλος στα ελληνικά χωρικά ύδατα σε ετήσια βάση.

Η προσέγγιση των καμπυλών βασίζεται στη χρήση στοχαστικών κατανομών με σκοπό την προσέγγιση των αντίστοιχων συχνοτήτων. Ο αριθμός των νεκρών και των ατυχημάτων οι οποίοι μοντελοποιούνται μέσα από το στοχαστικό μοντέλο πρέπει πρωτίστως να επαληθεύουν τα εμπειρικά στοιχεία, τα οποία βασίζονται στην ανάλυση των στοιχείων από τα ναυτικά ατυχήματα που έγιναν στα ελληνικά ύδατα τα έτη 1992-2005 περιλαμβάνοντας όλα τα εμπορικά πλοία με ελληνική σημαία, χωρητικότητας 100 ΚΟΧ (*κόρων ολικής χωρητικότητας*) και άνω.

Τα δεδομένα που είχαμε στη διάθεση μας για τα ναυτικά ατυχήματα πλοίων στα ελληνικά χωρικά ύδατα καλύπτουν μόνο 14 χρόνια (από το 1992 έως το 2005). Η ετήσια συχνότητα των θανατηφόρων ατυχημάτων είναι σχετικά μικρή, σύμφωνα από τα στατιστικά στοιχεία, γεγονός που σε συνδυασμό με την μικρή χρονική βάση, περιορίζει το εύρος των στατιστικών στοιχείων. Αυτό δυσχεραίνει ακόμη περισσότερο την ‘αντικειμενική’ μοντελοποίηση μιας τόσο ευαίσθητης ανάλυσης.

8.1 Προσδιορισμός της κατανομής θανατηφόρων ατυχημάτων από τα αντίστοιχα στοιχεία

Ένα τέτοιο μοντέλο ανάλυσης είναι σίγουρο ότι θα περιέχει μια υποκειμενική εκτίμηση του ρίσκου. Η υποκειμενικότητα, εκτός από την ίδια την έννοια του ρίσκου, έγκειται στον τρόπο μοντελοποίησης του φυσικού κόσμου που περιγράφει τη διαδικασία αυτή, αλλά και στην εκτίμηση των αντίστοιχων παραμέτρων και περιορισμών που διέπουν το σύστημα.

Στην πραγματικότητα όμως η απλή ανάλυση των στατιστικών στοιχείων υστερεί σημαντικά στην εκτίμηση της αβεβαιότητας των μεταβλητών. Παράλληλα :

- Οι στατιστικές καμπύλες περιγράφουν την κατάσταση παρελθόντων ετών και δεν έχουν χαρακτήρα προληπτικής εκτίμησης του ρίσκου
- Τα στατιστικά στοιχεία έχουν μικρή χρονική βάση καθώς μόλις τις δυο τελευταίες δεκαετίες άρχισαν να συλλέγονται στοιχεία ατυχημάτων στην ναυτιλία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

- Παρελθόντα στοιχεία μπορεί να μην είναι πλέον σχετικά
- Τα στοιχεία απλώς παρουσιάζουν ένα μικρό αριθμό πιθανών ατυχημάτων.

Έτσι τα εργαλεία της πιθανοθεωρητικής εκτίμησης ρίσκου εφαρμόζονται σε όλο και περισσότερους τομείς. Βέβαια δεν είναι πάντα δυνατό να μοντελοποιηθεί ικανοποιητικά μια διαδικασία ούτε είναι πάντα δυνατόν να ποσοτικοποιηθεί κανείς τις μεταβλητές και την σχέση τους μεταξύ τους. Εδώ θα επιχειρηθεί μια πρώτη προσπάθεια μοντελοποίησης της ετήσιας κατανομής του αριθμού των νεκρών συναρτήσει της συχνότητας ατυχημάτων στα πλοία με ελληνική σημαία.

8.2 Αρχική περιγραφή του προβλήματος

Ουσιαστικά στο πρόβλημα που επιχειρείται να μοντελοποιηθεί, ο αριθμός των νεκρών λαμβάνεται ως τυχαία μεταβλητή. Μέσα από τεχνικές, όπου αναφέρονται στο κεφάλαιο 7, θα επιχειρηθεί να μεταφραστούν τα στατιστικά δεδομένα στην μεταβλητή αυτή για να εκτιμηθεί η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας η οποία μοντελοποιεί ρεαλιστικά την πραγματική μεταβλητότητα του προβλήματος (δηλαδή τις δυνατές τιμές της μεταβλητής) καθώς και την αβεβαιότητα του προβλήματος (δηλαδή το διάστημα εμπιστοσύνης της πραγματικής τιμής της πιθανότητας), σχετικά με την πραγματική μεταβλητότητα.

Οποιαδήποτε μοντελοποίηση βάσει των στατιστικών στοιχείων απαιτεί κάποια υποκειμενικότητα. Αυτό οφείλεται στην αρχική θεώρηση ότι ο αριθμός των νεκρών ακολουθεί κάποια στοχαστική διαδικασία .

Η αντίστοιχη κατανομή μπορεί να προσδιοριστεί από τα στατιστικά στοιχεία αν αυτά θεωρηθούν ένα τυχαίο δείγμα από την σ.π.π. η οποία επιχειρείται να προσδιοριστεί. Κατόπιν από την σ.π.π εύκολα μπορεί να προσδιοριστεί η α.σ.κ. και κατά συνέπεια η αντίστοιχη εκτίμηση για την καμπύλη $F-N$. Ο λόγος που προτιμάται ο προσδιορισμός της σ.π.π. αντί απευθείας της καμπύλης $F-N$ αναφέρεται παρακάτω.

Επειδή η τελευταία χρονιά των στατιστικών στοιχείων που διαθέταμε ήταν το 2005, το μοντέλο αυτό θα κάνει εκτίμηση για την κατάσταση ρίσκου το έτος 2006. Μετά την δημοσίευση των αντίστοιχων ναυτικών ατυχημάτων για το έτος 2006 είναι δυνατόν να ελεγχθούν οι διαφορές στις αντίστοιχες συχνότητες μεταξύ μοντέλου και στατιστικών στοιχείων για μια περαιτέρω προσέγγιση των αντίστοιχων παραμέτρων.

Η μορφή της κατανομής θα παραμένει ίδια καθώς δεν αναμένεται να απέχουν από την προσδιοριζόμενη μεταβλητότητα και αβεβαιότητα του συστήματος. Έτσι ακολουθώντας αυτήν την ακολουθία είναι δυνατός ο προσδιορισμός κατάστασης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

ρίσκου για κάθε επόμενο έτος. Σε κάθε περίπτωση όμως τα νέα στοιχεία πρέπει να εισάγονται στο μοντέλο για την εκ νέου εκτίμηση των παραμέτρων.

Ακόμη θεωρώντας ότι το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά την κατάσταση ρίσκου στην ελληνική ναυτιλία η πρόβλεψη ρίσκου για κάθε επόμενη χρονιά μπορεί να θεωρηθεί ότι απεικονίζει μια δυνατή πραγματικότητα. Κατά συνέπεια τα στοιχεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόβλεψη μιας βραχυπρόθεσμης κατάστασης (π.χ. σε χρονικό ορίζοντα 3 χρόνων).

Η καμπύλη αυτή θα προσδιορίζει την κατάσταση ρίσκου για ολόκληρο τον ελληνικό στόλο, καθώς τα στατιστικά στοιχεία αναφέρονται σε όλα τα είδη πλοίων.

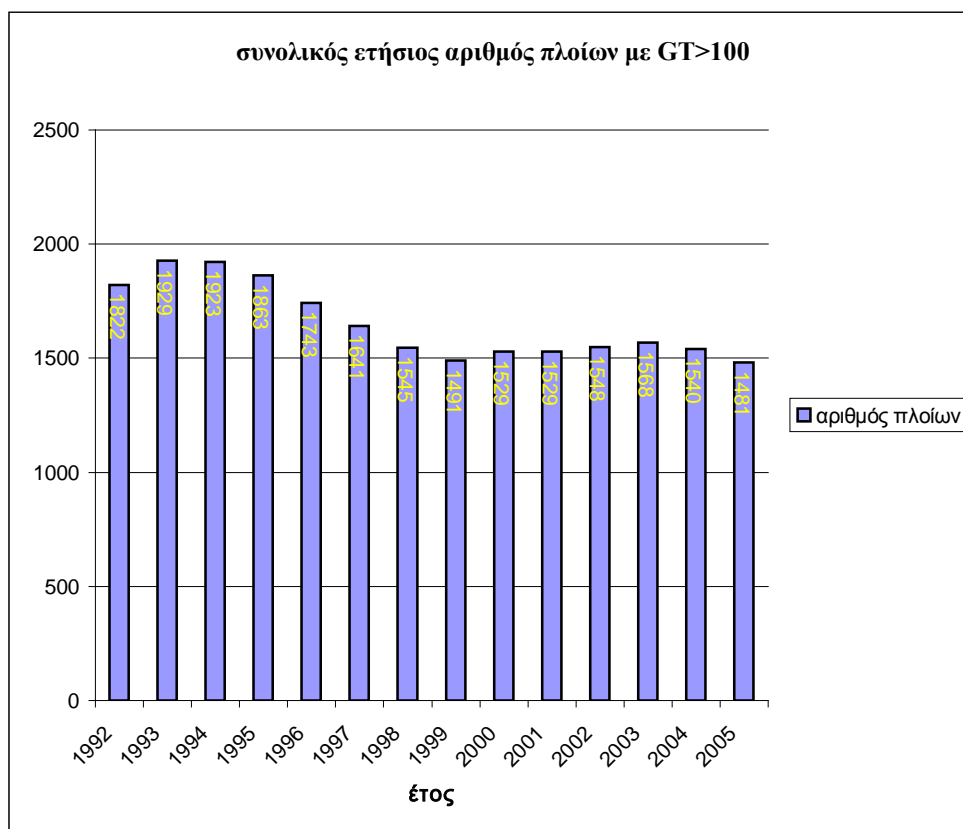
Οποιαδήποτε κατηγοριοποίηση του είδους πλοίων, για την παραγωγή των αντίστοιχων καμπυλών (π.χ. προσδιορισμός καμπύλης $F-N$ για πλοία τύπου Ε/Γ-Ο/Γ), οδηγεί σε υπερβολικά μικρό στατιστικό δείγμα με αποτέλεσμα μια τέτοια μοντελοποίηση να θεωρείται ανεπαρκής.

8.3 Στατιστικά στοιχεία

ΠΙΝΑΚΑΣ 29. Αριθμός ατυχημάτων με ακριβώς N νεκρούς ή τραυματίες κατά την περίοδο 1992-2005 στα ελληνικά χωρικά ύδατα		
Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς.	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.
0	541	569
0.1	4	28
0.2	2	24
1	10	22
2	4	12
2.5	1	8
4	1	7
6	1	6
7	1	5
8.3	1	4
14	1	3
20	1	2
80	1	1
Σύνολο	569	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 30. <i>Αριθμός ατυχημάτων με N ή παραπάνω νεκρούς ή τραυματίες κατά την περίοδο 1992-2005 στα ελληνικά χωρικά ύδατα (με N ≥ 1)</i>		
Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς.	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.
1	10	22
2	4	12
2.5	1	8
4	1	7
6	1	6
7	1	5
8.3	1	4
14	1	3
20	1	2
80	1	1
Σύνολο	22	



Σχήμα 44. Δύναμη Ελληνικής Εμπορικής Ναυτιλίας⁸⁰

⁸⁰ Πηγή: Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας (YEN)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 31. Μέγεθος ελληνικού στόλου (1992- 2005)	
Έτος	Στόλος
1992	1822
1993	1929
1994	1923
1995	1863
1996	1743
1997	1641
1998	1545
1999	1491
2000	1529
2001	1529
2002	1548
2003	1568
2004	1540
2005	1481
Σύνολο	23152

ΠΙΝΑΚΑΣ 32. Συχνότητα ατυχημάτων συναρτήσει του αριθμού των νεκρών N		
Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς . ατυχήματα / πλοία · έτος	Αθροιστική Συχνότητα Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.
1	0.000432	0.00095
2	0.000173	0.000518
2.5	4.32E-05	0.000346
4	4.32E-05	0.000302
6	4.32E-05	0.000259
7	4.32E-05	0.000216
8.3	4.32E-05	0.000173
14	4.32E-05	0.00013
20	4.32E-05	8.64E-05
80	4.32E-05	4.32E-05

8.4 Κριτήρια για την επιλογή της κατάλληλης κατανομής

Η εκλογή της κατάλληλης κατανομής είναι μείζονος σημασίας για την ορθότερη μοντελοποίηση της κατανομής των νεκρών από τα ναυτικά ατυχήματα και κατ' επέκταση του κοινωνικού ρίσκου μέσα από την παραγωγή των αντίστοιχων καμπυλών $F-N$. Η σωστή εκλογή της κατανομής είναι αυτή που μεγιστοποιεί τις γνώσεις που κατέχονται έως τώρα από τα ναυτικά ατυχήματα αλλά και τα συμπεράσματα που απορρέουν από τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία. Παρακάτω αναφέρονται οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για την ορθότερη αποτίμηση του ρίσκου στην ελληνική ναυτιλία.

8.4.1 Εκτίμηση των συχνοτήτων f ή των αθροιστικών συχνοτήτων F ;

Τα διαγράμματα $F-N$ απεικονίζουν την αθροιστική συχνότητα/πιθανότητα ατυχήματος με N ή περισσότερους νεκρούς. Ο προσδιορισμός των συχνοτήτων F οδηγεί απευθείας στην εκτίμηση της καμπύλης $F-N$, το οποίο μεταφράζεται στον προσδιορισμό της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής (α.σ.κ.).

Από τις συχνότητες F μπορεί άμεσα να προσδιοριστούν και οι αντίστοιχες συχνότητες f , αφού υπάρχει αμφιμονοσήμαντη σχέση μεταξύ των συχνοτήτων f και F , σύμφωνα με τις σχέσεις :

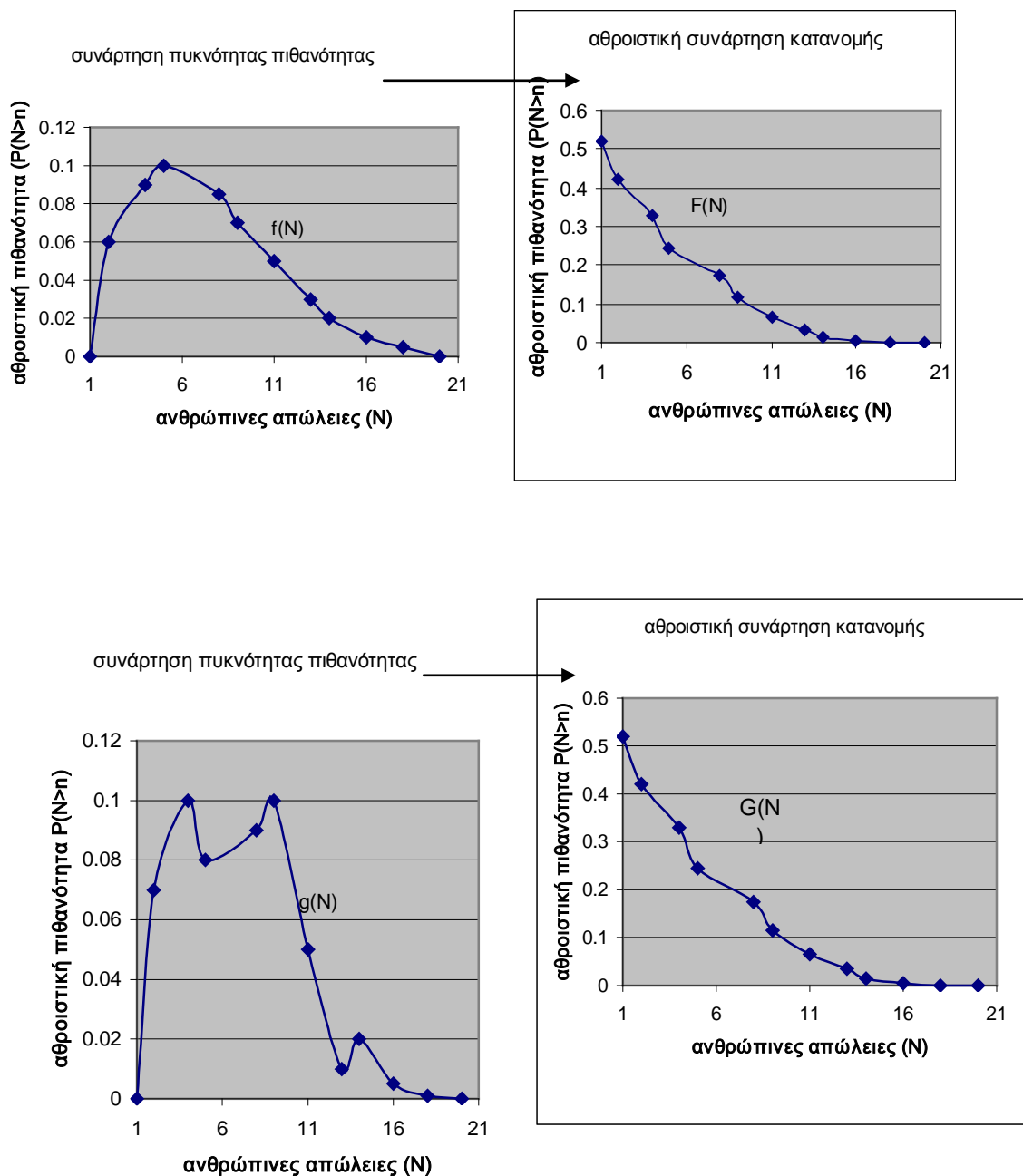
$$F_N = \sum_{i=N}^{N_u} f_i \quad \text{όταν το } N \text{ θεωρείται διακριτή μεταβλητή}$$
$$F_N = \int_N^{N_u} f(u) \cdot du \quad \text{όταν το } N \text{ θεωρείται συνεχής μεταβλητή}$$

Η εκτίμηση δηλαδή της α.σ.κ. οδηγεί στον προσδιορισμό και της συνάρτησης μάζας πιθανότητας ή στον προσδιορισμό της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας (για N διακριτή ή συνεχής μεταβλητή αντίστοιχα).

Παρόλα αυτά ο προσδιορισμός απευθείας των συχνοτήτων F είναι ιδιαίτερα ανεπαρκής καθώς δεν είναι καθόλου ευαίσθητες στις μεταβολές των αντίστοιχων συχνοτήτων f .

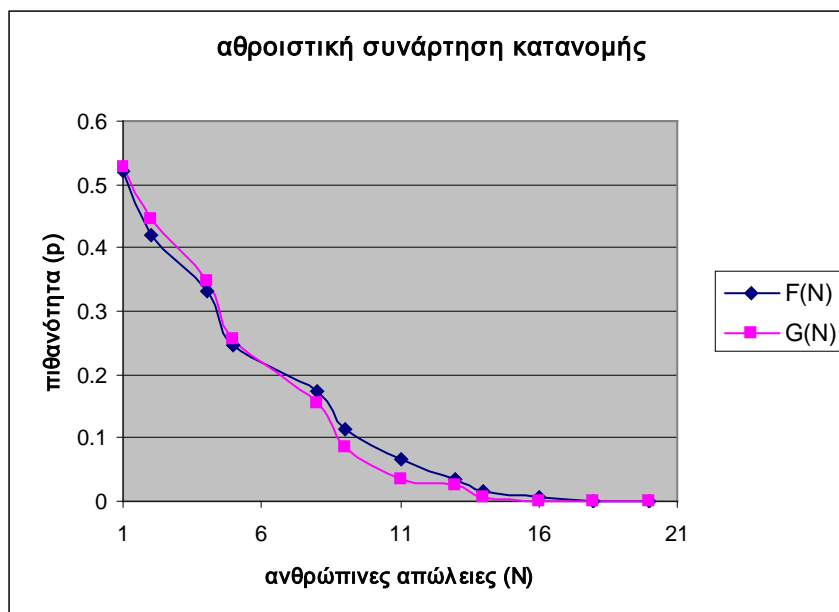
Μια μικρή μεταβολή στο σχήμα της καμπύλης $F-N$ η οποία θα μπορούσε να περάσει απαρατήρητη μπορεί να επιφέρει δραματικές αλλαγές στις αντίστοιχες συχνότητες f . Τα παρακάτω παραδείγματα απεικονίζουν τα παραπάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.



Σχήμα 45. Παράδειγμα μετατροπής της σ.π.π. σε .α.σ.κ.

Αν και οι σ.π.π. των $f(N)$ και $g(N)$ είναι αισθητά διαφορετικές όπως φαίνεται στο επόμενο Σχήμα οι αθροιστικές κατανομές είναι σχεδόν όμοιες.



Σχήμα 46. Παράδειγμα για το πώς μικρές μεταβολές στην αθροιστική κατανομή μπορεί να επηρεάσει δραματικά τις συχνότητες/ πιθανότητες f_N

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ανεξάρτητα από την μορφή της σ.π.π., η α.σ.κ. με φθίνουσα διάταξη έχει προκαθορισμένη μορφή και είναι πάντα φθίνουσα καθώς $F_N \geq F_{N+1}$.

Για αυτό το λόγο θα πρέπει να προτιμηθεί ο προσδιορισμός των συχνοτήτων f ή καλύτερα ο προσδιορισμός της αντίστοιχης σ.π.π. Βέβαια τα παραπάνω δεν μειώνουν την χρησιμότητα της αθροιστικής κατανομής, καθώς αυτό που ενδιαφέρει στην ανάλυση και αποτίμηση ρίσκου, είναι η πιθανότητα υπέρβασης κάποιας τιμής $P(>N)$. Παράλληλα όταν οι μεταβλητές διαφέρουν αρκετές τάξης μεγέθους (π.χ. η πιθανότητα μπορεί να μεταβάλλεται από 10^{-2} έως 10^{-7}) ο καλύτερος εποπτικός τρόπος απεικόνισης τέτοιων μεταβολών είναι μέσω της α.σ.κ..

8.4.2 Διακριτή ή συνεχής κατανομή;

Αν και ο αριθμός των νεκρών από τα ναυτικά ατυχήματα πρόκειται για διακριτή μεταβλητή καθώς δεν είναι δυνατόν να προκύψει σε ατύχημα μη ακέραιος αριθμός νεκρών, ωστόσο κατά την πιθανοτική ανάλυση κάποιας δραστηριότητας είναι δυνατόν να συμβαίνει. Αυτό γιατί όταν ο αριθμός των νεκρών εκτιμάται από μια πιθανοθεωρητική διαδικασία, ο αριθμός των νεκρών εξαρτάται από τις αντίστοιχες πιθανότητες^{81, 82}. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο αριθμός των νεκρών να εξαρτάται από την εκάστοτε κατάσταση θάλασσας.

⁸¹ Dennis C. Henderhot, 'A Simple Problem to Explain and Clarify the Principles of Risk Calculation'

⁸² David J Ball, Peter J Floyd, 'Societal Risks, Final Report', HSE

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Για να διευκρινιστεί πως ο αριθμός των νεκρών λαμβάνεται ως συνεχής μεταβλητή σε μια πιθανοτική ανάλυση θα θεωρηθεί το εξής παράδειγμα:

Σε ένα χημικό εργοστάσιο το υπό εξέταση ατυχηματικό σενάριο είναι η έκρηξη και η επέκταση φωτιάς στις γύρω περιοχές. Ο υπολογισμός του ατομικού ρίσκου $IR_{x,y}$ σχετίζεται με την 'ακτίνα κινδύνου' του ατυχηματικού σεναρίου. Ας υποθεθεί ότι σχέση μεταξύ της πιθανότητας απώλειας $P_{d|f}$ και της απόστασης από την πηγή κινδύνου δίνεται από την σχέση:

$$P_{d|f} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ 1 + \cos\left(\frac{\pi \cdot R}{R_{\max}}\right) \right\}$$

όπου R: απόσταση από τον κίνδυνο

R_{\max} : μέγιστη επηρεαζόμενη ζώνη

Επίσης αν υποθεθεί ότι η πιθανότητα του ανέμου να κινείται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση είναι P_{av} , τότε σε κάθε σημείο το ατομικό ρίσκο υπολογίζεται ως:

$$IR_{x,y} = f_i \cdot P_{d|f} \cdot P_{av}$$

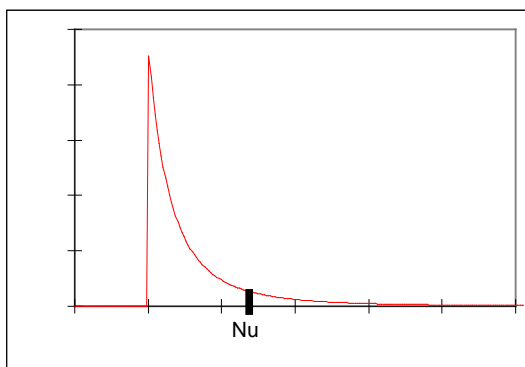
Για τον υπολογισμό του κοινωνικού ρίσκου απαιτείται να είναι γνωστό ο πληθυσμός που βρίσκεται σε κίνδυνο σε κάθε κατεύθυνση. Ανάλογα με τον πληθυσμό που εκτίθεται στο ρίσκο υπολογίζεται η εκτίμηση για τον συνολικό αριθμό των νεκρών από το ατύχημα. Αυτός αριθμός ο οποίος εκτιμάτε από μια τέτοια πιθανοτική ανάλυση, παρόλο που εκφράζει τον συνολικό αριθμό των νεκρών μπορεί να θεωρείται ως συνεχής μεταβλητή.

Συνεχίζοντας τα όσα αναφέρονται παραπάνω, τόσο οι καμπύλες $F-N$ όσο και τα όρια που τις περιορίζουν είναι συνεχείς γραμμές, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο αριθμός των νεκρών λαμβάνεται καταχρηστικά ως συνεχής μεταβλητή.

8.4.3 Πεδίο ορισμού: φραγμένη ή μη φραγμένη κατανομή

Ο δειγματικός χώρος της κατανομής πρέπει να περιγράφει υπαρκτά σενάρια. Κατά συνέπεια ο αριθμός των νεκρών ως τυχαία μεταβλητή X πρέπει να ικανοποιεί την σχέση $X > 0 \quad \forall x_i$. Μερικές τέτοιες κατανομές είναι οι : *Εκθετική* (>0), *Pareto* ($>a$), *Poisson* (≥ 0), *Weibull* (>0).

Παράλληλα πρέπει να οριοθετείται ο μέγιστος αριθμός νεκρών N_u . Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι η συνάρτηση πρέπει να είναι άνω φραγμένη. Έτσι είναι δυνατό η μέγιστη τιμή να περιορίζεται είτε με κατάλληλη εκλογή των παραμέτρων της κατανομής είτε με περιορισμό της ουράς της κατανομής.



Σχήμα 47. Παράδειγμα περιορισμού της ουράς της κατανομής

8.4.4 Μορφή κατανομής

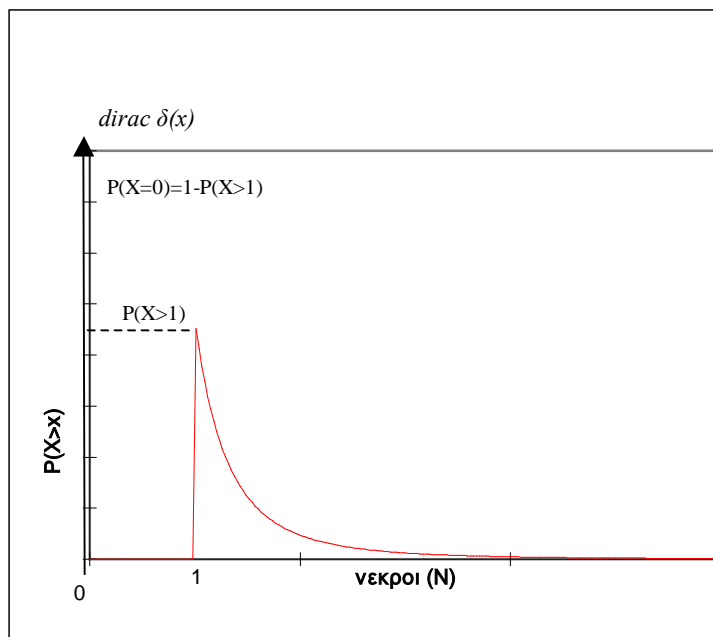
Τα ναυτικά ατυχήματα ως επί το πλείστον οδηγούν σε μια ανθρώπινη απώλεια. Κατά συνέπεια αυτή είναι η ελάχιστη αλλά και πιο πιθανή τιμή. Μια τέτοια μορφή χαρακτηρίζεται από κατανομή με μακριά ουρά. Όσο πιο μακριά είναι η ουρά της κατανομής τόσο μεγαλύτερες είναι οι δυνατές συνέπειες του ατυχήματος.

Επειδή τα διαγράμματα $F-N$ απεικονίζουν την πιθανότητα ατυχήματος με N ή παραπάνω νεκρούς $P(X>N)$ η ελάχιστη τιμή του X είναι η $X=1$ καθώς για να υπάρχει θανατηφόρο ατύχημα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένας νεκρός. Μια τέτοια μοντελοποίηση προσδιορίζει τον αριθμό των νεκρών δεδομένου του ατυχήματος. Για να υπολογιστεί ολόκληρη η σ.π.π. του αριθμού των νεκρών πρέπει να προστεθεί και η πιθανότητα όχι θανατηφόρου ατυχήματος. Αυτό μεταφράζεται σε μια καμπύλη $F-N$ ότι για $N=0$ προστίθεται η κρουστική συνάρτηση *Dirac* όπου δίνει την πιθανότητα όχι ατυχήματος όπου πρέπει να ικανοποιεί την σχέση:

$$P(X=0) = 1 - P(X>1)$$

Ούτως ώστε να ισχύει η συνθήκη κανονικοποίησης :

$$\int_0^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \quad \text{όπου } f(x) \text{ η αντίστοιχη σ.π.π.}$$



Σχήμα 48. Παράδειγμα προσδιορισμού ολόκληρης της σ.π.π.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μετατόπιση της καμπύλης $F-N$ ως προς τον κατακόρυφο άξονα, χωρίς όμως να επηρεάζεται το σχήμα και η μορφή της καμπύλης. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται η πιθανότητα ατυχήματος με 1 ή περισσότερους νεκρούς: $F_1 = P(X > 1)$. Το παραπάνω θα γίνει καλύτερα αντιληπτό μέσα από την διαδικασία που θα ακολουθήσει για την πιθανοθεωρητική κατασκευή των καμπυλών.

8.4.5 Προσέγγιση της καμπύλης $F-N$ για τα ναυτικά ατυχήματα την Ελλάδα

Στη παράγραφο αυτή θα γίνει η πιθανοθεωρητική εκτίμηση της καμπύλης $F-N$ για την εκτίμηση ρίσκου των πλοίων με ελληνική σημαία στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο. Ο αριθμός των ανθρώπινων απωλειών λαμβάνεται ως τυχαία μεταβλητή. Η εκτίμηση των πιθανοτήτων πραγματοποιείται μέσω μιας στοχαστικής διαδικασίας όπου ο δειγματικός της χώρος εκφράζει τα πιθανά σενάρια του συστήματος.

Η εκτίμηση της καμπύλης $F-N$ θα γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει αντιστοιχία των μεγεθών της πιθανοθεωρητικής εκτίμησης, με τα αντίστοιχα μεγέθη των στατιστικών καμπυλών $F-N$ όπως αυτές οι καμπύλες απεικονίζονται στην ναυτιλία έως και σήμερα. Διότι μόνο τότε θα είχε νόημα οποιαδήποτε συσχέτιση ή σύγκριση αυτών των δύο απεικονίσεων κατάστασης του ρίσκου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Ουσιαστικά ο παραδοσιακός τρόπος απεικόνισης των καμπυλών $F-N$ στην ατυχήματα

ναυτιλία εκφράζει τη συχνότητα στην μορφή : $\text{αριθμός πλοίων} \times \text{έτη}$. Όπως έχει ήδη σημειωθεί, η εκλογή της βάσης αναγωγής προσδιορίζει τη κατάσταση ρίσκου της αντίστοιχης ‘δραστηριότητας’. Κατά συνέπεια η συχνότητα της

ατυχήματα

μορφής $\text{αριθμός πλοίων} \times \text{έτη}$ προσδιορίζει την ετήσια κατάσταση ρίσκου σε ένα πλοίο καθώς η δραστηριότητα εδώ, θεωρείται το πλοίο.

Επιπλέον η κατασκευή των στατιστικών καμπυλών $F-N$ βασίζεται στην καταγραφή του εκάστοτε αριθμού νεκρών N_i δοθέντος του ναυτικού ατυχήματος. Μια τέτοια θεώρηση δεν επιτρέπει την απεικόνιση της συνολικής κατάστασης ρίσκου αφού οι νεκροί N_i είναι απόρροια ενός συγκεκριμένου ατυχήματος για κάθε ατύχημα i . Αυτό που απεικονίζεται δηλαδή σε μια στατιστική καμπύλη $F-N$ (πάντα με γνώμονα τον τρόπο χάραξης τους στην ναυτιλία) είναι ο ετήσιος αριθμός των νεκρών δοθέντος του ατυχήματος σε ένα πλοίο. Για το θέμα αυτό αναφέρονται περισσότερα στην *παράγραφο 8.5* ενώ παράλληλα προτείνεται μια εναλλακτική προσέγγιση ούτως ώστε οι καμπύλες αυτές να υπολογίζουν την συνολική κατάσταση ρίσκου.

Κατά συνέπεια, για να υπάρχει πλήρης αντιστοιχία, κατά αυτή τη πιθανοθεωρητική ανάλυση, μια τέτοια καμπύλη θα εκφράζει την κατάσταση ρίσκου σε ένα πλοίο για το επόμενο ατύχημα μέσα σε ένα έτος. Δεδομένου των στατιστικών στοιχείων που διαθέτουμε ο ‘όρος’ πλοίο αναφέρεται σε όλα τα πλοία με ελληνική σημαία μέσα στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο.

Για την κατασκευή της πιθανοθεωρητικού μοντέλου που περιγράφει την παραπάνω κατάσταση ρίσκου υπεισέρχονται δύο παράμετροι: η αβεβαιότητα και η μεταβλητότητα. Δεδομένου ότι ο αριθμός των νεκρών για το επόμενο ατύχημα λαμβάνεται ως τυχαία μεταβλητή, μπορεί να προσεγγιστεί από μια στοχαστική διαδικασία. Κάθε απλή καμπύλη $F-N$ περιγράφει μια πιθανή κατάσταση και εκφράζει των μεταβλητότητα του συστήματος. Η αβεβαιότητα εκφράζει το πόσο σίγουροι είμαστε για την πραγματική τιμή της πιθανότητας ατυχήματος με N ή περισσότερους νεκρούς. Τα παραπάνω απεικονίζονται με ένα νέφος καμπυλών $F-N$.

Μια τέτοια προσέγγιση θεωρείται πλεονεκτικότερη καθώς: Για τον ίδιο λόγο που οι καμπύλες $F-N$ θεωρούνται ως το καλύτερο εργαλείο για την αποτίμηση του ρίσκου, καθώς δεν απεικονίζουν το ρίσκο με έναν αριθμό αλλά με μια καμπύλη, έτσι και το νέφος καμπυλών δίνει περισσότερες πληροφορίες για τον χαρακτηρισμό του ρίσκου σε σχέση με μια καμπύλη $F-N$. Τονίζεται πάλι ότι μια (μοναδική) καμπύλη εκφράζει μια μέση δυνατή πραγματικότητα η οποία μπορεί και να μη πραγματοποιηθεί ποτέ. Ένα νέφος καμπυλών δίνει την δυνατότητα εκτίμησης για το που μπορεί να κυμανθούν τα εκάστοτε επίπεδα του ρίσκου καθώς και για το πόσο βέβαιοι μπορούμε να είμαστε για τις τιμές αυτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Μια τέτοια προσέγγιση θεωρείται μαθηματικώς πιο ορθή καθώς: Αγνοώντας την αβεβαιότητα για τη πραγματική τιμή της πιθανότητας μιας τυχαίας μεταβλητής, οδηγεί σε μια (μοναδική) καμπύλη όπου εκφράζει μια μέση δυνατή πραγματικότητα η οποία μπορεί και να μη πραγματοποιηθεί ποτέ.

Ο προσδιορισμός της *σ.π.π ανθρώπινων απωλειών* $f(N)$ θα βασιστεί τόσο στα στατιστικά στοιχεία της *παραγράφου 8.3* όσο και στα όσα αναφέρονται στη *παράγραφο 8.4* για τα κριτήρια επιλογής κατάλληλης κατανομής.

Ο λόγος που προτιμάται η εκτίμηση της $f(N)$ έναντι απευθείας της $F(N)$ είναι διότι η αθροιστική συνάρτηση κατανομής είναι λιγότερο ευαίσθητη στις μεταβολές. Περισσότερα για το θέμα αυτό έχουν ήδη αναφερθεί στην *παράγραφο 8.4.1*.

Προτού την εκλογή της κατάλληλης κατανομής ο αριθμός των νεκρών (N) για το επόμενο ατύχημα θεωρείται ότι η κατανομή διέπεται από τις παρακάτω αρχές:

- Ο αριθμός των νεκρών (N) για το επόμενο ατύχημα θεωρείται ως τυχαία μεταβλητή.
- Ο αριθμός των νεκρών (N) για το επόμενο ατύχημα λαμβάνεται ως συνεχής μεταβλητή. Αυτό γιατί είναι αποτέλεσμα μιας πιθανοθεωρητικής ανάλυσης, που προέρχεται από την εκτίμηση των αντίστοιχων πιθανοτήτων που διέπουν την στοχαστική διαδικασία.
- Το πεδίο ορισμού της κατανομής είναι $N > 0 \quad \forall N_i$. Αυτό γιατί η κατανομή πρέπει να περιγράφει υπαρκτά σενάρια.
- Η μορφή της κατανομής πρέπει να είναι τέτοια ώστε να χαρακτηρίζεται από μακριά ουρά. Τα ναυτικά ατυχήματα ως επί το πλείστον οδηγούν σε μια ανθρώπινη απώλεια. Κατά συνέπεια αυτή είναι η ελάχιστη αλλά και πιο πιθανή τιμή. Αυτή η απαίτηση υπεισέρχεται μέσω των αντίστοιχων στατιστικών στοιχείων.
- Ο αριθμός των νεκρών N_i θεωρείται ανεξάρτητος από ατύχημα σε ατύχημα.

Ο αριθμός των νεκρών (N) για το επόμενο ατύχημα προσδιορίζεται από την κατανομή *Extreme Value*:

$$Extreme(a,b) = f(N) = \frac{1}{b} \cdot \exp\left(-\frac{N-a}{b}\right) \cdot \exp\left[-\exp\left(-\frac{N-a}{b}\right)\right]$$

η οποία επιλέχθηκε με βάση τις παραπάνω παραδοχές, τα στατιστικά τεστ *Anderesen-Darling* και *Chi-Square* και τη χρήση του προγράμματος *Crystal Ball*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Η αθροιστική συνάρτηση $F(N)$ υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$F(N) = \int_N^{+\infty} f(x) \cdot dx$$

Παρατηρείται εδώ ότι το άνω άκρο του ολοκληρώματος τείνει στο άπειρο. Ουσιαστικά το άνω άκρο του ολοκληρώματος προσδιορίζει το μέγιστο αριθμό νεκρών για το επόμενο ατύχημα. Δεδομένου ότι ο μέγιστος αριθμός νεκρών N_u που μπορεί να πεθάνουν είναι το σύνολο των επιβαινόντων σε ένα πλοίο, ο N_u είναι περίπου $N_u=3000$ αφού αυτή είναι περίπου η μέγιστη μεταφορική ικανότητα ενός πλοίου τύπου *ΕΓ/ΟΓ*. Παρόλα αυτά η πιθανότητα εμφάνισης ατυχήματος με παραπάνω από 3000 νεκρούς είναι αμελητέα. Χωρίς να άρουμε λοιπόν την γενική θεώρηση του προβλήματος η αθροιστική συνάρτηση $F(N)$ υπολογίζεται σύμφωνα με την παραπάνω σχέση αφού κατά αυτό τον τρόπο είναι ευκολότερος ο υπολογισμός των μεγεθών όπως η μέση τιμή $E(N)$. Σε κάθε περίπτωση ακόμη και αν θεωρούσαμε $N_u=3000$ τα αποτελέσματα δεν θα είχαν καμία διαφορά. Έτσι για τον υπολογισμό της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής $F(N)$:

σύμφωνα με τη συνθήκη κανονικοποίησης :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \xrightarrow{x>0} \int_0^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \Rightarrow \int_0^N f(x) \cdot dx + \int_N^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1 \Rightarrow$$

$$F(N) + G(N) = 1 \Rightarrow F(N) = 1 - G(N) \Rightarrow$$

$$F(N) = 1 - \exp\left[-\exp\left(-\frac{N-a}{b}\right)\right]$$

Όπου η αθροιστική συνάρτηση κατανομής $G(N)$ δίνεται από την σχέση:

$$G(N) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{N-a}{b}\right)\right]$$

Η αβεβαιότητα του συστήματος υπεισέρχεται με την εκτίμηση των παραμέτρων a, b της κατανομής *Extreme Value*. Η κατανομή *Extreme Value* μοντελοποιεί την τυχαία μεταβλητή N , δηλαδή το αριθμό των νεκρών για το επόμενο ατύχημα. Αλλά οι παράμετροι a, b είναι θεμελιώδης ιδιότητα του στοχαστικού συστήματος και δεν μπορούν ποτέ να παρατηρηθούν. Μπορούμε όμως να γίνουμε πιο σίγουροι για την πραγματική τους τιμή από τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Τονίζεται ότι οι παράμετροι a , b δεν είναι μεταβλητές, καθώς όπως ήδη αναφέρθηκε, δεν μπορούν ποτέ να παρατηρηθούν. Ο προσδιορισμός τους πραγματοποιείται μέσω δυο κατανομών όπου θα περιγράψουν την κατάσταση γνώση μας για την τιμή των παραμέτρων a , b . Αυτές οι κατανομές, είναι κατανομές αβεβαιότητας.

Η παράμετρος b προσδιορίζει την μορφή της κατανομής *Extreme Value*. Ουσιαστικά η παράμετρος b είναι κατά κύριο λόγο αυτή που προσδιορίζει το μέγεθος της αβεβαιότητας καθώς αυτή η παράμετρος προσδιορίζει την ταχύτητα με την οποία η ουρά εξαφανίζεται.

Η παράμετρος b ακολουθεί την κατανομή *Gamma(2.8, 1.9255)*. Η καλύτερη εκτίμηση, βάση των στατιστικών στοιχείων, για την παράμετρο b είναι $b=5.3916$ η οποία υπολογίστηκε με χρήση του προγράμματος *Crystal Ball*. Η μέση τιμή της κατανομής *Gamma* ισούται με την καλύτερη εκτίμηση για την παράμετρο b . Δηλαδή :

$$E(N)_{Gamma} = b=5.3916$$

Η μορφή αυτής της κατανομής αβεβαιότητας έχει σχήμα ‘καμπάνας’. Δηλαδή οι πιο πιθανές τιμές για την παράμετρο b είναι γύρω από την μέση τιμή, η οποία και ισούται με την καλύτερη εκτίμηση. Έχει όμως συγκριτικά μεγαλύτερη πυκνότητα στην ουρά της κατανομής σε σχέση για παράδειγμα με την κανονική κατανομή. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι δίνει βάρος σε ατυχήματα με πολλαπλό αριθμό νεκρών, τα οποία δεν έχουν πραγματοποιηθεί.

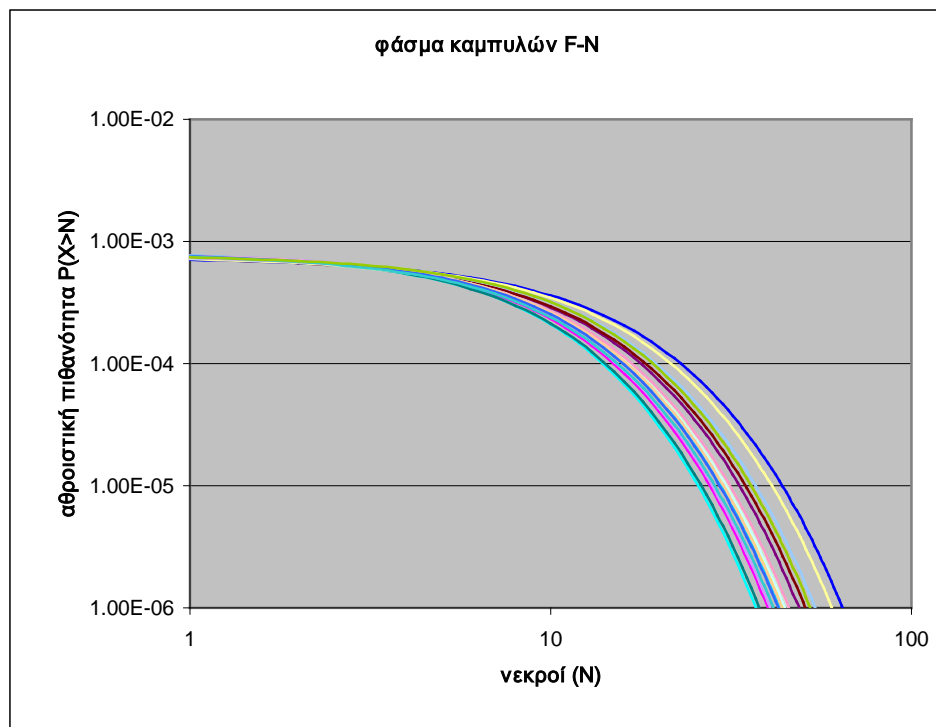
Η παράμετρος a προσδιορίζει την κλίμακα της κατανομής *Extreme Value*. Ουσιαστικά η παράμετρος a δεν επηρεάζει αισθητά την αβεβαιότητα του συστήματος. Η τελική μορφή της κατανομής *Extreme Value* όπου περιγράφει το εξεταζόμενο σύστημα γίνεται σταδιακά λιγότερο ευαίσθητη ως προς την παράμετρο a καθώς συλλέγονται τα στατιστικά στοιχεία.

Η καλύτερη εκτίμηση, βάση των στατιστικών στοιχείων, για την παράμετρο a είναι $a=2.8$ η οποία υπολογίστηκε με χρήση του προγράμματος *Crystal Ball*.

Καθώς δεν θέλουμε η τελική μορφή της καμπύλης $F-N$ να επηρεάζεται από την παράμετρο a , θεωρούμε ότι η αβεβαιότητα μας για την παράμετρο a ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή με τύπο $U(2.52, 3.08)$.

Όλα τα παραπάνω απεικονίζονται σε λογαριθμική-λογαριθμική κλίμακα στο παρακάτω σχήμα:

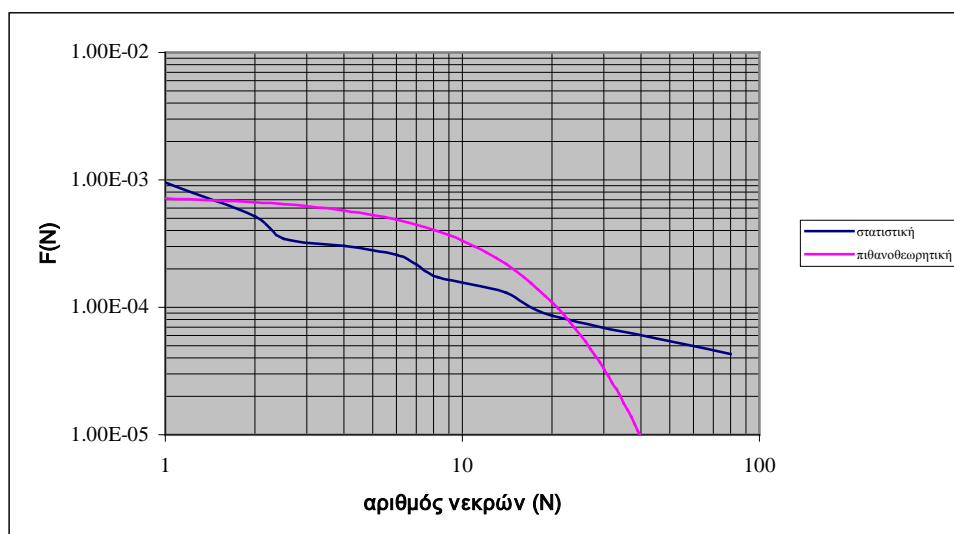
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.



Σχήμα 49. Φάσμα καμπυλών F-N

Αξίζει να σημειωθεί εδώ, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, ότι καθώς ο αριθμός των νεκρών αυξάνει η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιου ατυχήματος μικραίνει αισθητά, ενώ παράλληλα η αβεβαιότητα, για την πραγματική τιμή της πιθανότητας ατυχήματος με πολλαπλό αριθμό νεκρών, αυξάνεται.

Η σύγκριση της μέσης κατάστασης ρίσκου από την παραπάνω πιθανοθεωρητική προσέγγιση σε σχέση με την στατιστική καμπύλη F-N του συνολικού στόλου όπως αυτή απεικονίζεται στο κεφάλαιο 6 δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 50. Σύγκριση στατιστικής - πιθανοθεωρητικής καμπύλης F-N

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Αν και κάποιος θα μπορούσε να ισχυριστεί ότι κατά την πιθανοθεωρητική ανάλυση υποεκτιμάται η πιθανότητα ατυχήματος με πολλαπλές συνέπειες, στην πραγματικότητα η στατιστική καμπύλη $F-N$ είναι εκείνη κατά την οποία υπερεκτιμάτε η συχνότητα εμφάνισης ατυχήματος τέτοιου μεγέθους. Το γιατί αναφέρεται αμέσως παρακάτω στη *παράγραφο 8.5*.

Παράλληλα η σύγκριση του PLL της πιθανοθεωρητικής εκτίμησης (μέση εκτίμηση καμπύλης $F-N$) με το αντίστοιχο στατιστικό PLL δίνει:

$$\begin{aligned} \text{Πιθανοθεωρητικό } PLL &= E(N) = 0.0059 \\ \text{Στατιστικό } PLL &= 0.0069 \end{aligned}$$

Γεγονός που οφείλεται στο ότι κατά την πιθανοθεωρητική εκτίμηση τα ατυχήματα μεγέθους του *EXPRESS SAMINA* αξιολογούνται με μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης έναντι του αντίστοιχου στατιστικού τρόπου υπολογισμού.

8.5 Μια εναλλακτική προσέγγιση των καμπυλών $F-N$ –Καμπύλες $H-X$

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, οι στατιστικές καμπύλες $F-N$ στην ναυτιλία εκφράζονται με την συχνότητα ατυχήματος με N ή παραπάνω νεκρούς, η οποία ατυχήματα

έχει μονάδες: αριθμός πλοίων × έτη. Τονίζεται πάλι ότι, η εκλογή της βάσης αναγωγής προσδιορίζει τη κατάσταση ρίσκου της αντίστοιχης ‘δραστηριότητας’.

ατυχήματα

Κατά συνέπεια η συχνότητα της μορφής αριθμός πλοίων × έτη προσδιορίζει την ετήσια κατάσταση ρίσκου σε ένα πλοίο καθώς η δραστηριότητα εδώ, θεωρείται το πλοίο.

Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι δίνει την δυνατότητα σύγκρισης της ετήσιας κατάστασης ρίσκου ενός οποιοδήποτε ελληνικού πλοίου με την ετήσια κατάσταση ρίσκου ενός πλοίου οποιασδήποτε άλλης εθνικότητας αφού η αναγωγή σε ένα πλοίο το κάνει εφικτό.

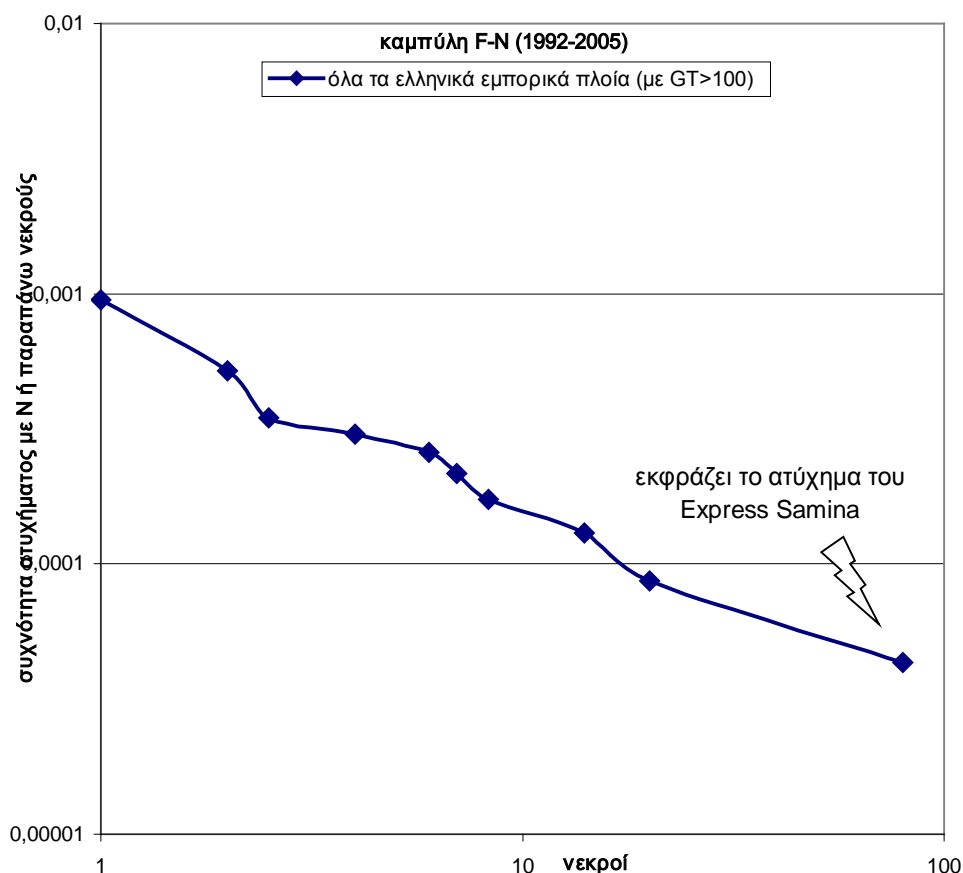
Το μειονέκτημα όμως είναι ότι μια τέτοια απεικόνιση δεν δείχνει τη συνολική κατάσταση ρίσκου στην Ελλάδα. Προσδιορίζει μεν τον αριθμό των νεκρών δεδομένου ότι έγινε ατύχημα στο πλοίο αυτό, αδυνατεί όμως να απεικονίσει τη διάσταση του αριθμού των νεκρών σε σχέση με τα ναυτικά ατυχήματα γιατί πολύ απλά αναφέρεται σε νεκρούς ανά ατύχημα. Τονίζεται ότι, τα όσα αναφέρονται παραπάνω έχουν να κάνουν με τον τρόπο αντιμετώπισης των καμπυλών $F-N$ στην ναυτιλία και όπως αυτές υπολογίζονται ως σήμερα.

Με άλλα λόγια ο οριζόντιος άξονας εκφράζει μεν τις ανθρώπινες απώλειες αλλά για το επόμενο ατύχημα. Για να δειχθεί το παραπάνω θα δανειστούμε την αντίστοιχη στατιστική καμπύλη $F-N$ για τα ναυτικά ατυχήματα στην Ελλάδα όπως αυτή κατασκευάστηκε στο κεφάλαιο 6.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Έτσι για παράδειγμα το σημείο $F_{80}(80, 4.32E-05)$ αναφέρεται στο ατύχημα του *EXPRESS SAMINA* που οδήγησε στην απώλεια 80 ανθρώπων. Όμως οι 80 νεκροί είναι απόρροια του δεδομένου ναυτικού ατυχήματος. Ανάλογα το σημείο F_1 αναφέρεται σε ατύχημα που πραγματοποιήθηκε και είχε ως αποτέλεσμα 1 νεκρό ή περισσότερους. Ανεξάρτητα των αριθμό των ατυχημάτων ο 1 νεκρός είναι συνέπεια ατυχήματος και όχι μια συνολικής κατάστασης.

Αντίθετα, η διάσταση των ατυχημάτων υπεισέρχεται για τον προσδιορισμό τις αντίστοιχης συχνότητας, δεν επηρεάζει όμως τον αριθμό των νεκρών αφού αναφερόμαστε πάντα για το επόμενο ατύχημα



Σχήμα 51. Στατιστική καμπύλη συνολικού ελληνικού στόλου

Για να προσδιοριστεί η συνολική κατάσταση ρίσκου θα αποδοθούν οι αντίστοιχες καμπύλες με διαφορετική προσέγγιση.

Θα γίνει μια προσπάθεια συσχέτισης του αριθμού ατυχημάτων με τον αναμενόμενο αριθμό νεκρών. Για να επιτευχθεί μια τέτοια μοντελοποίηση η τυχαία μεταβλητή δεν θα εκφράζει τον αριθμό των νεκρών δοθέντος του θανατηφόρου ατυχήματος, αλλά τον αναμενόμενο αριθμό νεκρών για το επόμενο έτος.

Κατά συνέπεια θα θεωρήσουμε δύο τυχαίες μεταβλητές όπου εκφράζουν τον αναμενόμενο αριθμό των νεκρών ανά ατύχημα και τον ετήσιο αριθμό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

θανατηφόρων ατυχημάτων αντίστοιχα. Ο συνδυασμός των δυο αυτών τυχαίων μεταβλητών δίνει την συνολική κατάσταση ρίσκου.

Ορίζουμε τον αναμενόμενο αριθμό των νεκρών ανά ατύχημα ως την τυχαία μεταβλητή x . Αυτή, σύμφωνα με όσα έχουν λεχθεί παραπάνω αποτυπώνεται με μια στοχαστική διαδικασία που περιγράφεται από την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των ανθρώπινων απωλειών (*σ.π.π. ανθρώπινων απωλειών*). Η συνάρτηση πιθανότητας αυτή είναι δεσμευμένη με την έννοια ότι προϋποθέτει θανατηφόρο ατύχημα.

Αντίστοιχα ορίζουμε τον ετήσιο αριθμό θανατηφόρων ατυχημάτων ως την τυχαία μεταβλητή a . Όμοια αυτή εκφράζεται με τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του ετήσιου αριθμού θανατηφόρων ατυχημάτων (*σ.π.π. θανατηφόρων ατυχημάτων*).

Συνοψίζοντας η *σ.π.π. θανατηφόρων ατυχημάτων* είναι ένα μέτρο του αριθμού θανατηφόρων ατυχημάτων μέσα σε ένα δοσμένο χρονικό διάστημα (ένα χρόνο). Η *σ.π.π. ανθρώπινων απωλειών* είναι ένα μέτρο του μεγέθους των ανθρώπινων απωλειών από τη στιγμή που πραγματοποιείται θανατηφόρο ατύχημα. Το πλεονέκτημα διαχωρισμού της συνολικής κατάστασης ρίσκου σε δύο τυχαίες μεταβλητές είναι ότι με αυτή τη προσέγγιση δίνονται περισσότερες διαφωτιστικές πληροφορίες για τα αίτια (ατυχήματα) και τα αποτελέσματα (νεκροί) της συνολικής κατάστασης ρίσκου.

8.5.1 Εκτίμηση των επιμέρους κατανομών πιθανότητας

Έχοντας ήδη ορίσει την τυχαία μεταβλητή a ως τον ετήσιο αριθμό θανατηφόρων ατυχημάτων ορίζουμε και την *σ.π.π.* για την τ.μ.⁸³ a με χρονικό ορίζοντα ένα χρόνο ως :

$$\text{σ.π.π. θανατηφόρων ατυχημάτων} = f(a) \text{ με } a \geq 0$$

Κατόπιν έχοντας ήδη ορίσει την τυχαία μεταβλητή x ως τον αναμενόμενο αριθμό των νεκρών όταν ήδη έχει πραγματοποιηθεί τουλάχιστον ένα θανατηφόρο ατύχημα ορίζουμε την *σ.π.π.* για την τ.μ. x ως:

$$\text{σ.π.π. ανθρώπινων απωλειών} = g(x | a = 1) \text{ με } x \geq 1$$

Αυτή όμως η κατανομή των ανθρώπινων ατυχημάτων είναι για ένα θανατηφόρο ατύχημα. Η ολική κατανομή δίνεται από την άθροιση των επιμέρους ανθρώπινων απωλειών x_i δεδομένου ότι πραγματοποιήθηκε θανατηφόρο ατύχημα. Πλέον αυτή την κατανομή την συμβολίζουμε :

$$\text{Συνολική σ.π.π. ανθρώπινων απωλειών} = g_{\text{sum}}(x_i | a) \text{ με } x_i \geq 1$$

⁸³ συντομογραφία του όρου 'τυχαία μεταβλητή'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Η συνολική κατάσταση ρίσκου δίδεται πλέον από την σ.π.π. $h(x)$ όπου υπολογίζεται από το ολοκλήρωμα ως προς την συνολική έκταση των θανατηφόρων ατυχημάτων:

$$\text{σ.π.π. συνολικού ρίσκου} = h(x) = \int g_{sum}(x|a) \cdot f(a) \cdot da$$

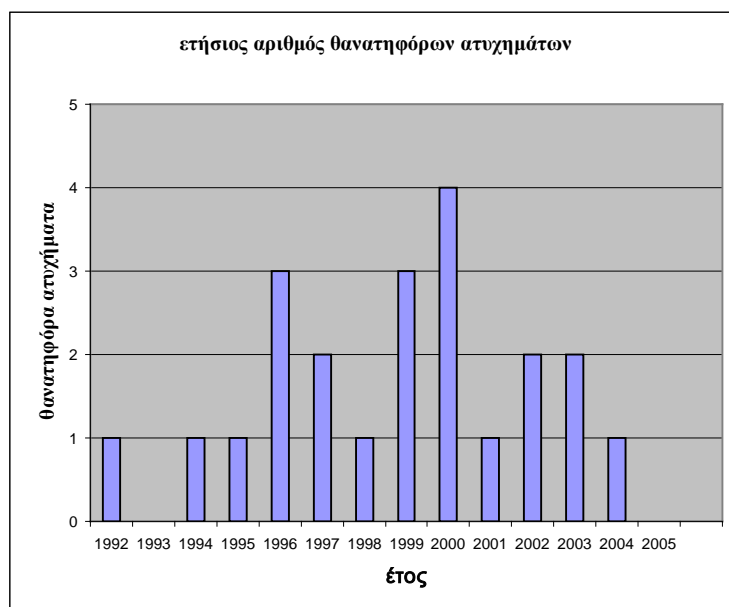
όπου η $h(x)$ εκφράζει την κατανομή ανθρώπινων απωλειών ανά έτος

Βέβαια ο υπολογισμός του ολοκληρώματος εξαρτάται από τον συνδυασμό των συναρτήσεων f και g και ενδεχομένως να μην υπάρχει πάντα αναλυτική λύση για την $h(x)$ και να απαιτούνται μοντέλα προσομοίωσης για τον υπολογισμό της $h(x)$.

Ο υπολογισμός των επιμέρους κατανομών θα στηριχθεί στην επεξεργασία των στατιστικών στοιχείων με την βοήθεια των λογισμικών **BESTFIT** και **CRYSTAL BALL** όπως και στην παράγραφο 8.4.5. Θα γίνει όμως διαφορετική επεξεργασία των στατιστικών στοιχείων σε σχέση με την παραδοσιακή χάραξη των καμπυλών $F-N$. Παράλληλα θα παραχθούν και οι αντίστοιχες στατιστικές καμπύλες.

8.5.2 σ.π.π θανατηφόρων ατυχημάτων $f(a)$ / Συχνότητα ετήσιων θανατηφόρων ατυχημάτων f_a

- Συχνότητα ετήσιων θανατηφόρων ατυχημάτων f_a



Σχήμα 52. Ετήσιος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται αριθμός των ετήσιων θανατηφόρων ατυχημάτων τα έτη 1992-2005.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Ο αντίστοιχος προσδιορισμός της συχνότητας των ετήσιων θανατηφόρων ατυχημάτων δίνεται από τους παρακάτω πίνακες :

ΠΙΝΑΚΑΣ 33. Θανατηφόρα ατυχήματα ανά έτος (1992- 2005)	
Έτος	Ατυχήματα
1992	1
1993	0
1994	1
1995	1
1996	3
1997	2
1998	1
1999	3
2000	4
2001	1
2002	2
2003	2
2004	1
2005	0
Σύνολο	Σύνολο
14 έτη	22 ατυχήματα

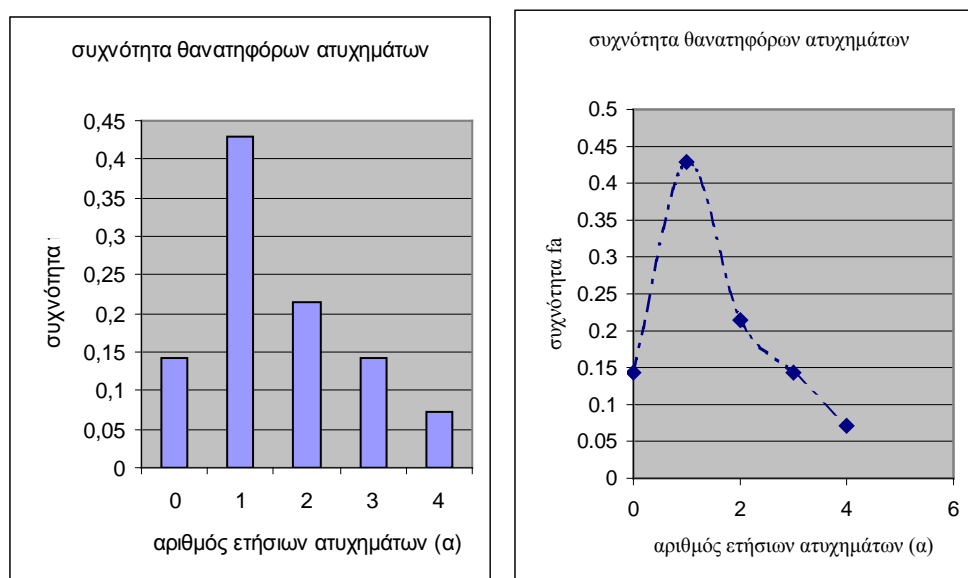
ΠΙΝΑΚΑΣ 34. Συχνότητα ετήσιων θανατηφόρων ατυχημάτων f_a	
Αριθμός ετήσιων ατυχημάτων a	Συχνότητα ετήσιων θανατηφόρων ατυχημάτων f_a
0	0.142857143
1	0.428571429
2	0.214285714
3	0.142857143
4	0.071428571
	$\sum_{a=0}^4 f_a = 1$

Ο μέσος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων το έτος ανέρχεται στα :

$$\bar{a} = 1.57 \text{ ατυχήματα/έτος}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

και η αντίστοιχη κατανομή των συχνοτήτων f_a δίνεται από το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 53. Ετήσια συχνότητα θανατηφόρων ατυχημάτων

➤ σ.π.π θανατηφόρων ατυχημάτων $f(a)$

Ο προσδιορισμός της σ.π.π θανατηφόρων ατυχημάτων $f(a)$ θα βασιστεί τόσο στα παραπάνω στατιστικά στοιχεία όσο και στα όσα αναφέρονται στη παράγραφο 8.4 για τα κριτήρια επιλογής κατάλληλης κατανομής.

Ο ετήσιος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων προσδιορίζεται από την κατανομή:

$$Gamma(a,b) = \frac{b^{-a} \cdot x^{a-1} \cdot \exp\left(\frac{-x}{b}\right)}{\Gamma(a)}$$

η οποία επιλέχθηκε με βάση τα στατιστικά tests Andersen-Darling και Chi-Square και τη χρήση του προγράμματος *BESTFIT*.

Αν και ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων πρόκειται για διακριτή μεταβλητή, ωστόσο κατά την πιθανοτική ανάλυση των ατυχημάτων στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο είναι δυνατόν να συμβαίνει. Αυτό γιατί ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων εκτιμάται από την παραπάνω στοχαστική διαδικασία, σύμφωνα με την οποία ο ετήσιος αριθμός των ατυχημάτων εξαρτάται από τις αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης.

Εξάλλου αυτό που επιχειρείται να μοντελοποιηθεί δεν είναι ο ετήσιος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων αλλά ο ετήσιος αριθμός των νεκρών. Αυτό που

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

ενδιαφέρει δηλαδή, δεν είναι η απόλυτη τιμή του ετήσιου αριθμού θανατηφόρων ατυχημάτων αλλά το 'βάρος' του κάθε πιθανού ενδεχομένου και η εκτίμηση μιας μέσης κατάστασης για τον μετέπειτα υπολογισμό του ετήσιου αριθμού νεκρών στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο.

Η εκτίμηση των παραμέτρων a, b θα γίνει βάσει των στατιστικών στοιχείων, όπου:

$$a = \frac{(\bar{x})^2}{s^2} \quad b = \frac{s^2}{\bar{x}}$$

και
$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{14} x_i \Rightarrow \bar{x} = \frac{22}{14} = 1.571429$$

όπου \bar{x} η μέση τιμή του δείγματος των ατυχημάτων και

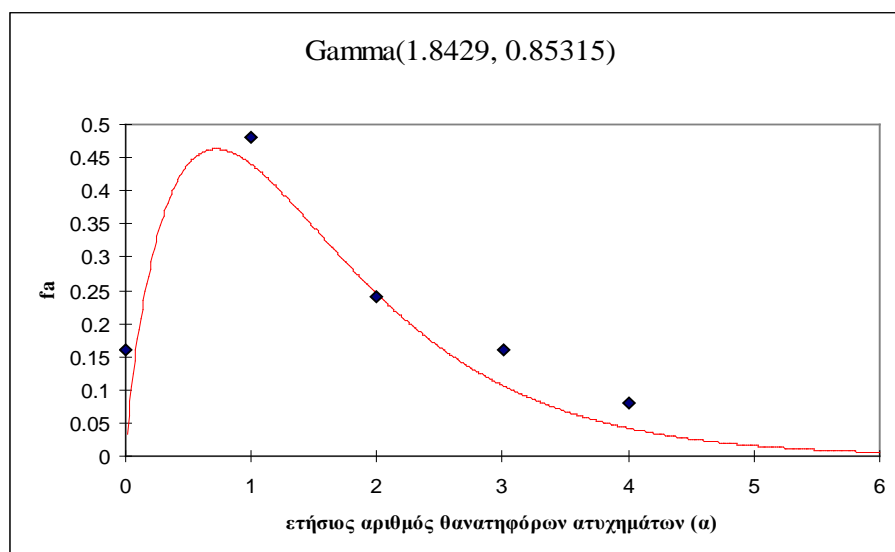
$$s^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^{14} (x_i - \bar{x})^2 \Rightarrow s^2 = 1.340659$$

όπου η σχέση υπολογίζει την διασπορά του δείγματος.

Οι παράμετροι της κατανομής Γάμα υπολογίζονται πλέον από τις σχέσεις:

$$a = \frac{(\bar{x})^2}{s^2} = \frac{1.571429^2}{1.340659^2} = 1.841921$$
$$b = \frac{s^2}{\bar{x}} = \frac{1.340659^2}{1.571429} = 0.853147$$

η ετήσια κατανομή των θανατηφόρων ατυχημάτων δίνεται από το σχήμα:



Σχήμα 54. σ.π.π θανατηφόρων ατυχημάτων $f(a)$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

8.5.3 Συνολική σ.π.π ανθρώπινων απωλειών $g_{sum}(x/a)$ / Συχνότητα ανθρώπινων απωλειών δεδομένου ατυχήματος g_x

- Συχνότητα ανθρώπινων απωλειών δεδομένου ατυχήματος g_x

ΠΙΝΑΚΑΣ 35. Αριθμός Ατυχημάτων – Αντίστοιχος αριθμός νεκρών	
Αριθμός νεκρών, N δεδομένου ότι πραγματοποιήθηκε ατύχημα	Αριθμός Ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς.
1	10
2	4
2.5	1
4	1
6	1
7	1
8.3	1
14	1
20	1
80	1
Σύνολο	22

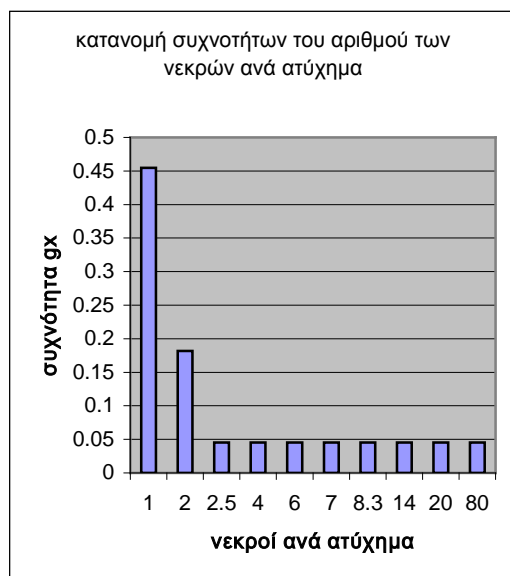
ΠΙΝΑΚΑΣ 36. Συχνότητα ατυχημάτων δεδομένου του μεγέθους N (αριθμός νεκρών)	
Αριθμός Νεκρών, N δεδομένου ότι πραγματοποιήθηκε ατύχημα	Συχνότητα ανθρώπινων απωλειών δεδομένου ατυχήματος g_x
1	0.454545455
2	0.181818182
2.5	0.045454545
4	0.045454545
6	0.045454545
7	0.045454545
8.3	0.045454545
14	0.045454545
20	0.045454545
80	0.045454545
	$\sum_{x=1}^{80} g_x = 1$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

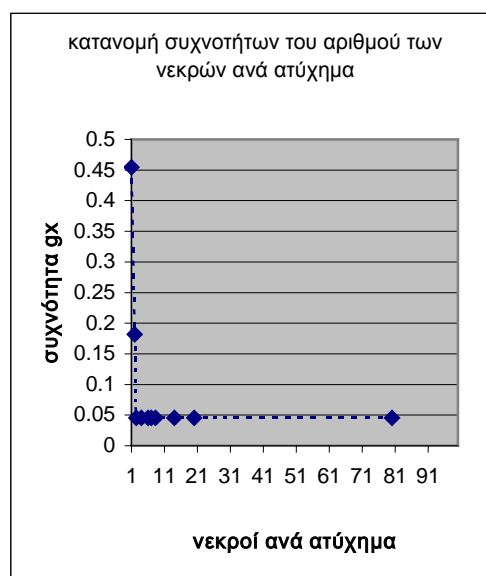
Ο μέσος αριθμός νεκρών δεδομένου του ατυχήματος είναι :

$$\bar{x} = 7.26 \text{ νεκροί/ατύχημα}$$

και η αντίστοιχη κατανομή των συχνοτήτων g_x δίνεται από το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 55. Κατανομή συχνοτήτων g_x



Σχήμα 56. Μορφή κατανομής αριθμού των νεκρών ανά ατύχημα

- Συνολική σ.π.π ανθρώπινων απωλειών $g_{sum}(x/a)$

Ο προσδιορισμός της σ.π.π ανθρώπινων απωλειών $g_{sum}(x/a)$ θα βασιστεί τόσο στα παραπάνω στατιστικά στοιχεία όσο και στα όσα αναφέρονται στη παράγραφο 8.4 για τα κριτήρια επιλογής κατάλληλης κατανομής.

Συνεπώς προτού την εκλογή της κατάλληλης κατανομής ο αριθμός των νεκρών ανά ατύχημα (x) θεωρείται ότι διέπεται από τις παρακάτω αρχές:

- Ο αριθμός των νεκρών ανά ατύχημα (x) θεωρείται ως τυχαία μεταβλητή.
- Ο αριθμός των νεκρών ανά ατύχημα (x) λαμβάνεται ως συνεχής μεταβλητή. Αυτό γιατί είναι αποτέλεσμα μιας πιθανοθεωρητικής ανάλυσης, που προέρχεται από την εκτίμηση των αντίστοιχων πιθανοτήτων που διέπουν την στοχαστική διαδικασία.
- Το πεδίο ορισμού της κατανομής είναι $x > 0 \quad \forall x_i$. Αυτό γιατί η κατανομή πρέπει να περιγράφει υπαρκτά σενάρια.
- Η μορφή της κατανομής πρέπει να είναι τέτοια ώστε να χαρακτηρίζεται από μακριά ουρά. Τα ναυτικά ατυχήματα ως επί το πλείστον οδηγούν σε μια ανθρώπινη απώλεια. Κατά συνέπεια αυτή είναι η ελάχιστη αλλά και

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

πιο πιθανή τιμή. Αυτή η απαίτηση υπαισέρχεται μέσω των στατιστικών στοιχείων.

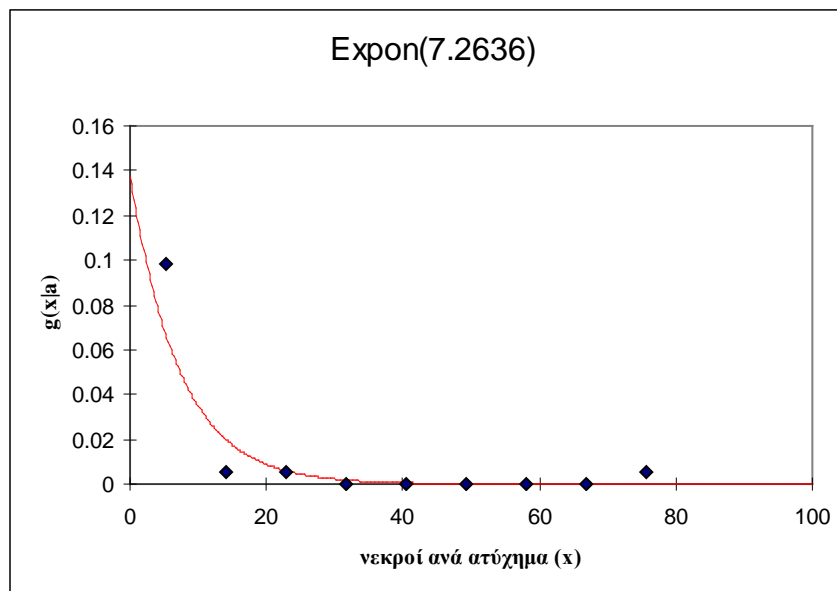
- Ο αριθμός των νεκρών ανά ατύχημα θεωρείται ανεξάρτητος από ατύχημα σε ατύχημα.

Ο αριθμός των νεκρών ανά ατύχημα (x) προσδιορίζεται από την κατανομή:

$$g_{sum}(x|a) = \text{exp on}(7.2636) = \frac{\exp(-\frac{x}{7.2636})}{7.2636}$$

η οποία επιλέχθηκε με βάση τις παραπάνω παραδοχές, τα στατιστικά tests Anderesen-Darling και Chi-Square και τη χρήση του προγράμματος *BESTFIT*.

Η γραφική παράσταση της $g_{sum}(x/a)$ δίνεται από το σχήμα:



Σχήμα 57. σ.π.π ανθρώπινων απωλειών $g_{sum}(x/a)$

Σύμφωνα με τον τρόπο ορισμού της τυχαίας μεταβλητής x , η παράμετρος β της εκθετικής κατανομής εκφράζει τον μέσο αριθμό νεκρών για το επόμενο ατύχημα. Κάτι απόλυτα εναρμονισμένο με τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία καθώς η παράμετρος β εκτιμήθηκε ίση με:

$$\beta = 7.2636$$

ενώ σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία ο μέσος αριθμός των νεκρών ανά ατύχημα υπολογίσθηκε ίσος με:

$$\bar{x} = 7.26 \text{ νεκροί/ατύχημα}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

8.5.4 σ.π.π συνολικού ρίσκου $h(x)$ / Συχνότητα ανθρώπινων απωλειών ανά έτος h_x

- Συχνότητα ανθρώπινων απωλειών ανά έτος h_x

Τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία μετατρέπονται στον αντίστοιχο ετήσιο συγκεντρωτικό πίνακα

ΠΙΝΑΚΑΣ 37.					
Συσχέτιση αριθμού ατυχημάτων με τον αριθμό των νεκρών ανά έτος					
Ετήσιος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων	1^ο ατύχημα	2^ο ατύχημα	3^ο ατύχημα	4^ο ατύχημα	Ετήσιος αριθμός νεκρών
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
1	2	0	0	0	2
1	6	0	0	0	6
1	1	0	0	0	1
1	4	0	0	0	4
1	1	0	0	0	1
1	1	0	0	0	1
2	2.5	1	0	0	3.5
2	2	1	0	0	3
2	2	2	0	0	4
3	1	8.3	<u>20</u>	0	29.3
3	1	7	<u>14</u>	0	22
4	<u>80</u>	1	1	1	83
Συνολικά 22 ατυχήματα					Συνολικά 159.8 νεκροί

Αξίζει εδώ να παρατηρηθεί ότι η χρονιά που παρατηρήθηκε το ατύχημα του *EXPRESS SAMINA* που οδήγησε στο μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπινων απωλειών ήταν και η χρονιά που παρατηρήθηκαν τα περισσότερα θανατηφόρα ατυχήματα (4 θανατηφόρα ατυχήματα). Παράλληλα τα επόμενα δύο μεγαλύτερα, σε μέγεθος ανθρώπινων απωλειών, ατυχήματα του Φ/Γ ΔΥΣΤΟΣ με 20 ανθρώπινες απώλειες και του Ε/Γ-Ο/Γ ΣΟΥΠΕΡ ΦΑΣΤ III με 14 ανθρώπινες απώλειες,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

πραγματοποιήθηκαν τις χρονιές εκείνες που είχαμε 3 θανατηφόρα ατυχήματα για εκείνα τα έτη.

Ο μέσος ετήσιος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων ανέρχεται στα **1.57 ατυχήματα / έτος**. Όπως φαίνεται από την επεξεργασία των στατιστικών στοιχείων τις χρονιές που παρατηρήθηκαν τα τρία μεγαλύτερα ναυτικά ατυχήματα, ο αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων για εκείνες τις χρονιές ήταν πολύ μεγαλύτερος από τον μέσο ετήσιο αριθμό.

Αν και η χρονική βάση και το αντίστοιχο στατιστικό δείγμα είναι μικρά για να αποφανθούμε με σιγουριά, φαίνεται να υπάρχει μια σχέση μεταξύ του ετήσιου αριθμού των θανατηφόρων ατυχημάτων και τις αντίστοιχης κατανομής του αριθμού των νεκρών.

Παρ' όλο που η συσχέτιση αυτή είναι προφανής, με την έννοια ότι όσο περισσότερα θανατηφόρα ατυχήματα τόσο περισσότεροι νεκροί αναμένονται ετησίως, αυτό που φαίνεται είναι ότι ο ετήσιος αριθμός των νεκρών αυξάνεται όχι γραμμικά σε σχέση με τα θανατηφόρα ατυχήματα, αλλά από την πραγματοποίηση ενός ναυτικού ατυχήματος με πολύ μεγαλύτερες συνέπειες σε μέγεθος από τις αναμενόμενες στην περίπτωση υψηλού αριθμού ετήσιων ατυχημάτων.

Δηλαδή αυτό που φαίνεται είναι ότι, είναι πιο πιθανό να πραγματοποιηθεί ατύχημα με μεγάλο αριθμό ανθρώπινων απωλειών την χρόνια εκείνη που θα πραγματοποιηθούν πολλαπλά θανατηφόρα ατυχήματα (πάνω από τον μέσο όρο) και όχι την χρονιά εκείνη που ένα μόνο θανατηφόρο ατύχημα θα οδηγήσει σε μεγάλο μέγεθος συνεπειών.

Για την κατασκευή της αντίστοιχης στατιστικής καμπύλης $H-X$ χρησιμοποιείται ο Πίνακας 36 για τον υπολογισμό των αντίστοιχων συχνοτήτων h_x .

ΠΙΝΑΚΑΣ 38.					
Κατασκευή της αντίστοιχης στατιστικής καμπύλης $H-X$					
Συχνότητα αριθμού θανατηφόρων ατυχημάτων	1 ^ο ατύχημα	2 ^ο ατύχημα	3 ^ο ατύχημα	4 ^ο ατύχημα	Συχνότητα ετήσιου αριθμού νεκρών
f_0	g_0	-	-	-	$f_0 * g_0$
f_0	g_0	-	-	-	$f_0 * g_0$
f_1	g_2	-	-	-	$f_1 * g_2$
f_1	g_6	-	-	-	$f_1 * g_6$
f_1	g_1	-	-	-	$f_1 * g_1$
f_1	g_4	-	-	-	$f_1 * g_4$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

f_1	g_1	-	-	-	$f_1 * g_1$
f_1	g_1	-	-	-	$f_1 * g_1$
f_2	$g_{2.5}$	g_1	-	-	$f_2 * g_{2.5} * g_1$
f_2	g_2	g_1	-	-	$f_2 * g_2 * g_1$
f_2	g_2	g_2	-	-	$f_2 * g_2 * g_2$
f_3	g_1	$g_{8.3}$	g_{20}	-	$f_3 * g_1 * g_{8.3} * g_{20}$
f_3	g_1	g_7	g_{14}	-	$f_3 * g_1 * g_7 * g_{14}$
f_4	g_{80}	g_1	g_1	g_1	$f_4 * g_{80} * g_1 * g_1 * g_1$

Η h_x εκφράζει την συχνότητα ατυχημάτων με x ακριβώς νεκρούς ετησίως. Η h_x δίνεται από τον παρακάτω πίνακα :

ΠΙΝΑΚΑΣ 39. Υπολογισμός συχνοτήτων h_x		
Ετήσιος αριθμός νεκρών (x)	Συχνότητα ετήσιου αριθμού νεκρών	Κανονικοποίηση συχνότητας ετήσιου αριθμού νεκρών h_x
0	0.285714	0.317487
1	0.467532	0.519524
2	0.077922	0.086587
3	0.01771	0.019679
3.5	0.004427	0.00492
4	0.026564	0.029518
6	0.019481	0.021647
22	0.000134	0.000149
29.3	0.000134	0.000149
83	0.000305	0.000339
	$\Sigma=0.899924$	$\sum_{x=1}^{84} h_{x_i} = 1$

Για τον υπολογισμό της αθροιστικής συχνότητας H_x , ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με την κατασκευή των καμπυλών $F-N$ δηλαδή :

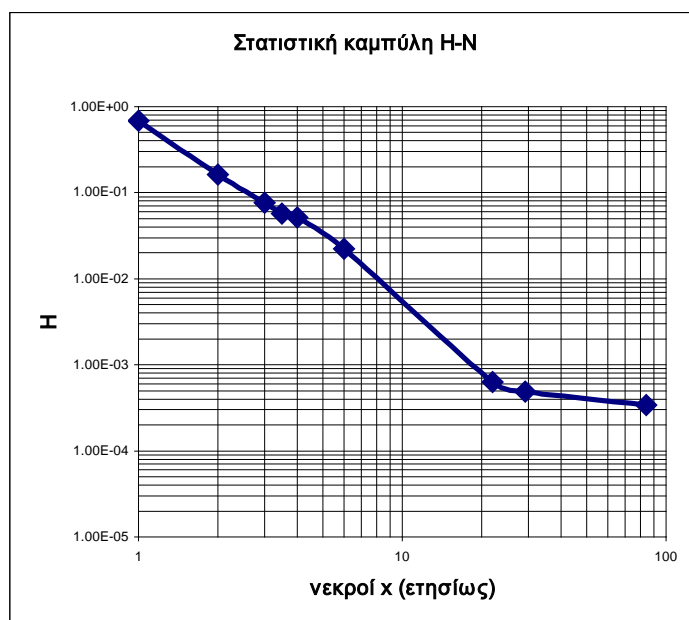
$$H_x = \sum_x^{x \max} h_x$$

καταστρώνεται ο παρακάτω πίνακας:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 40. Υπολογισμός συχνοτήτων H_x	
Ετήσιος αριθμός νεκρών (x)	Αθροιστική συχνότητα ατυχημάτων με x με ή παραπάνω νεκρούς ετησίως (H_x)
1	0.682512835
2	0.162988382
3	0.076400974
3.5	0.056722017
4	0.051802278
6	0.022283843
22	0.000636991
29.3	0.000487908
83	0.000338825

Όπου η H_x εκφράζει πλέον τη συχνότητα του αριθμού ατυχημάτων με x ή περισσότερους νεκρούς ετησίως. Η παραπάνω συχνότητες H_x σε λογαριθμική – λογαριθμική απεικόνιση δίνουν την αντίστοιχη καμπύλη $H-X$:



Σχήμα 58. Στατιστική καμπύλη $H-X$

Κατά αντιστοιχία με τις καμπύλες $F-N$, ενώ η συχνότητα F_N μας πληροφορεί για την συχνότητα ατυχημάτων με έναν ή παραπάνω νεκρούς η συχνότητα H_x μας πληροφορεί για την συχνότητα ατυχημάτων με έναν ή παραπάνω νεκρούς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

ετησίως. Έτσι το σημείο H_1 μας πληροφορεί ότι αναμένουμε 1 ή περισσότερους νεκρούς στο εύρος των ατυχημάτων σε ένα έτος με συχνότητα $H_1 = 0.682512835$.

Αξίζει εδώ να παρατηρηθεί η σχετική θέση των ακραίων σημείων F_1 και F_{80} με την αντίστοιχη σχετική θέση των σημείων ακραίων H_1 και H_{83} σύμφωνα με τα διαγράμματα $F-N$ και $H-N$ αντίστοιχα. Τα σημεία F_1 και F_{80} έχουν μιάμιση τάξη μεγέθους διαφορά καθώς $\frac{F_{80}}{F_1} = \frac{4.32 \cdot 10^{-5}}{0.00095} = 0.04547$. Είναι φανερό ότι μια

τέτοια διαφορά μεγέθους είναι πολύ μικρή. Απεικονίζει όμως αυτή η μικρή διαφορά την πραγματικότητα;

Αρχικά θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι η σχετικά μικρή διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων F_1 και F_{80} υπερεκτιμά την συχνότητα πολύνεκρου ατυχήματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συχνότητα ατυχήματος με ακριβώς 80 νεκρούς είναι ίδια για παράδειγμα, με την συχνότητα ατυχήματος με ακριβώς είτε 4 είτε 6 νεκρούς. Το γεγονός όμως ότι στα 14 χρόνια καταγραφών παρατηρήθηκε ένα θανατηφόρο ατύχημα με 4 νεκρούς και ένα θανατηφόρο ατύχημα με 80 νεκρούς αυτό δεν σημαίνει κατά ανάγκη ότι αυτά τα δυο ατυχήματα θα πρέπει να αξιολογούνται με την ίδια συχνότητα εμφάνισης.

Στην πραγματικότητα για να οδηγήσει ένα ναυτικό ατύχημα σε τόσες πολλές ανθρώπινες απώλειες δεν απαιτείται μόνο να πραγματοποιηθεί το ατύχημα (συχνότητα ατυχήματος) αλλά μια ακολουθία γεγονότων (ατύχημα λόγω ανθρώπινου λάθος-ανοιχτές οι στεγανές φραχτές-έλλειψη απαιτούμενων σωστικών λέμβων-κακοκαιρία κτλ.).

Κατά συνέπεια η πιθανότητα ατυχήματος τέτοιου μεγέθους οφείλεται σε μια σειρά ατυχηματικών γεγονότων που πρέπει να συμβούν παράλληλα, με αποτέλεσμα η αντίστοιχη πιθανότητα ενός τέτοιου ατυχήματος να είναι μικρότερη. Έτσι στην πραγματικότητα αυτή η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιου μεγέθους ατύχημα είναι μικρότερη από την πιθανότητα εμφάνισης ατυχήματος με 4 νεκρούς. Αυτό είναι ένα πρόβλημα της καμπύλης $F-N$ που ενδεχομένως οφείλεται στο μικρό στατιστικό δείγμα αλλά και την μικρή χρονική διάρκεια καταγραφών.

Αντίθετα τα ακραία σημεία H_1 και H_{83} έχουν τρεις μισι τάξεις διαφορά καθώς $\frac{H_{83}}{H_1} = \frac{0.000338825}{0.682512} = 0.000496$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η καμπύλη

$H-X$ αξιολογεί κατάλληλα των αριθμό ατυχημάτων με τις αντίστοιχες συνέπειες x_i .

Ενώ για παράδειγμα το ατύχημα με πιθανές συνέπειες $x_i=4$ νεκροί/ ατύχημα έχει την ίδια συχνότητα ατυχήματος με πιθανές συνέπειες $x_i=80$ νεκροί/ ατύχημα για να πραγματοποιηθεί ένα ατύχημα με τόσες πολλές ανθρώπινες απώλειες(ατύχημα με 80 ανθρώπινες απώλειες) είναι συνάρτηση του ετήσιου αριθμού θανατηφόρων ατυχημάτων, όπως ισχυριστήκαμε και παραπάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

➤ σ.π.π συνολικού ρίσκου $h(x)$

Για τον προσδιορισμό της σ.π.π ανθρώπινων απωλειών ανά έτος $h(x)$ έχουν ήδη προσδιοριστεί οι $f(a)$ ως :

$$Gamma(a,b) = \frac{b^{-a} \cdot x^{a-1} \cdot \exp\left(\frac{-x}{b}\right)}{\Gamma(a)}$$

με

$$\left(\begin{array}{l} a=1.841921 \\ b=0.853147 \end{array} \right)$$

και $g_{sum}(x/a)$ ως :

$$g_{sum}(x|a) = \exp on(7.2636) = \frac{\exp\left(-\frac{x}{7.2636}\right)}{7.2636}$$

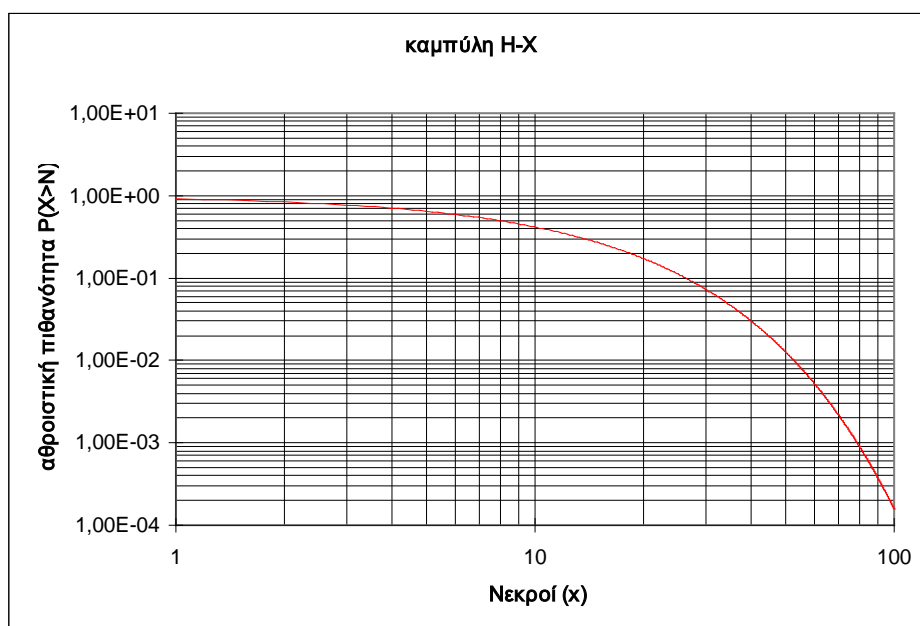
Η σ.π.π συνολικού ρίσκου $h(x)$ δίνεται από την σχέση:

$$h(x) = \int g_{sum}(x|a) \cdot f(a) \cdot da$$

και εκφράζει την κατανομή ανθρώπινων απωλειών ανά έτος για το μέγιστο αριθμό ετήσιων θανατηφόρων ατυχημάτων που έχουν έως τώρα παρατηρηθεί.

Η α.σ.κ. υπολογίζεται από την σχέση:

$$H_x = \int_x^{+\infty} h(N) \cdot dN$$



Σχήμα 58. Πιθανοθεωρητική καμπύλη $H-X$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση Ρίσκου με εφαρμογή στην ελληνική ναυτιλία.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ατύχημα με 1 ή περισσότερους νεκρούς στο σύνολο του ελληνικού εμπορικού στόλου ισούται με :

$$H_1 = P(X \geq 1) = 0.839$$

Γεγονός που αντικατοπτρίζει την ελληνική πραγματικότητα αφού σχεδόν κάθε χρόνο πραγματοποιείται τουλάχιστον ένα θανατηφόρο ατύχημα.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί μια τέτοια απεικόνιση δείχνει τη συνολική κατάσταση ρίσκου στην Ελλάδα. Δεν δίνει όμως την δυνατότητα σύγκρισης της ετήσιας κατάστασης ρίσκου σε σχέση με άλλες χώρες καθώς η ετήσια κατάσταση ρίσκου στην Ελλάδα είναι συνάρτηση του ετήσιου ελληνικού εμπορικού στόλου.

Σε αυτό το σημείο όμως πρέπει να τονιστεί ότι, η σύγκριση της ετήσιας κατάστασης του ρίσκου μεταξύ ενός ελληνικού και ενός πλοίου άλλης εθνικότητας, δίνει μεν πληροφορίες για το που κυμαίνονται τα επίπεδα ρίσκου, δεν απαντάει όμως στην ερώτηση για το ποιά είναι τα αποδεκτά επίπεδα ρίσκου.

Για παράδειγμα ακόμη και αν τα επίπεδα ρίσκου ανά πλοίο στην Ελλάδα είναι χαμηλότερα σε σχέση με άλλες ανεπτυγμένες χώρες δεν σημαίνει κατά ανάγκη ότι η ελληνική κοινωνία αποδέχεται αυτή την κατάσταση. Αυτό γιατί η ναυτιλία αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό οικονομικό παράγοντα, σε μια τουριστική χώρα όπως η Ελλάδα.

Το κυριότερο όμως πλεονέκτημα της εκτίμησης της $h(x,a)$, είναι η δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης της συνολικής κατάστασης ρίσκου, δηλαδή μια τρισδιάστατη απεικόνιση της καμπύλης $F-N$, με τον τρίτο άξονα να εκφράζει την μεταβολή της καμπύλης αυτής συναρτήσει του ετήσιου αριθμού θανατηφόρων ατυχημάτων.

Αναλυτικότερα ο άξονας X εκφράζει τον αναμενόμενο αριθμό των νεκρών ανά ατύχημα, ο άξονας Z εκφράζει τον ετήσιο αριθμό θανατηφόρων ατυχημάτων ενώ ο άξονας Y αντιστοιχεί στην πιθανότητα α αριθμού θανατηφόρων ατυχημάτων με x ή παραπάνω νεκρούς όπου το a παίρνει τιμές $\alpha = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$. Με άλλα λόγια δείχνει πως μεταβάλλεται η καμπύλη, συναρτήσει του συνολικού αριθμού ετήσιων ατυχημάτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Οι πίνακες που ακολουθούν αναφέρονται συνοπτικά στα μέτρα αποτίμησης του ατομικού και κοινωνικού ρίσκου όπως αυτά περιγράφονται στα κεφάλαια 3 και 4 αντίστοιχα.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΑΤΟΜΙΚΟΥ ΡΙΣΚΟΥ			
Μέτρο αποτίμησης	Μαθηματική έκφραση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<p><i>IR</i> (Individual Risk) 1^η μορφή: Το ατομικό ρίσκο ως ιδιότητα του επιπέδου</p>	$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n IR_{x,y,i}$ <p>όπου</p> $IR_{x,y,i} = P_f \cdot P_{d f}$	<p>Είναι άμεσα αντιληπτό στο ευρύ κοινό. Αποδίδει το ατομικό ρίσκο σε ένα γεωγραφικό σημείο (x,y). Έτσι καθιστά δυνατή την σχηματική απόδοση των διαφορετικών επιπέδων του ατομικού ρίσκου. Κάθε ατύχημα προσδιορίζει την δική του ζώνη επίδρασης.</p>	<p>Ως μέγεθος έχει μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας καθώς για τον υπολογισμό της πιθανότητας απαιτείται η αναγνώριση της ατυχηματικής σειράς καθώς και η ποσοτικοποίηση των επιμέρους ατυχηματικών γεγονότων. Δεν λαμβάνει υπ' όψιν του τον βαθμό εθελοντισμού.</p>
<p><i>IR</i> (Individual Risk) 2^η μορφή: Το ατομικό ρίσκο ως συνάρτηση του τρόπου εμπλοκής του ατόμου με τη δραστηριότητα</p>	$IR_i = \beta_j \cdot P_f \cdot P_{d f}$	<p>Είναι άμεσα αντιληπτό στο ευρύ κοινό. Συνυπολογίζει τον βαθμό εθελοντισμού του ατόμου σε κάθε δραστηριότητα. Το ρίσκο αξιολογείται από την ίδια την κοινωνία ως προς το ποιος είναι ο αποδεκτός δείκτης εθελοντισμού.</p>	<p>Ως μέγεθος έχει μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας. Υποκειμενικό ως μέγεθος, λόγω του δείκτη β_i. Δεν είναι δυνατό να αποδοθούν τα διαφορετικά επίπεδα ατομικού ρίσκου σχηματικά.</p>
<p><i>S</i> Δείκτης ασφάλειας (safety index)</p>	$S = \log\left(\frac{\beta_i \cdot 10^{-4}}{P_f \cdot P_{d f}}\right)$	<p>Είναι αδιάστατος. Η αριθμητική τιμή με την οποία εκφράζεται εμπεριέχει κριτήρια αποδοχής ρίσκου. Συνυπολογίζει τον βαθμό εθελοντισμού του ατόμου σε κάθε δραστηριότητα.</p>	<p>Υποκειμενικό ως μέγεθος, λόγω του δείκτη β_i. Δεν είναι άμεσα αντιληπτό στο ευρύ κοινό.</p>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

<p>$Max\{IR_{x,y,i}\}$ Μέγιστο ατομικό ρίσκο (maximum individual risk)</p>	$\max \{IR_{x,y,i}\} = \max \{f_i \cdot P_{f,i}\}$	<p>Η τιμή $Max\{IR_{x,y,i}\}$ είναι άμεσα αντιληπτή στο ευρύ κοινό. Προσδιορίζει το μέγιστο επίπεδο ρίσκου των ατόμων που εκτίθενται σε κίνδυνο, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον έλεγχο αποδοχής του ρίσκου</p>	<p>Η τιμή $Max\{IR_{x,y,i}\}$ δεν αντανακλά επαρκώς την συνολική εικόνα του ρίσκου.</p>
<p>AIR Μέσο ατομικό ρίσκο (Average Individual Risk)</p>	$AIR = IR_{AV} = \frac{\sum_{x,y} IR_{x,y} \cdot P_{x,y}}{\sum_{x,y} P_{x,y}}$	<p>Είναι άμεσα αντιληπτό στο ευρύ κοινό. Χρήσιμη παράμετρος για την σύγκριση ρίσκου διαφορετικών δραστηριοτήτων.</p>	<p>Το μέσο ατομικό ρίσκο ενδεχομένως να μην αντανακλά επαρκώς την συνολική εικόνα του ρίσκου. Ο υπολογισμός του AIR απαιτεί τον υπολογισμό του ρίσκου κάθε εμπλεκόμενου ατόμου στην δραστηριότητα. Με αυτήν την έννοια έχει υψηλό βαθμό αβεβαιότητας.</p>
<p>FAR (Fatal Accident Rate)</p>	$FAR = k \cdot IR_{AV}$	<p>Η τιμή FAR είναι σχετικά εύκολα αντιληπτή στο ευρύ κοινό. Είναι η πιο εύκολη παράμετρος για τη σύγκριση ρίσκου διαφορετικών δραστηριοτήτων. Ο υπολογισμός εμπεριέχει τον δείκτη AIR. Χρήσιμο για τον διαχωρισμό του ρίσκου σε ομάδες, ανάλογα με την ιδιότητα των εμπλεκόμενων.</p>	<p>Εκφράζει το μέσο ατομικό ρίσκο και ενδεχομένως να μην αντανακλά επαρκώς την συνολική εικόνα του ρίσκου. Έχει εφαρμογή κυρίως μόνο σε εργαζομένους που εκτίθενται σε κίνδυνο ή συγκεκριμένες εγκαταστάσεις. Υψηλό βαθμό αβεβαιότητας.</p>

**ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ
ΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΥ ΡΙΣΚΟΥ**

Μέτρο αποτίμησης	Μαθηματική έκφραση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<i>PLL</i> (Potential Loss of Life)	<p>Για N συνεχής μεταβλητή:</p> $PLL = \int_x^{N_u} f_N \cdot N \cdot dN$ <p>Για N διακριτή μεταβλητή:</p> $PLL = \sum_N f_N \times N$ <p>Εναλλακτικές μορφές:</p> $PLL = \int_x^{N_u} F_N \cdot dN$ $PLL = IR \cdot \Pi$	<p>Είναι το πιο απλό μέτρο αποτίμησης του κοινωνικού ρίσκου. Είναι εύκολα κατανοητό ως μέγεθος και από μη ειδικούς. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σύγκριση του ρίσκου διαφορετικών δραστηριοτήτων. Είναι καθόλα σαφές ως μέγεθος και ως προς το τι εκφράζει. Εμπεριέχει την μικρότερη αβεβαιότητα ως μέγεθος καθώς εκφράζει έναν μέσο όρο. Σχετίζεται με τις καμπύλες F-N, το RI και κυρίως με το IR.</p>	<p>Έχει ουδέτερη αντιμετώπιση του ρίσκου καθώς δεν διαχωρίζει υψηλόσυχνα ατυχήματα με μικρές συνέπειες και χαμηλόσυχνα πολύνεκρα ατυχήματα. Αν και είναι το πιο απλό μέτρο αποτίμησης του κοινωνικού ρίσκου δεν έχουν προταθεί ανώτατα όρια. Υπολογίζει τον συνολικό πληθυσμό που βρίσκεται αντιμέτωπος με τον κίνδυνο χωρίς να διαχωρίζει ομάδες.</p>
<i>RI</i> (Risk Integral)	$RI = \int F_N \cdot N \cdot dN$ $RI = \frac{1}{2} \cdot (Var(N) + E^2(N))$	<p>Εμπεριέχει τον δείκτη PLL καθώς $PLL = E(N)$ και κατά συνέπεια ισχύει ότι και για το PLL. Επιπλέον συνυπολογίζει το μέγεθος της διασποράς.</p>	<p>Έχει μονάδες {(νεκρούς)² / έτος}. Συνεπώς δύσχρηστο σαν μέγεθος, αφού δεν είναι φανερό το τι εκφράζει η παραπάνω μονάδα μέτρησης.</p>
<i>SRI</i> (Scaled Risk Integral)	$SRI = IR \cdot n \cdot \frac{(n+1)}{2} \cdot \frac{P_{occ}}{A}$	<p>Για τον υπολογισμό του κοινωνικού ρίσκου συνυπολογίζει τα διαφορετικά επίπεδα ατομικού ρίσκου καθώς και τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Μέγεθος που χρησιμοποιείται ως μέτρο σύγκρισης για να κριθεί η αποδοχή του ρίσκου.</p>	<p>Δύσχρηστο σαν μέγεθος, καθώς δεν είναι φανερό το τι εκφράζει η μονάδα μέτρησης του. Δυσκολία στην επικοινωνία με τη κοινή γνώμη.</p>
<i>ROD</i> (Rate Of Death)	$ROD = \sum_1^n f_i \cdot N_i = \sum_1^n f_i \cdot P_{fi} \cdot \Pi$	<p>Έχει τις ίδιες μονάδες με το PLL (δεν ταυτίζεται όμως με αυτό). Είναι εύκολα κατανοητό ως μέγεθος και από μη ειδικούς. Συνδέει το μέγεθος του πληθυσμού σε κίνδυνο με την συχνότητα ατυχήματος με 1 ή περισσότερους νεκρούς. Πολλές φορές η εκτίμηση της πιθανότητας ατυχήματος είναι πιο αξιόπιστη από την εκτίμηση της πιθανότητας ατυχήματος με N ακριβώς νεκρούς.</p>	<p>Έχει ουδέτερη αντιμετώπιση του ρίσκου καθώς δεν διαχωρίζει υψηλόσυχνα ατυχήματα με μικρές συνέπειες και χαμηλόσυχνα πολύνεκρα ατυχήματα. Υπολογίζει τον συνολικό πληθυσμό που βρίσκεται αντιμέτωπος με τον κίνδυνο χωρίς να διαχωρίζει ομάδες.</p>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

<p><i>ARI</i> (Aggregate Risk Index)</p>	$ARI = \sum_1^n f_i \cdot P_{fi} \cdot \Pi$	<p>Ουσιαστικά ταυτίζεται με το <i>ROD</i>. Η διαφορά του, συνίσταται στο ότι επικεντρώνεται σε μια συγκεκριμένη μονάδα του πληθυσμού (κυρίως σε εργαζόμενους οι οποίοι βρίσκονται συνεχώς εκτεθειμένοι σε κίνδυνο).</p>	<p>Έχει ουδέτερη αντιμετώπιση του ρίσκου. Επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες ομάδες (εργαζόμενοι) και όχι σε μια συλλογική κατάσταση.</p>
<p><i>ESC</i> (Equivalent Social Cost Index)</p>	$ESC = \sum_1^n f_i \cdot N_i^k$	<p>Έχει σαφή μαθηματική ομοιότητα με τους δείκτες <i>PLL</i> και <i>ROD</i>. Επιπλέον συνυπολογίζει, μέσω του δείκτη <i>k</i>, την αποστροφή της κοινωνίας προς ατυχήματα με μεγάλους αριθμούς νεκρών.</p>	<p>Οι μονάδες εξαρτώνται από τον δείκτη αποστροφής του ρίσκου και με αυτή τη λογική δεν πρέπει να λαμβάνεται ως μέγεθος αλλά ως απόλυτος αριθμός.</p>
<p><i>Καμπύλη F-N</i></p>	<p>Για <i>N</i> συνεχή μεταβλητή:</p> $F_N = \int_N^{\infty} f(x) \cdot dx$ <p>Για <i>N</i> διακριτή μεταβλητή:</p> $F_N = \sum_N f_N$	<p>Είναι το κύριο εργαλείο αποτίμησης του κοινωνικού ρίσκου, καθώς αποτυπώνει το κοινωνικό ρίσκο με μια καμπύλη και όχι με έναν αριθμό όπως όλα τα παραπάνω μεγέθη. Εκφράζει τα διάφορα επίπεδα κοινωνικού ρίσκου. Είναι κατάλληλη για την παραγωγή κριτηρίων αποδοχής του ρίσκου. Άμεση εποπτεία των στατιστικών στοιχείων ή των επιμέρους πιθανοτήτων που χαρακτηρίζουν την ατυχηματική συμπεριφορά της δραστηριότητας.</p>	<p>Μεγάλη σύγχυση ως προς το πώς κατασκευάζονται, καθώς και ως προς τον τρόπο υπολογισμού των αντίστοιχων μεγεθών και των μονάδων τους. Η οπτική απεικόνιση της κατάστασης της δραστηριότητας μπορεί να θεωρηθεί και ως μειονέκτημα από την άποψη ότι δεν είναι ξεκάθαρο στο ευρύ κοινό το τι ακριβώς εκφράζει.</p>

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ❖ 16th International Ship And Offshore Structures Congress, 2006
- ❖ ABS Consulting, *MARITIME SAFETY, Tools for Risk- Based Decision Making*
- ❖ Albrecht Lentz and Rüdiger Rackwitz, '*Loss-of-Life Modelling in Risk Acceptance Criteria*'
- ❖ American Bureau of Shipping, *Guidance notes on Risk Assessment Applications for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries*
- ❖ Andrew S. Brierley, Stephen F. Gull, and Maged H. Wafy, '*A Bayesian maximum entropy reconstruction of stock distribution and inference of stock density from line-transect acoustic-survey data*', ICES Journal of Marine Science
- ❖ Andrew W. Evans, *Transport fatal accidents and F-N curves: 1967-2001, Research Report 073*, HSE BOOKS 2003
- ❖ B. Jonkman, P. Van Gelder, H. Vrijling, '*An overview of quantitative risk measures and their application for calculation of flood risk*', ESREL 2002 European Conference
- ❖ Bilal M Ayyub, '*Methodology for Developing Reliability- Based Load and Resistance Factor Design (LRFD) Guidelines for Hull Girder Bending*', Naval Engineers Journal, Spring 2002
- ❖ Christos A. Kontovas, Harilaos N. Psaraftis, '*Assessing Environmental Risk: Is a single figure realistic as an estimate for the cost of averting one tonne of spilled oil?*', February 2006, Working Paper NTUA-MT-06-101
- ❖ Christos A. Kontovas, Harilaos N. Psaraftis, '*Formal Safety Assessment: a critical review and ways to strengthen it and make it more transparent*' School of Naval Architecture and Marine Engineering (NTUA)
- ❖ D. Vassalos, '*Risk Based Design Concept, Methodology and Framework*', Training Course on Risk Based Ship Design', June 2005
- ❖ David J Ball, Peter J Floyd, '*Societal Risks, Final Report*', HSE
- ❖ David Vose, '*Risk Analysis. A quantitative guide- second edition*' John Wiley & Sons, LTD
- ❖ Defra / Environment Agency-Flood and Coastal Defence R&D Programme, '*Risk, Performance and Uncertainty in Flood and Coastal Defence – A Review*', R&D Technical Report FD2302/TR1
- ❖ Dennis C. Hendershot, '*A Simple Problem to Explain and Clarify the Principles of Risk Calculation*'
- ❖ Dennis C. Hendershot, '*Risk Analysis of a Chlorine Handling Facility*', Presentation to the Technical Seminar on Safety and Health in the Petrochemical Industry
- ❖ European Commission, Health and Consumer Protection Directorate General, '*Preliminary Report on Scientific Quality of Life Criteria in Risk Benefit*'
- ❖ Fischhof B., '*Acceptable Risk: A conceptual Proposal*'
- ❖ Fujio Kaneko et al., '*Safety levels of Japan flagged ships evaluated by Risk Assessment*'

- ❖ Gerald J.S. Wilde, *'Target Risk 2, A new psychology of safety and health'*
- ❖ Gerald J.S. Wilde, *'Target Risk dealing with the danger of death, disease and damage in every day decisions'*, <http://psyc.queensu.ca/target/>
- ❖ H. Soma, S. Haugen, B. Oygarden, *'Risk Assessment of Passenger Vessels'*, June 2003
- ❖ Harilaos N. Psaraftis, *'Maritime Safety: To Be or Not to Be Proactive'*, National Technical University of Athens (NTUA)
- ❖ Harilaos N. Psaraftis, *'Safety, risk, probability: or playing with lives?'*, Lloyd's List 25 January 2006
- ❖ Health and Safety Executive, *'Marine risk assessment, OFFSHORE TECHNOLOGY REPORT'*, 2001/063
- ❖ Health and Safety Executive, *'Transport fatal accidents and F-N curves 1967-2001'*
- ❖ Health and Safety Executive, *'Marine risk assessment'*, Offshore Technology Report 2001/063
- ❖ Health and Safety Statistics (1996-2001) HSE Books
- ❖ Hiroyuki Tamura, *'Modelling Ethical Conflict Resolution for Planning a Safe, Secure and Reliable (SSR) Megacity'*, School of Engineering Science, Osaka University
- ❖ HSE, *'Reducing risks, protecting people'*
- ❖ IMO, *'Sub Committee on Safety of Navigation, 51st Session, Passenger Ship Safety: Effective Voyage Planning for Passenger Ships'*, 4th March 2005
- ❖ IMO, *'Guidelines for Formal Safety Assessment for use in the IMO rule making process'*, April 2002
- ❖ INSAG, *'Potential Exposure in Nuclear Safety'*, A report by the International Nuclear Safety Advisory Group
- ❖ J.K. Vrijling et al, *'Criteria for acceptable risk in the Netherlands'*
- ❖ J.K. Vrijling et al. *'A Framework for Risk Criteria for Critical Infrastructures, Fundamentals and Case Studies in the Netherlands'*
- ❖ J.K. Vrijling, *'Societal risk and the concept of risk aversion'*
- ❖ Kontovas Christos, *'Formal Safety Assessment, Critical Review and Future Role'*, Diploma Thesis, National Technical University of Athens (NTUA)

- ❖ National Bioethics Advisory Commission, *'Research involving persons with Mental Disorders that may affect decision-making capacity'*
- ❖ Neale Leslie Fulton, B. E., *'Regional Airspace Design: A structured Systems Engineering Approach'*, PhD thesis, University of New South Wales (UNSW)
- ❖ Nuclear News Magazine, *'Apostolakis: On PRA'*, March 2000
- ❖ O' Neil and Allan Williams, *'Risk Homeostasis, a Rebuttal'* και Evans L. *'Risk homeostasis theory and traffic accident data'*.
- ❖ Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters, *'Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners'*, August, 2002
- ❖ Ove Dittlevsen, *'Risk Acceptance Criteria and/or Decision Optimization'*, 1996
- ❖ P. F. Hansen, *'Collision and Grounding'*, Training Course on Risk Based Ship Design', June 2005

- ❖ P. B. Sayers, BP Gouldby, JD Simm, I Meadowcroft, J Hall Risk, 'Performance and Uncertainty in Flood and Coastal Defence – A Review', 2003
- ❖ Þorsteinn Arnalds, Kristján Jonasson, Sven Siggurdsson 'Avalanche hazard zoning in Iceland based on Individual Risk'
- ❖ R. Cooke, T. Bedford, 'Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods', Cambridge University Press
- ❖ Robert Kauer et al 'Risk Acceptance Criteria and Regulatory Aspects', OMMI (Vol. 1, Issue 2), Dec. 2002
- ❖ Rolf Skjong, Erik Vanem, Oyvind Endresen, SAFEDOR, Risk Evaluation Criteria, DNV 2005, page 93
- ❖ Rolf Skjong, 'Safety Assessment and Risk Acceptance Criteria, Training Course on Risk Based Ship Design', June 2005
- ❖ Rolf Skjong, 'Criteria for Establishing Risk Acceptance', June 2003
- ❖ S.I. Suddle, 'A logarithmic approach for Individual Risk: the Safety Index', 2003
- ❖ S.I. Suddle, P.H. Waarts, 'The Safety of Risk or the Risk of Safety', 2003
- ❖ S. Kristiansen, 'Maritime Transportation – Safety Management and Risk Analysis', Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005
- ❖ Slovic P. et al, 'Facts and Fears: Understanding Perceived Risk in Societal Risk Assessment, How safe is safe enough?', 1980
- ❖ Th. Plattner et al, 'Integrating Risk Perception Into Risk Assessment'
- ❖ The World Medical Association, 'World Medical Association Declaration of Helsinki, Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects'
- ❖ Tim Bedford, 'Decision making for risk reduction using multicriteria analysis'
- ❖ V.M. Trbojevic, 'Risk Criteria in EU', Risk Support Limited, London
- ❖ Vicki M. Bier, Louis Anthony Cox, Jr. 'Probabilistic Risk Analysis for Engineered Systems'
- ❖ Vijay P Singh, 'The entropy theory as a tool for modelling and decision-making in environmental and water resources', Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University
- ❖ Yung-wen Liu, 'New decision models of quality of life measures for interventions evaluation for prostate cancer patients', Industrial Engineering, University of Washington
- ❖ B. Render, R.M. Stair, 'Quantitative Analysis For Management'
- ❖ Γ.Α. Αθανασούλης, 'Πράξεις και μετασχηματισμοί τυχαίων μεταβλητών – Ανεμογενείς θαλάσσιοι κυματισμοί', Ε.Μ.Π. Αθήνα 2003
- ❖ Γ.Ν. Παντελίδης, ΑΝΑΛΥΣΗ, Τόμος Ι
- ❖ Γιάννης Γκαρούτσος, 'Μαθήματα Θεωρίας Πιθανοτήτων
- ❖ Γιάννης Γκαρούτσος, Μαθηματική Ανάλυση, Τεύχος ΙΙ
- ❖ Κοκολάκης Γ. Σπηλιώτης Ι, 'Εισαγωγή στη Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική', Ε.Μ.Π
- ❖ Νικόλαος Π. Βεντικός, 'Οικονομική Θαλασσίων Μεταφορών ΙΙΙ'