ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Διαχείριση και Τεχνολογία Ποιότητας

Διπλωματική Εργασία

«Μελέτη Αξιοπιστίας Γραμμής Παραγωγής Σχοινιών Πρόσδεσης Στη Ναυτιλία»

Νεκτάριος Ρουσιάνος

Επιβλέπων καθηγητή: Αγάπιο Πλατή

Πάτρα, Ιούνιος 2023

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

«Μελέτη Αξιοπιστίας Γραμμής Παραγωγής Σχοινιών Πρόσδεσης Στη Ναυτιλία»

Νεκτάριος Ρουσιάνος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:	Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:
Καθ. Αγάπιος Πλατής	Δρ. Χατζηστέλιος Γεώργιος
Πανεπιστήμιο Αιγαίου	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Πάτρα, Ιούνιος 2023

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά των επιβλέποντα καθηγητή κ. Αγάπιο Πλατή, για την άψογη συνεργασία μας, την καθοδήγησή του, τις συμβουλές του και τις επισημάνσεις του, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Καθώς και ένα μεγάλο ευχαριστώ στην σύζυγό μου Βασιλική, για την συνεχή στήριξη και ενθάρρυνσή που μου έδωσε προκειμένου να ολοκληρωθεί αυτός ο κύκλος σπουδών.

Περίληψη

Η συνεχείς και χωρίς βλάβες λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού οποιασδήποτε γραμμής παραγωγής, αποτελεί προτεραιότητα για κάθε βιομηχανία σήμερα καθώς έτσι μειώνονται οι νεκρή χρόνοι λειτουργίας, οι οποίοι συνεπάγονται καθυστερήσεις στην παραγωγή, αλλά και επειδή με αυτό τον τρόπο παράγονται προϊόντα που πληρούν της απαιτήσεις του αρχικού σχεδιασμού, δηλαδή είναι λειτουργικά και ασφαλή. Έτσι, αποφεύγονται ή μειώνονται περιστατικά δυσαρέσκειας του πελάτη και απαλείφεται ή περιορίζεται η απώλεια χρήματος.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθεί η αξιοπιστία της γραμμής παραγωγής σχοινιών πρόσδεσης ναυτιλίας, με σκοπό την εκτίμηση της πιθανότητας βλάβης (αστοχίας) για κάθε υπό-σύστημα ξεχωριστά στο πρώτο στάδιο, και για το σύνολο της γραμμής παραγωγής στο δεύτερο στάδιο, καθώς επίσης και η περαιτέρω ανάλυση αυτών των πιθανοτήτων με την χρήση στατιστικών ποσοτικών μοντέλων όπως διαγράμματα παραγωγικής ροής, μελέτη αστοχίας (FMEA), διαγράμματα αξιοπιστίας και δέντρα βλαβών, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα αναφορικά με την εμφάνιση βλαβών, ελαττωμάτων και την διαθεσιμότητα του συστήματος και των υπο-συστημάτων του.

Η έρευνά μας βασίζεται σε μία γραμμή παραγωγής 66 μηχανών συνολικά, διαφόρων τύπων, όπως μηχανές παραγωγής νημάτων (Extruder), μηχανές σύνθεσης νημάτων σε κλώσματα (Μόνο – Τρίκλωνες), μηχανές παραγωγής εμβόλων (Εμβολομηχανές), πλεκτικές μηχανές, μηχανές θερμικής επεξεργασίας και επικάλυψης (Coating – Heat Setting).

Για την έρευνά μας θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα από τον χώρο της παραγωγής τα οποία κατεγράφησαν για χρονική περίοδο 11 ετών, ήτοι από το έτος 2012 έως και το έτος 2022. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης υποδεικνύουν υψηλά ποσοστά διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας του συστήματος και των υπο-συστημάτων του, με εμφανή όμως περιθώρια για περαιτέρω βελτίωση και εξέλιξη.

Λέξεις – Κλειδιά

Σχοινιά πρόσδεσης ναυτιλίας, Αξιοπιστία, Μελέτη Αστοχίας, Δέντρα βλαβών, Διάγραμμα παραγωγικής ροής

Reliability Analysis of Mooring Ropes Production Line

Nektarios Rousianos

Abstract

The continuous and fault-free operation of the mechanical equipment of any production line is a priority for every industry nowadays, as it reduces downtime, which entails delays in production, but also because in this way products are produced that meet the requirements of the original design, i.e. are functional and safe. Thus, incidents of customer dissatisfaction are avoided or reduced and the loss of money is eliminated or limited.

The scope of this thesis is to study the reliability of the production line of shipping mooring ropes, in order to estimate the probability of failure for each sub-system separately in the first stage, and for the entire production line in the second stage, but also to further analyze these probabilities using statistical quantitative models such as production flow charts, failure mode and effect analysis (FMEA), reliability charts and fault trees, in order to draw conclusions regarding the occurrence of faults, defects and the availability of the system and its sub-systems.

Our research is based on a production line of 66 machines in total, of various types, such as yarn machines (Extruders), yarn twisting machines (Single - Triple strands), strands production machines (Stands machines), weaving machines, heat treatment and coating machines (Coating – Heat Setting).

For our research purpose, data from the production line will be used which were recorded for a period of 11 years, i.e. from the year 2012 up to the year 2022.

The results of the analysis indicates high rates of availability and reliability of the system and its sub-systems, and points out the possibility for further improvement and development.

Keywords

Marine mooring ropes, Reliability, Failure Mode & Effect Analysis, Fault trees, Production Flow chart

Περιεχόμενα

Περίληψη 5
Abstract 6
Περιεχόμενα 7
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων 9
Κατάλογος Πινάκων 10
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια 11
1. Εισαγωγή 12
1.1 Πλαίσιο και στόχοι εργασίας 12
1.1.1 Προέλευση ενδοεταιρικών δεδομένων 13
1.2 Ελληνική ναυτιλιακή παράδοση 14
1.3 Συνεισφορά της Ελληνικής ναυτιλίας στην οικονομία 15
1.4 Η ίδρυση του OCIMF 16
2. Παρουσίαση γραμμής παραγωγής σχοινιών πρόσδεσης ναυτιλίας 18
2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά σχοινιών 18
2.2 Παραγωγική διαδικασία 20
2.2.1 1ο Στάδιο: Μηχανές παραγωγής νημάτων πολυπροπυλενίου (Extruders) 20
2.2.1.1 Προμήθεια έτοιμων νημάτων 21
2.2.2 2ο Στάδιο: Μηχανές σύνθεσης νημάτων σε κλώσματα (Μόνο-Τρίκλωνες) 21
2.2.3 3ο Στάδιο: Μηχανές παραγωγής εμβόλων (Εμβολομηχανές) 21
2.2.4 4ο Στάδιο: Πλεκτικές μηχανές ή Πλέκτρες 22
2.2.5 5ο Στάδιο: Μηχανές θερμικής επεξεργασίας και εξωτερικής επικάλυψης (Coating – Heat Setting) 22
2.3 Διαγράμματα παραγωγικής ροής 23
3. Μελέτη των τρόπων αστοχίας και των συνεπειών τους στην παραγωγή 29
3.1 Ανάλυση των τρόπων αστοχίας και των συνεπειών τους (Μελέτη Αστοχίας - FMEA) 29
3.2 Εφαρμογή Μελέτη Αστοχίας στην γραμμή παραγωγής 30
3.2.1 Ανάλυση 1ου Σταδίου παραγωγής 31
3.2.2 Ανάλυση 2ου Σταδίου παραγωγής 32
3.2.3 Ανάλυση 3ου Σταδίου παραγωγής 32
3.2.4 Ανάλυση 4ου Σταδίου παραγωγής 33
3.2.5 Ανάλυση 5ου Σταδίου παραγωγής 34
3.2.6 Διορθωτικές ενέργειες, δείκτης RPN 35
3.2.7 Παρουσίαση ευρημάτων Μελέτης Αστοχίας 35
3.3 Αξιολόγηση δεικτών RPN 39
4. Ανάλυση της Αξιοπιστίας των μηχανών παραγωγής 40
4.1 Κατανομή μηχανών στην γραμμή παραγωγής 40
4.2 Καταγραφή βλαβών μηχανών παραγωγής 42
4.3 Αντιστοίχιση βλαβών ανά μηχανή & ανά στάδιο παραγωγής 45
4.4 Ορισμός Αξιοπιστίας 49
4.5 Υπολογισμός Αξιοπιστίας (R) 49
4.6 Στατιστικός έλεγχος κατανομής δεδομένων 50

4.6.1 1ος Στατιστικός έλεγχος κατανομής δεδομένων – γραμμή παραγωγής (συστήματος) 50
4.6.2 2ος Στατιστικός έλεγχος κατανομής δεδομένων – μηχανής (μονάδας) 52
4.7 Υπολογισμός Αξιοπιστίας (R) με μη παραμετρική μέθοδο 55
4.7.1 1ο Στάδιο παραγωγής 57
4.7.2 2ο Στάδιο παραγωγής 59
4.7.3 3ο Στάδιο παραγωγής 68
4.7.4 4ο Στάδιο παραγωγής 78
4.7.5 5ο Στάδιο παραγωγής 83
5 Μοντελοποίηση του συστήματος με δένδρο βλαβών (FTA) 85
5.1 Δέντρο βλαβών (FTA) 85
5.1.1 Κατασκευή δέντρου βλαβών (FTA) 86
5.1.2 Μεθοδολογία για την κατασκευή δέντρου βλαβών (FTA) 92
5.2 Ανάλυση συστήματος με δέντρα βλαβών 93
5.2.1 Ανάλυση διαγράμματος παραγωγικής ροής A, με δέντρο βλαβών 93
5.2.2 Ανάλυση διαγράμματος παραγωγικής ροής B, με δέντρο βλαβών 95
5.2.3 Ανάλυση διαγράμματος παραγωγικής ροής C, με δέντρο βλαβών 97
5.2.4 Ανάλυση διαγράμματος παραγωγικής ροής D, με δέντρο βλαβών 99
5.2.5 Ανάλυση διαγράμματος παραγωγικής ροής E, με δέντρο βλαβών 101
6 Βελτιστοποίηση του συστήματος 105
7 Συμπεράσματα μελέτης 108
Βιβλιογραφία 110
Παράρτημα A: «1ος Στατιστικός έλεγχος κατανομής δεδομένων – γραμμή παραγωγής (συστήματος), με το Minitab» 112
Παράρτημα B: «2ος Στατιστικός έλεγχος κατανομής δεδομένων – μηχανής (μονάδας), με το Minitab» 118

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1 Χωρητικότητα (GT) και μεταφορική ικανότητα (DWT) του ελληνόκτητου στόλου (https://www.isalos.net/i-elliniki-naftilia/) 15
Εικόνα 2 Διάγραμμα Παραγωγικής Ροής Β (σχοινιά UHMWPE/LCP, χωρίς μανδύα) 23
Εικόνα 3 Σχοινιά UHMWPE/LCP, χωρίς μανδύα 24
Εικόνα 4 Διάγραμμα Παραγωγικής Ροής Α (σχοινιά, χωρίς μανδύα) 24
Εικόνα 5 Σχοινιά, χωρίς μανδύα 25
Εικόνα 6 Διάγραμμα Παραγωγικής Ροής C (σχοινιά UHMWPE/LCP, με εξωτερικό μανδύα) 26
Εικόνα 7 Σχοινιά UHMWPE/LCP, με εξωτερικό μανδύα 26
Εικόνα 8 Διάγραμμα Παραγωγικής Ροής D (σχοινιά, με εξωτερικό μανδύα) 27
Εικόνα 9 Σχοινιά, με εξωτερικό μανδύα 27
Εικόνα 10 Διάγραμμα Παραγωγικής Ροής Ε (σχοινιά με διπλοστριμμένα νήματα) 28
Εικόνα 11 Σχοινιά με διπλοστριμμένα νήματα 28
Εικόνα 12 Διαγράμματα πιθανότητας 1ου ελέγχου κατανομής δεδομένων 52
Εικόνα 13 Διαγράμματα πιθανότητας 2ου ελέγχου κατανομής δεδομένων 55
Εικόνα 14 Στάδιο 1ο, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD) 57
Εικόνα 15 Στάδιο 1ο, Σχηματικό Διάγραμμα Ροής 57
Εικόνα 16 Στάδιο 2ο, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD) 59
Εικόνα 17 Στάδιο 2ο, Σχηματικό Διάγραμμα Ροής 60
Εικόνα 18 Στάδιο 3ο, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD) 68
Εικόνα 19 Στάδιο 3ο, Σχηματικό Διάγραμμα Ροής 69
Εικόνα 20 Στάδιο 4ο, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD) 78
Εικόνα 21 Στάδιο 4, Σχηματικό Διάγραμμα Ροής 78
Εικόνα 22 Η πύλη ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΗ 89
Εικόνα 23 Πύλες Η ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ 89
Εικόνα 24 Η πύλη ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ 90
Εικόνα 25 Δέντρο βλαβών 91
Εικόνα 26 Δέντρο βλαβών ‘’Διάγραμμα παραγωγικής ροής Α’’ 94
Εικόνα 27 Δέντρο βλαβών ‘’Διάγραμμα παραγωγικής ροής Β’’ 96
Εικόνα 28 Δέντρο βλαβών ‘’Διάγραμμα παραγωγικής ροής C’’ 98
Εικόνα 29 Δέντρο βλαβών ‘’Διάγραμμα παραγωγικής ροής D’’ 100
Εικόνα 30 Δέντρο βλαβών ‘’Διάγραμμα παραγωγικής ροής Ε’’ 102
Εικόνα 31 Βελτιωμένο δέντρο βλαβών 106

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Κατανομή μηχανών παραγωγής 20
Πίνακας 2 Μελέτη αστοχιών (PFMEA) 38
Πίνακας 3 Κατανομή μηχανών στην γραμμή παραγωγής 40
Πίνακας 4 Καταγραφή βλαβών μηχανών παραγωγής 42
Πίνακας 5 Αντιστοίχιση βλαβών ανά μηχανή & ανά στάδιο παραγωγής 46
Πίνακας 6 Τιμές συνάρτησης Anderson – Darling 1ου ελέγχου κατανομής δεδομένων 51
Πίνακας 7 Τιμές συνάρτησης Anderson – Darling 2ου ελέγχου κατανομής δεδομένων 54
Πίνακας 8 Υπολογισμός εργάσιμων ημερών κάθε έτους 56

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

OCIMF	Oil Companies International Marine Forum
MEG3	Mooring Equipment Guidelines Third Edition
MEG4	Mooring Equipment Guidelines Forth Edition
MBL	Minimum Braking Load
UHMWPE	Ultra-High Molecular Weight Polyethylene
LCP	Liquid Crystal Polymer
FTA	Fault Tree Analysis
FMEA	Failure Mode & Effect Analysis
PFMEA	Process Failure Mode & Effect Analysis
SFMEA	Systems Failure Mode & Effect Analysis
DFMEA	Design Failure Mode & Effect Analysis
RPN	Risk Priority Number
MCS	Minimal Cut Sets

1. Εισαγωγή

1.1 Πλαίσιο και στόχοι εργασίας

Για την πρόσδεση ενός σκάφους π.χ. ενός πλοίου μεταφοράς κοντέινερ σε ένα λιμάνι, αλλά και για την αγκυροβόληση μιας πλωτής μονάδας εκτροφής ψαριών στην θάλασσα ή μιας πλωτής εξέδρας εξόρυξης πετρελαίου ή φυσικού αερίου, χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων υλικών και σχοινιά διαφόρων τύπων. Ζητούμενο πάντα σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η ασφάλεια του εμπλεκόμενου προσωπικού, π.χ. προσωπικό σκάφους ή προσωπικό ιχθυοτροφείου, η διασφάλιση της καλής κατάστασης του προς ασφάλιση εξοπλισμού, π.χ. κλωβοί ιχθυοτροφείου ή πλοίο μεταφοράς κοντέινερ και η δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για την εκτέλεση του έργου, π.χ. ισχυρή και σταθερή πρόσδεση στον λιμενοβραχίονα για την εκφόρτωση των κοντέινερ στο λιμάνι προορισμό. Κατά το παρελθόν αλλά και πιο πρόσφατα, αστοχίες στην κατασκευή των σχοινιών που οφείλονταν σε κακό σχεδιασμό ή σε παραλείψεις και σφάλματα κατά την παραγωγή, είχαν σαν αποτέλεσμα την απώλεια ανθρώπινων ζωών και την απώλεια ή φθορά εξοπλισμού. Επομένως είναι μείζονος σημασίας ο σωστός σχεδιασμός του σχοινιού κατά τα αρχικά στάδια προσδιορισμού των τεχνικών προδιαγραφών και η πιστή υλοποίηση του σχεδιασμού αυτού κατά την παραγωγή. Άρα, και όσον αφορά την παραγωγή, η αξιοπιστία της παραγωγικής διαδικασίας είναι το ζητούμενο για την δημιουργία ποιοτικών σχοινιών, εντός των προδιαγραφών κατασκευής τους.

Εξίσου σημαντική είναι η ικανότητα της γραμμής παραγωγής για έγκυρη παράδοση της παραγγελίας καθώς υπάρχουν περιπτώσεις όπου τέτοιου είδους καθυστερήσεις μπορεί να ζημιώσουν οικονομικά τον πελάτη π.χ. όταν κατά την επιθεώρηση ενός πλοίου ο ελεγκτής κάνει σύσταση στο σκάφος για αλλαγή σχοινιών πρόσδεσης εντός συγκεκριμένου χρονικού ορίου και αυτό δεν τηρείτε. Και σε αυτή την περίπτωση, υψηλά ποσοστά αξιοπιστίας εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη λειτουργία της παραγωγής που μεταφράζεται σε εγκαίρως παραγόμενα προϊόντα.

Ο σωστός σχεδιασμός της γραμμής παραγωγής καθορίζει μεταξύ άλλων, την επιβίωση, την περεταίρω ανάπτυξη και την υπεροχή μιας βιομηχανίας έναντι του ανταγωνισμού. Αυτό

επιτυγχάνεται με την παραγωγή προϊόντων που εκπληρώνουν τις απαιτήσεις του πελάτη και βοηθούν με αυτόν τον τρόπο την εταιρεία να εκπληρώσει τους στόχους που έχει θέσει στην πολιτική για την ποιότητα. Το θέμα αποκτάει ακόμη μεγαλύτερη αξία για επιχειρήσεις που στρέφονται στην εξωστρέφεια, και εκτός της τοπικής αγοράς έχουν να αντιμετωπίσουν τον και τον διεθνή ανταγωνισμό.

Σε αυτή την διπλωματική εργασία θα μελετήσουμε την αξιοπιστία της γραμμής παραγωγής σχοινιών, της KATRADIS MARINE ROPES IND. S.A., προκειμένου να εξάγουμε συμπεράσματα αναφορικά με την εμφάνιση βλαβών, ελαττωμάτων και την διαθεσιμότητα του συστήματος και των υπο-συστημάτων του. Για κάθε τύπο παραγόμενου σχοινιού θα παρουσιάσουμε τα αντίστοιχα στάδια παραγωγής με την βοήθεια διαγραμμάτων παραγωγικής ροής, ενώ θα χρησιμοποιήσουμε την ανάλυση PFMEA[1] για να αναδείξουμε τους πιθανούς τρόπους αστοχίας και τα αποτελέσματα αυτών σε κάθε στάδιο παραγωγής. Θα ποσοτικοποιήσουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης PFMEA και θα δώσουμε μια σαφή εικόνα για την προέλευση πιθανά εμφανιζόμενων αστοχιών στην παραγωγή πριν την εφαρμογή των διορθωτικών ενεργειών και μετά από αυτή. Χρησιμοποιώντας ενδοεταιρικά δεδομένα θα εκτιμήσουμε την πιθανότητα εμφάνισης βλάβης για κάθε στάδιο παραγωγής. Στην συνέχεια, σύμφωνα και με τα διαγράμματα παραγωγικής ροής που έχουμε σχεδιάσει, θα κατασκευάσουμε ξεχωριστά δέντρων βλαβών για κάθε τύπο παραγόμενου σχοινιού και θα υπολογίσουμε την πιθανότητα βλάβης που οδηγεί στην διακοπή της παραγωγής.

1.1.1 Προέλευση ενδοεταιρικών δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην έρευνα μας προέρχονται από τον χώρο παραγωγής της εταιρείας KATRADIS MARINE ROPES IND. S.A.. Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1936 και έκτοτε δραστηριοποιείται σε Ευρώπη, Αμερική, Ασία και Αφρική, με σημεία πώλησης των προϊόντων της σε Νέα Υόρκη, Χιούστον, Ρότερνταμ, Αλχεθίρας, Κωνσταντινούπολη, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Νότια Αφρική, Κίνα, Ν. Κορέα και Σιγκαπούρη. Στο ιδιόκτητο εργοστάσιο παραγωγής της εταιρείας στο Σχηματάρι, παράγονται κάβοι και σχοινιά τα οποία διανέμονται σε εταιρείες του χώρου της ναυτιλίας, ακτοπλοΐας, σε τροφοδότες πλοίων, έμπορους, όπως επίσης και σε εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον χώρο της υδατοκαλλιέργειας, της ιστιοπλοΐας και του Yachting αλλά και διάφορες άλλες

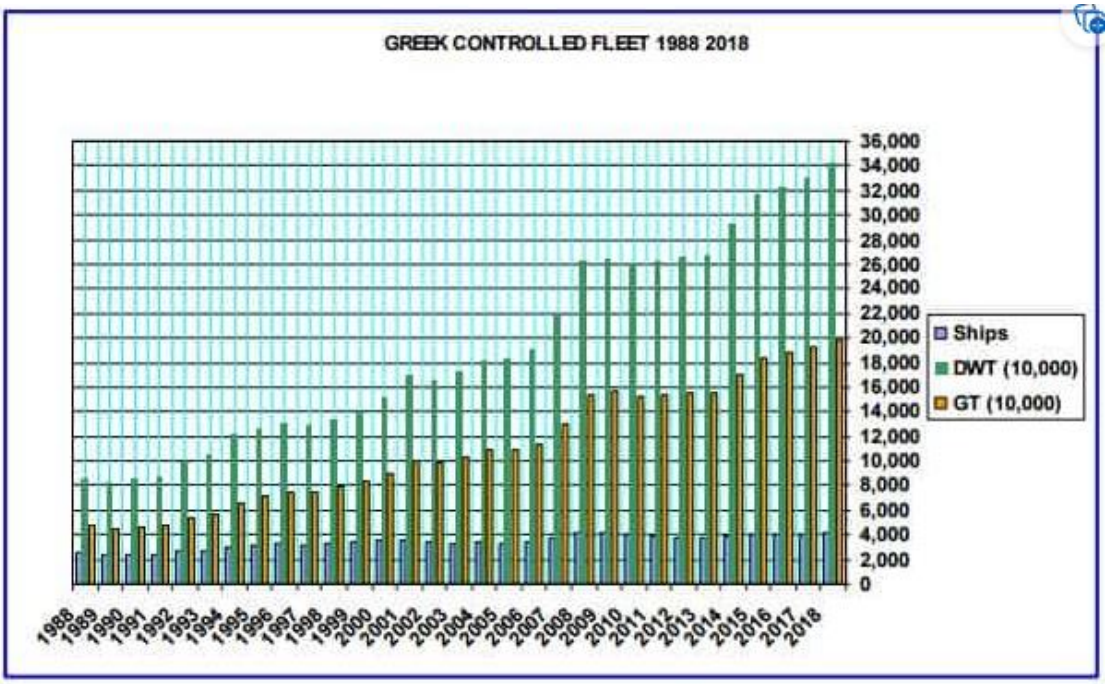
[1] Process Failure Mode & Effect Analysis

βιομηχανίες. Η εταιρεία είναι πιστοποιημένη κατά ISO 9001:2015 και ISO 14001:2015. Τα παραγόμενα σχοινιά/κάβοι πληρούν όλες τις οδηγίες/προϋποθέσεις του MEG4.

1.2 Ελληνική ναυτιλιακή παράδοση

Η Ελλάδα παραμένει η κορυφαία ναυτιλιακή χώρα στον κόσμο, καθώς οι Έλληνες πλοιοκτήτες με 5.514 πλοία ελέγχουν σήμερα περίπου το 21% του παγκόσμιου στόλου σε όρους χωρητικότητας (DWT[2]). Η μέση ηλικία του ελληνόκτητου στόλου (9,99 έτη) είναι χαμηλότερη από τον παγκόσμιο μέσο όρο (10,28 έτη). Οι Έλληνες πλοιοκτήτες εξακολουθούν να επενδύουν σταθερά σε πλοία με μεγαλύτερη αποδοτικότητα αλλά και με περιβαλλοντικά οφέλη σύμφωνα με την ετήσια έκθεση της ΕΕΕ (Ένωση Ελλήνων Εφοπλιστών) του 2022. Η συνολική χωρητικότητα του ελληνόκτητου στόλου, έχει αυξηθεί σήμερα κατά 45,8% εν συγκρίσει με το 2014. Αξιοσημείωτο είναι δε, ότι και κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, δηλαδή από το 2019, η χωρητικότητα αυξήθηκε κατά 7,4%. Ο ελληνόκτητος εμπορικός στόλος, μεταφέρει φορτία μεταξύ τρίτων χωρών σε ποσοστό άνω του 98% της μεταφορικής του ικανότητας, αποτελώντας έτσι τον μεγαλύτερο διασυνοριακό μεταφορέα παγκοσμίως. Στην Εικόνα 1 αποτυπώνεται η διαχρονικά αυξητική τάση σε όρους χωρητικότητας (GT[3]) και μεταφορικής ικανότητας (DWT), του ελληνόκτητου στόλου ανεξαρτήτως σημαίας, για πλοία χωρητικότητας άνω των 1.000 GT, για την περίοδο 1988- 2018. Τα στατιστικά στοιχεία προέρχονται από την εταιρεία αναλύσεων IHS Markit και δημοσιοποιήθηκαν στην ετήσια έκθεση της Ελληνικής Επιτροπής Ναυτιλιακής Συνεργασίας (Greek Shipping Co-operation Committee, (https://www.isalos.net/i-elliniki-naftilia/)).

[2] Το **νεκρό φορτίο** (Deadweight tonnage, deadweight, DWT, D.W.T., d.w.t., ή dwt) είναι μια μονάδα μέτρησης που ορίζει το βάρος του φορτίου που επιτρέπεται να κουβαλήσει ένα πλοίο.
[3] Η **ολική χωρητικότητα** (Gross tonnage, GT) υπολογίζεται μετρώντας τον όγκο ενός πλοίου (από την καρίνα στη χοάνη, στο εξωτερικό του πλαισίου του κύτους) και εφαρμόζοντας έναν μαθηματικό τύπο.



Εικόνα 1 Χωρητικότητα (GT[4]) και μεταφορική ικανότητα (DWT) του ελληνόκτητου στόλου (https://www.isalos.net/i-elliniki-naftilia/)

Αναλυτικότερα, στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι στις 19 Μαρτίου του 2018 ο ελληνικών συμφερόντων στόλος αποτελούνταν από 4.148 πλοία διαφόρων κατηγοριών, συνολικής χωρητικότητας 199.286.013 GT, και μεταφορικής ικανότητας 341.925.357 DWT. Συγκριτικά με τον Μάρτιο του 2017, ο αριθμός των πλοίων ελληνικών συμφερόντων αυξήθηκε κατά 63 πλοία. Η χωρητικότητα και η μεταφορική ικανότητα των πλοίων αυξήθηκαν σημαντικά κατά 6.855.494 GT, και 13.161.590 DWT αντίστοιχα.

1.3 Συνεισφορά της Ελληνικής ναυτιλίας στην οικονομία

Σήμερα, η ναυτιλία είναι η σημαντικότερη βιομηχανία της χώρας καθώς οι θαλασσιές μεταφορές συνεισφέρουν περισσότερο από το 3% της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας και ανέρχονται συνολικά περίπου στο 7% του ΑΕΠ (άμεσα ή έμμεσα), προσφέροντας σχεδόν 200.000 θέσεις εργασίας, όπως σημειώνεται στην ετήσια έκθεση της Ένωσης Ελλήνων Εφοπλιστών. Περισσότερες από 1.450 είναι οι εγκατεστημένες εταιρείες στην

[4] Η **ολική χωρητικότητα** (Gross tonnage, GT) υπολογίζεται μετρώντας τον όγκο ενός πλοίου (από την καρίνα στη χοάνη, στο εξωτερικό του πλαισίου του κύτους) και εφαρμόζοντας έναν μαθηματικό τύπο.

χώρα, από τις οποίες 750 είναι εταιρείες διαχείρισης 5.000 περίπου πλοίων (άνω των 1.000 κόρων) και απασχολούν σχεδόν 25.000 στελέχη. Πολλές ελληνικές ναυτιλιακές εταιρείες έχουν την έδρα τους είτε στην Αθήνα, είτε στο Λονδίνο και τη Νέα Υόρκη και διοικούνται από ελληνικές παραδοσιακές ναυτιλιακές οικογένειες που είναι δημοφιλείς για τον μεγάλο πλούτο και την επιρροή τους στη διεθνή ναυτιλιακή βιομηχανία, όπως οι Βαρδινογιάννης, Λάτσης, Γουλανδρής, Λιβανός, Αγγελικούσης, Νιάρχος, και Αγγελόπουλος μεταξύ άλλων. Επίσης, ο 7ος Γενικός Γραμματέας (2003-2011) του Διεθνούς Οργανισμού Ναυσιπλοΐας ήταν ο Ευθύμιος Μητρόπουλος.

1.4 Η ίδρυση του OCIMF

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν την κύρια οδό, μέσω της οποίας μετακινούνται τα αγαθά ανά τον κόσμο. Πετρέλαιο και τα παράγωγά του, φυσικό αέριο, τρόφιμα, ορυκτά, πρώτες ύλες, νερό, εμπορευματοκιβώτια (container) μεταφοράς προϊόντων και άλλα, μεταφέρονται δια θαλάσσης με τα κατάλληλα πλοία. Περίπου 358.000 πλοία διαφόρων ειδών, όπως πετρελαιοφόρα, γκαζάδικα, χύδην φορτίου και μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων χρησιμοποιούνται για αυτές τις μεταφορές.

Τον Απρίλιο του 1970, ιδρύεται ο OCIMF (Oil Companies International Marine Forum). Στην ίδρυσή του συνετέλεσαν, η ραγδαία ανάπτυξη του κλάδου, ενδεικτικά το 1974 (1η Ιουνίου) αριθμούσε 30.279 εμπορικά πλοία συνολικού εκτοπίσματος 467.694.580 DWT, δηλαδή 327.721 λιγότερα σε σχέση με σήμερα, και η αυξανόμενη δημοσία ανησυχία για την θαλάσσια ρύπανση, κυρίως από το πετρέλαιο. Στα 53 χρόνια πορείας του ο OCIMF έχει εξελιχθεί σε κορυφαία αρχή για θέματα ασφαλείας που σχετίζονται με την παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία. Παρέχει επίσης συμβουλευτικές υπηρεσίες στον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO). Ο οργανισμός εστιάζει στην προώθηση βέλτιστων πρακτικών αναφορικά με τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την λειτουργεία δεξαμενόπλοιων, φορτηγίδων και πλοίων ανοικτής θάλασσας αλλά και αναφορικά με την σύνδεση των προηγούμενων σκαφών με τερματικούς σταθμούς στην θάλασσα και την ξηρά. Τμήμα της εκτεταμένης βιβλιογραφίας του οργανισμού, αποτελούν τα πρότυπα ασφαλούς πρόσθεσης MEG3[5], του 2008, και MEG4[6], του 2018.

[5] Βέλτιστες πρακτικές ασφαλούς πρόσδεσης.
[6] Βέλτιστες πρακτικές ασφαλούς πρόσδεσης για Tanker και LNG-LPG. Δεν είναι δεσμευτικό για Bulk Carriers και Container Ships.

Το 2008, ο OCIMF εκδίδει το Mooring Equipment Guidelines Third Edition (MEG3)και γρήγορα το περιεχόμενό του αποτελεί τον οδηγό ασφαλούς πρόσδεσης για την παγκόσμια ναυτιλία. Το 2018, ο οργανισμός εκδίδει το Mooring Equipment Guidelines Forth Edition (MEG4). Άμεσα οι πρακτικές ασφαλούς πρόσδεσης του έντυπου υιοθετούνται από τον κλάδο. Το MEG4 συντάχθηκε προκειμένου να αποσαφηνιστούν ασάφειες και κενά που δημιουργήθηκαν με την προηγούμενη έκδοση. Συγκεκριμένα, στην έκδοση MEG3 χρησιμοποιείτο ευρέος ο όρος MBL (Minimum Breaking Load), ο οποίος πολλές φορές παρερμηνεύονταν. Για τον συγγραφέα, ο όρος σήμαινε το ελάχιστο φορτίο δύναμης, όπως αυτό δηλώνεται από τον κατασκευαστή, και στο οποίο θα έσπαγε ένας στεγνός κάβος ή μια αλυσίδα. Για τον χρήστη, λανθασμένα, το δηλωμένο MBL είτε του κάβου είτε της αλυσίδας, ήταν το νούμερο στο οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει είτε το ένα είτε το άλλο υλικό χωρίς αυτό να σπάσει ή να φθαρεί. Ο όρος MBL χρησιμοποιείτε επίσης σε βιομηχανικούς ελέγχους θραύσης υλικών, και εκφράζει την δύναμη η οποία ασκείτε σε δοκίμιο κάβου ή αλυσίδας έως ότου το υλικό σπάσει. Κάποιες φορές, τα αποτελέσματα από αυτούς τους ελέγχους, και όσον αφορά όμοια υλικά, είχαν απόκλιση από το δηλωμένο νούμερο του κατασκευαστή της τάξης =/-10%. Αυτό επίσης δημιουργούσε σύγχυση στον χρήστη, όσον αφορά το προσδοκώμενο και το πραγματικό όριο θραύσης.

Προκειμένου να αποσαφηνιστούν όσα έπρεπε και να είναι περισσότερο κατανοητός ο καινούργιος οδηγός, νέοι όροι εισήχθησαν στο MEG4, και έγινε επιπλέον προσπάθεια για απλούστερη, περισσότερο κατανοητή σύνταξη κειμένων.

2. Παρουσίαση γραμμής παραγωγής σχοινιών πρόσδεσης ναυτιλίας

2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά σχοινιών

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ιδιαίτερες απαιτήσεις διαφορετικών πλοίων και εταιρειών κάθε φορά, μία ποικιλία διαφορετικών κάβων/σχοινιών παράγεται. Διαφορετικού μεγέθους και είδους πλοία (Tanker, LNG-LPG, Bulk Carriers και Container Ships), όπως επίσης και οι διαφορετικές οικονομικές δυνατότητες/απαιτήσεις της κάθε ναυτιλιακής εταιρείας δημιούργησαν την ανάγκη για προσφορά προϊόντων με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά, αλλά και κόστος παραγωγής. Το παραγόμενο τελικά προϊόν μπορεί να διαφοροποιείται σε σχέση με κάποιο άλλο είτε στο μέγεθος, είτε στο μήκος, είτε στην πρώτη ύλη κατασκευής, ή στην πλέξη, ή και από την διαμόρφωση των άκρων του. Όσον αφορά το μέγεθος (διάμετρος του σχοινιού/κάβου), η μέτρηση γίνεται σε χιλιοστόμετρα (mm, Metric system) ή ίντσες (in, Imperial system) με μια ανοχή στην γραμμική πυκνότητα σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα. Στην ναυτιλία και την ακτοπλοΐα, από 40mm και πάνω όλα τα σχοινιά χαρακτηρίζονται κάβοι. Και σχεδόν πάντα αφορά σχοινιά πρόσδεσης του ίδιου του σκάφους. Τα κάτω των 40mm, προσφωνούνται ως σχοινιά, και μπορεί να είναι σχοινιά γενικής χρήσης, σχοινιά για την πρόσδεση ενός μικρότερου συνοδευτικού/βοηθητικού σκάφους, σχοινιά που χρησιμοποιούνται για το άπλωμα του κάβου κατά την διάρκεια της πρόσδεσης ενός σκάφους σε κάποιο λιμάνι, σχοινιά ασφαλείας για την σκάλα επιβίβασης/αποβίβασης του σκάφους κτλ. Σχοινιά επίσης χαρακτηρίζονται και από τους κλάδους της ιχθυοκαλλιέργειας, της ιστιοπλοΐας, του Yachting και των λοιπών βιομηχανικών κλάδων, ασχέτως μεγέθους. Για απλούστευση και διευκόλυνση, από εδώ και πέρα θα χρησιμοποιούμε μόνο τον όρο σχοινί για να περιγράψουμε όλων των διαφορετικών μεγεθών σχοινιά, αλλά και όλων των διαφορετικών χρήσεων. Το κατάλληλο μήκος σχοινιού για ασφαλή και χωρίς προβλήματα πρόσδεση, όσον αφορά την ναυτιλία και την ακτοπλοΐα, καθορίζεται από τον εκάστοτε ναυπηγό κατά την περίοδο σχεδίασης του σκάφους. Συνήθως, και λόγω του ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων τα ακτοπλοϊκά σκάφη είναι μικρότερα σε μέγεθος από τα αντίστοιχα της ναυτιλίας, απαιτούνται σχοινιά από τα 110 μέτρα μήκος και κάτω. Στην ναυτιλία, χρησιμοποιούνται περισσότερο σχοινιά

των 220 μέτρων, και λιγότερο των 250 μέτρων. Για τους υπόλοιπους κλάδους κατασκευάζονται κορκώματα (τρόπος συσκευασίας σχοινιού, χωρίς την χρήση στροφείου) σχοινιών 200 μέτρων και κατά παραγγελία κορκώματα μεγαλύτερου ή μικρότερου μήκους. Το όριο θραύσης του σχοινιού, καθορίζεται από τον Αριθμό Εξοπλισμού (Equipment Number[7]) του πλοίου. Το υλικό κατασκευής και η πλέξη των σχοινιών (8 κλώνων ή 12 κλώνων ή 24 κλώνων), για σκάφη είτε της ακτοπλοΐας είτε της ναυτιλίας, καθορίζονται από τις υποδείξεις/παρατηρήσεις των αρμόδιων για αυτή την προμήθεια και από το κονδύλι που εγκρίνεται από την κάθε εταιρεία για αυτή την δαπάνη. Με κριτήριο την αντοχή του υλικού στην καταπόνηση, και ξεκινώντας από το χαμηλότερης αντοχής προς το μεγαλύτερης, η πρώτη ύλη μπορεί να είναι, είτε νήματα πολυπροπυλενίου, είτε ο συνδυασμός νημάτων πολυπροπυλενίου και πολυεστέρα, είτε νήματα 100% πολυεστέρα, είτε νήματα από 100% νάιλον (πολυαμίδιο), είτε νήματα που αποτελούνται από πολυαιθυλένιο υψηλού μοριακού βάρους (UHMWPE[8]), είτε τέλος νήματα LCP[9] . Τα σχοινιά διαφοροποιούνται και από την πλέξη τους. Στην γραμμή παραγωγής την οποία και αφορα η ερευνά μας, κατασκευάζονται σχοινιά 3 ή 4 κλώνων, 8 κλώνων, 12 κλώνων, 24 κλώνων και σχοινιά με 12 ή 24 κλώνους καρδιά και εξωτερικό προστατευτικό μανδύα 24 ή 32 κλώνων. Όσο περισσότερους κλώνους έχει ένα σχοινί, τόσο περισσότερο ανθεκτικό είναι στην καταπόνηση γενικότερα. Βέβαια, εδώ παίζει μεγάλο ρόλο η ποιοτική κατασκευή του σχοινιού ώστε στους (περισσότερους) κλώνους, να κατανέμεται το φορτίο ομοιόμορφα (σε όλους τους κλώνους). Τα σχοινιά αυτού του είδους εμφανίζουν αυξημένη αντοχή π.χ. στην φθορά που προκαλείται από την τριβή μεταξύ των νημάτων που το αποτελούν αλλά και στην τριβή από τα αντικείμενα με τα οποία έρχεται σε επαφή (λόγω του κυκλικότερου σχήματός του), όταν ένα σκάφος δένει, όπως οι δέστρες, τα όκια, οι γλίστρες, τα ράουλα κτλ.. Τέλος, και όσον αφορά τις διαφοροποιήσεις των σχοινιών, όλα τα παραγόμενοι σχοινιά για την ακτοπλοΐα και την ναυτιλία έχουν στα δύο άκρα τους γάσσες (μάτια), συνήθως 1,80 μέτρα/γάσσα για το δέσιμό των σκαφών στον προβλήτα. Για την αυξημένη διάρκεια ζωής του κάθε σχοινιού και την διατήρηση της ασφάλειας, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, αλλάζουν την άκρη δεσίματος των σχοινιών για να μοιράσουν την αυξημένη φθορά που έχει το άκρο που δένει στην δέστρα του προβλήτα και καταπονείται περισσότερο, από ότι το άλλο άκρο που είναι τυλιγμένο στην ανέμη του εκάστοτε σκάφους. Το παραπάνω ισχύει και για τα σχοινιά, τα

[7] Αποδίδεται από την εκάστοτε κλάση (BV, LR, DNV κτλ.), με βάσει τα χαρακτηριστικά του κάθε σκάφους.
[8] Ultra-High Molecular Weight Polyethylene
[9] Liquid Crystal Polymer

οποία παράγονται χωρίς γάσσες στα δύο άκρα τους ή αλλιώς όπως είθισται να λένε, παράγονται με ελεύθερα άκρα.

2.2 Παραγωγική διαδικασία

Η γραμμή παραγωγής της ερευνάς μας χωρίζεται σε πέντε επίπεδα ή στάδια.

1. Μηχανές παραγωγής νημάτων πολυπροπυλενίου (Extruders)
2. Μηχανές σύνθεσης νημάτων σε κλώσματα (Μόνο-Τρίκλωνες)
3. Μηχανές παραγωγής εμβόλων (Εμβολομηχανές)
4. Πλεκτικές μηχανές ή Πλέκτρες
5. Μηχανές θερμικής επεξεργασίας και εξωτερικής επικάλυψης (Coating – Heat Setting)

Στο σύνολό τους οι μηχανές των παραπάνω 5 σταδίων είναι 66, και κατανέμονται σε κάθε στάδιο παραγωγής όπως βλέπουμε στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Κατανομή μηχανών παραγωγής

ΤΥΠΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ	*ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ*
Extruders	2
Μόνο/Τρίκλωνες	32
Εμβολομηχανές	15
Πλέκτρες	16
Coating-Heat Setting machine	1

Η αριθμητική σειρά με την οποία παρουσιάζονται τα στάδια παραγωγής παραπάνω, δεν είναι ίδια απαραίτητα για όλα τα σχοινιά, κατά την φάση της παραγωγής. Ανάλογα το είδος του σχοινιού, η σειρά μπορεί να διαφοροποιείται όπως θα δούμε στην συνέχεια.

2.2.1 1ο Στάδιο: Μηχανές παραγωγής νημάτων πολυπροπυλενίου (Extruders)

Στις μηχανές παραγωγής νημάτων (Extruders) του πρώτου σταδίου, σχηματίζονται τα νήματα πολυπροπυλενίου. Για την παραγωγή τους χρησιμοποιούνται κόκκοι πολυπροπυλενίου, κόκκοι πολυαιθυλενίου και κόκκοι για την προστασία του παραγόμενου

νήματος πολυπροπυλενίου από την Υπεριώδη (UV) ακτινοβολία του ήλιου. Οι κόκκοι του πολυπροπυλενίου, του πολυαιθυλενίου και οι κόκκοι UV προστασίας, αρχικά θερμαίνονται προκειμένου από την στερεή μορφή που έχουν να περάσουν στην υγρή τους μορφή, και στην συνέχεια αναμιγνύονται δημιουργώντας ένα ομοιογενές μείγμα. Σε ακόλουθο στάδιο το μείγμα παίρνει την μορφή νήματος περνώντας μέσα από καλούπια, στην συνέχεια τανύζεται σταδιακά, θερμαίνεται περαιτέρω, και τελικά ψύχεται προκειμένου να φτάσει στις αιτούμενες ιδιότητες του. Τα υπόλοιπα νήματα, δηλαδή τα νήματα πολυεστέρα, νάιλον και UHMWPE/LCP, προμηθεύονται έτοιμα από πιστοποιημένους παραγωγούς.

2.2.1.1 Προμήθεια έτοιμων νημάτων

Η εταιρεία προμηθεύεται νήματα μόνο από παραγωγούς που ανήκουν στην λίστα εγκεκριμένων προμηθευτών. Προκειμένου η εταιρεία να εντάξει κάποιον παραγωγό στην λίστα της, θα πρέπει αυτός να διαθέτει όλες τις απαραίτητες άδειες και έγγραφα και να είναι πιστοποιημένος τουλάχιστον κατά ISO 9001. Θα γίνει επίσκεψη για έλεγχο στις εγκαταστάσεις του κατόπιν συνεννόησης και θα παρθούν δείγματα για περαιτέρω ανάλυση και έλεγχο στο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου της εταιρείας. Εφόσον δεν διαπιστωθεί κάποια παράλειψη/έλλειψη ή ανεπάρκεια από τους παραπάνω ελέγχους, τότε και μόνον τότε, ο προμηθευτής καταγράφεται στην λίστα εγκεκριμένων προμηθευτών της εταιρείας.

2.2.2 2ο Στάδιο: Μηχανές σύνθεσης νημάτων σε κλώσματα (Μόνο-Τρίκλωνες)

Η σχοινοποίηση ξεκινάει με την εισαγωγή των νημάτων στο στάδιο 2, τις Μόνο-Τρίκλωνες μηχανές. Σε αυτό το στάδιο, τα νήματα ομαδοποιούνται, πολλά μαζί, δημιουργώντας έναν μικρό κλώνο σχοινιού και ταυτόχρονα συστρέφονται με συγκεκριμένες στροφές ανά μέτρο, ανάλογα το υλικό (πολυπροπυλένιο ή πολυεστέρας ή νάιλον κτλ.) και τις τελικές ιδιότητες του σχοινιού που θα παραχθεί. Λόγω της ομαδοποίησης και συστροφής των νημάτων, το τελικό αποτέλεσμα, ο μικρός κλώνος σχοινιού ή αλλιώς κλώσμα, είναι ένα προϊόν με αυξημένη αντοχή στην θραύση, την φθορά από την τριβή και τις κυκλικές φορτίσεις.

2.2.3 3ο Στάδιο: Μηχανές παραγωγής εμβόλων (Εμβολομηχανές)

Οι εμβολομηχανές του τρίτου σταδίου, στην πραγματικότητα κάνουν ότι ακριβώς και οι Μόνο-Τρίκλωνες μηχανές, χρησιμοποιώντας όμως για πρώτη ύλη το προϊόν παραγωγής του

δεύτερου σταδίου, τους μικρούς κλώνους ή κλώσματα. Ενώνουν πολλούς μικρούς κλώνους μαζί, συστρέφοντάς τους ταυτόχρονα, σχηματίζοντας έτσι τον τελικό κλώνο (έμβολο) που σαφώς έχει ακόμα καλύτερες ιδιότητες σε όρους θραύσης και αντοχής στην καταπόνηση. Στην έρευνα αυτή, θεωρούμε ότι οι μηχανές αυτού του σταδίου παράγουν όλες τα ίδια διαμετρήματα εμβόλων.

2.2.4 4ο Στάδιο: Πλεκτικές μηχανές ή Πλέκτρες

Με τα έμβολα του τρίτου σταδίου, ξεκινάει η παραγωγή στο τέταρτο στάδιο. Στις πλεκτικές μηχανές ή πλέκτρες, δημιουργούνται σχοινιά 3, 4, 8, 12 ή 24 κλώνων και σχοινιά με εξωτερικό μανδύα (για την δημιουργία του μανδύα, το σχοινί περνάει και δεύτερη φορά από το στάδιο 4). Στην έρευνα αυτή, θεωρούμε ότι οι μηχανές αυτού του σταδίου παράγουν όλες τα ίδια διαμετρήματα σχοινιών. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, αυτό είναι το τελευταίο στάδιο μηχανικής παραγωγής, με το πέρας του οποίου παίρνουμε ένα ολοκληρωμένο σχοινί. Αυτό ισχύει για όλα τα παραγόμενα σχοινιά εκτός από τα σχοινιά με εξωτερικό μανδύα και τα σχοινιά UHMWPE/LCP για τα οποία ισχύουν όσα περιγράφονται στην ενότητα 2.3. Στην περίπτωση των σχοινιών πρόσδεσης της ναυτιλίας και της ακτοπλοΐας, στο επόμενο στάδιο πραγματοποιείται το πλέξιμο των γασσών, το οποίο γίνεται από άνθρωπο στο χέρι, με τουλάχιστον 5 περάσματα ανά γάσσα για ασφάλεια, σύμφωνα με τις οδηγίες του OCIMF (Oil Companies International Marine Forum). Αυτό το στάδιο εφαρμόζεται και για τα σχοινιά πρόσδεσης της ιστιοπλοΐας και του Yachting. Η συσκευασία των σχοινιών γίνεται από άνθρωπο στο χέρι ή και μηχανικά. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η ερευνά μας αφορά μόνο τα στάδια μηχανικής παραγωγής από στάδιο 1 έως και στάδιο 5, και όχι τις διεργασίες της πλέξης των γασσών στο χέρι και της συσκευασίας του προϊόντος με ανθρώπινο χέρι ή μηχανικά.

2.2.5 5ο Στάδιο: Μηχανές θερμικής επεξεργασίας και εξωτερικής επικάλυψης (Coating – Heat Setting)

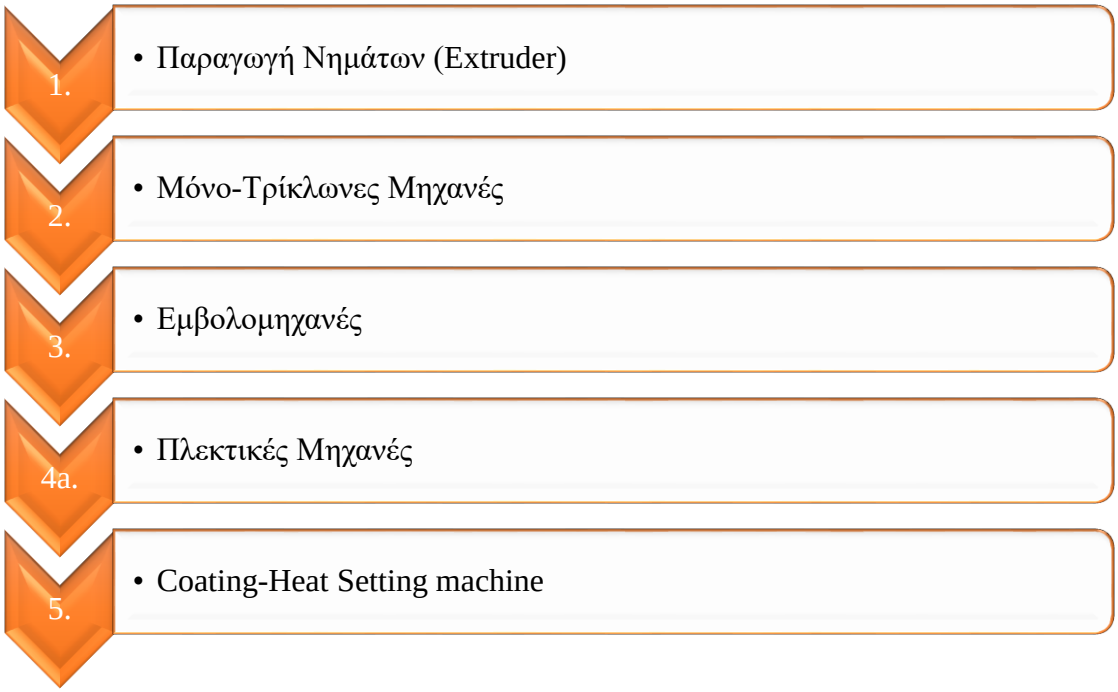
Το πέμπτο στάδιο, της θερμικής επεξεργασίας και επικάλυψης (Coating-Heat Setting) και συγκεκριμένα για την γραμμή παραγωγής που εξετάζουμε, εφαρμόζεται μόνο σε σχοινιά UHMWPE (μπορεί όμως να εφαρμοστεί και σε σχοινιά Νάιλον, Πολυεστέρα & LCP). Αυτό συμβαίνει γιατί το πολυαιθυλένιο, περισσότερο από ότι τα άλλα υλικά, προκειμένου να διατηρήσει της ιδιότητές του και να σταθεροποιηθεί, πρέπει να θερμανθεί σε συγκεκριμένη

θερμοκρασία, για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και κάτω από ορισμένο φορτίο τάνυσής του. Στην ίδια μηχανή, γίνεται και η βαφή/επικάλυψη του σχοινιού μέσω εμβάπτισης, με χημική ουσία η οποία προστατεύει το σχοινί από την τριβή, αλλά δρα και σαν επιπλέον προστασία από την ακτινοβολία του ήλιου.

2.3 Διαγράμματα παραγωγικής ροής

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αριθμητική σειρά με την οποία παρουσιάζονται τα στάδια παραγωγής στην ενότητα 2.2, δεν είναι ίδια απαραίτητα για όλα τα σχοινιά, κατά την φάση της παραγωγής. Ανάλογα το είδος του σχοινιού, η σειρά μπορεί να διαφοροποιείται. Π.χ. κατά την παραγωγή σχοινιών UHMWPE/LCP, χωρίς εξωτερικό μανδύα, τα βήματα και η σειρά τους είναι ακριβώς η ίδια με αυτήν που παρουσιάζεται στην ενότητα 2.2. Ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα παραγωγικής ροής, Εικόνα 2.

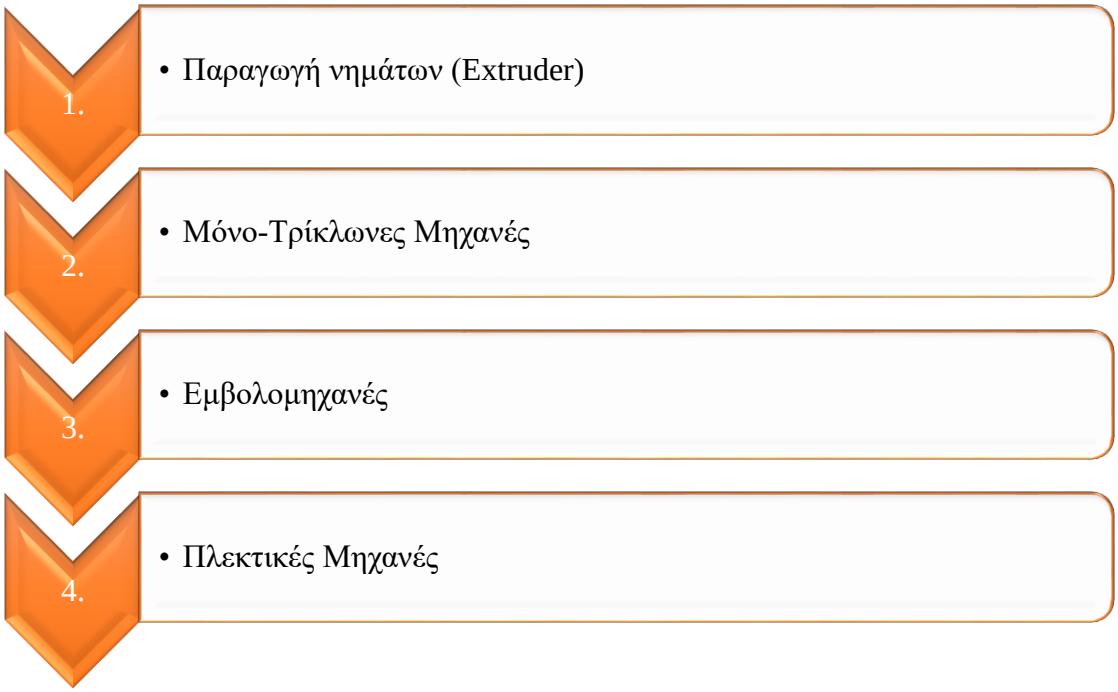
Εικόνα 2 Διάγραμμα Παραγωγικής Ροής Β (σχοινιά UHMWPE/LCP, χωρίς μανδύα)



Εικόνα 3 Σχοινιά UHMWPE/LCP, χωρίς μανδύα

Για την παραγωγή σχοινιών χωρίς εξωτερικό μανδύα, που δεν είναι όμως UHMWPE/LCP, παραλείπουμε το στάδιο 5. Αυτό αφορά την παραγωγή σχοινιών με νήματα πολυπροπυλενίου, νάιλον, πολυεστέρα ή συνδυασμό των προηγούμενων. Ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα παραγωγικής ροής, Εικόνα 4.

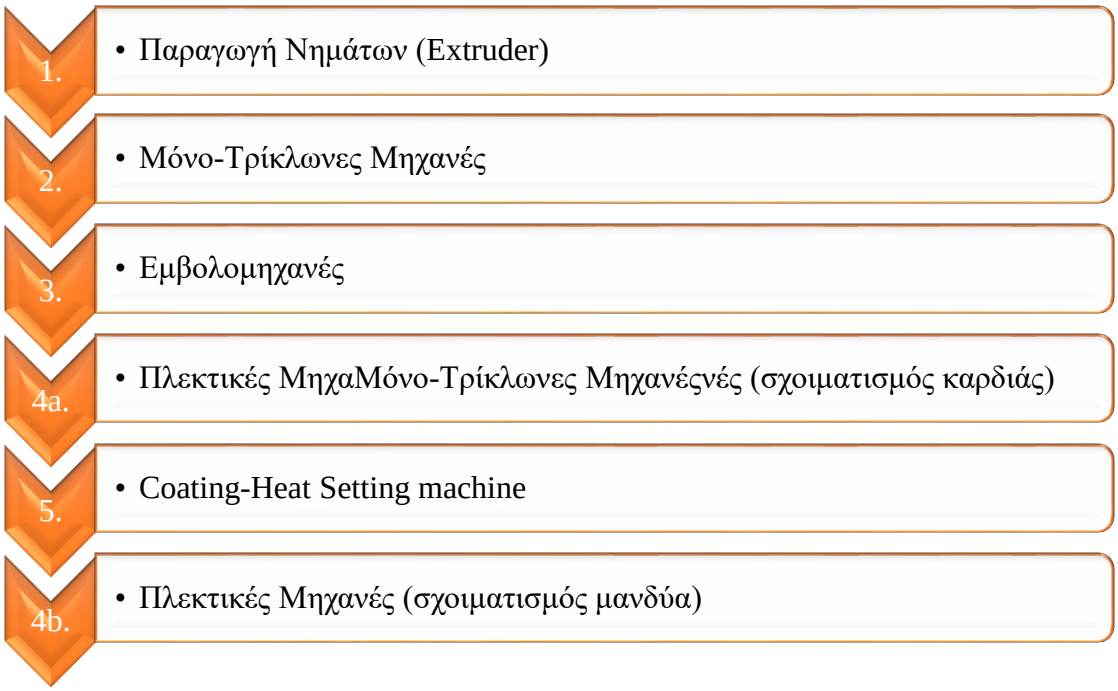
Εικόνα 4 Διάγραμμα Παραγωγικής Ροής Α (σχοινιά, χωρίς μανδύα)



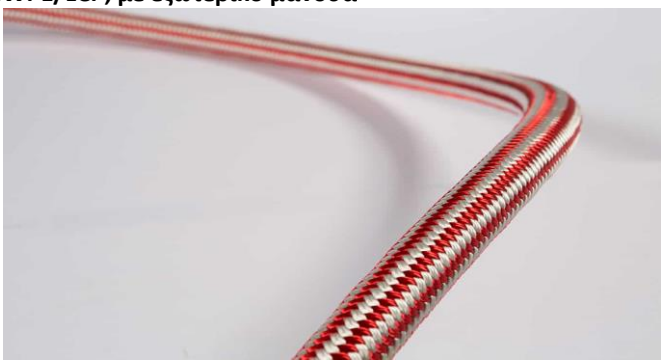
Εικόνα 5 Σχοινιά, χωρίς μανδύα

Στην περίπτωση όμως που παράγονται σχοινιά UHMWPE/LCP με εξωτερικό μανδύα, το βήμα 4 επαναλαμβάνεται δύο φορές, μία κατά την πλέξη της καρδιάς του σχοινιού (βήμα 4a), και άλλη μία κατά την πλέξη του εξωτερικού μανδύα (βήμα 4b). Πιο απλά, αρχικά παράγεται ένα σχοινί 12 ή 24 κλώνων το οποίο ονομάζουμε καρδιά, και στην συνέχεια ντύνεται εξωτερικά με έναν προστατευτικό μανδύα. Πριν την τοποθέτηση του εξωτερικού μανδύα, μεσολαβεί το στάδιο 5, το οποίο γίνεται μόνο στην καρδιά του σχοινιού και όχι στον εξωτερικό μανδύα του. Επίσης, το στάδιο 5 αφορά μόνο σχοινιά UHMWPE/LCP και όχι τα σχοινιά που παράγονται από νήματα πολυπροπυλενίου, πολυεστέρα και νάιλον. Ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα παραγωγικής ροής, Εικόνα 6.

Εικόνα 6 Διάγραμμα Παραγωγικής Ροής C (σχοινιά UHMWPE/LCP, με εξωτερικό μανδύα)

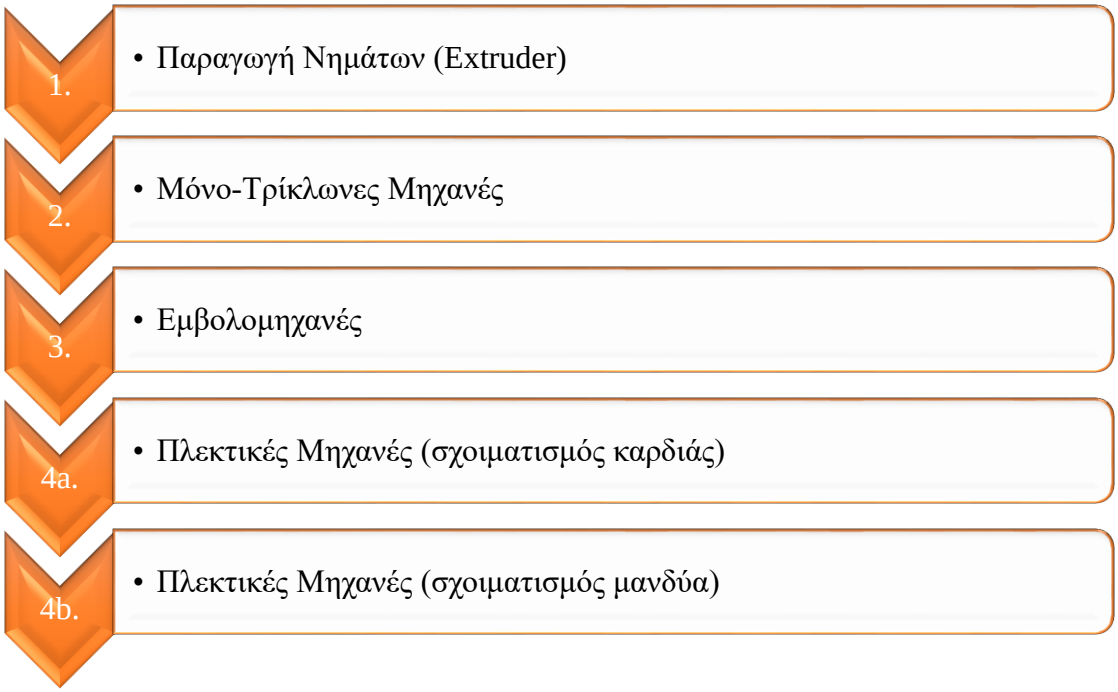


Εικόνα 7 Σχοινιά UHMWPE/LCP, με εξωτερικό μανδύα



Για σχοινιά που παράγονται με νήματα πολυπροπυλενίου, νάιλον, πολυεστέρα ή συνδυασμό των προηγούμενων, και έχουν εξωτερικό μανδύα, παραλείπουμε το στάδιο 5. Ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα παραγωγικής ροής, Εικόνα 8.

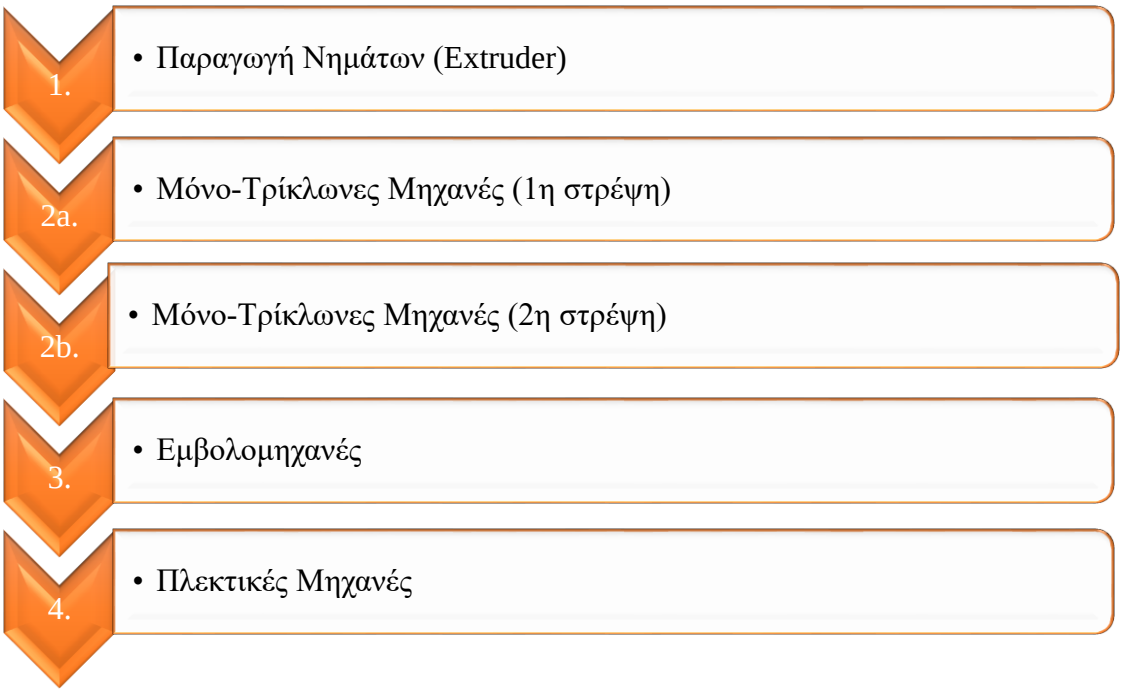
Εικόνα 8 Διάγραμμα Παραγωγικής Ροής D (σχοινιά, με εξωτερικό μανδύα)



Εικόνα 9 Σχοινιά, με εξωτερικό μανδύα

Ένα ακόμη παράδειγμα στο οποίο διαφοροποιείται η παραπάνω σειρά, είναι η παραγωγή σχοινιών πολυπροπυλενίου με νήματα διπλής στρέψης. Κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης παραγωγής, τα παραγόμενα νήματα περνάνε δύο φορές από το βήμα 2 (βήμα 2a και βήμα 2b). Ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα παραγωγικής ροής, Εικόνα 10.

Εικόνα 10 Διάγραμμα Παραγωγικής Ροής Ε (σχοινιά με διπλοστριμμένα νήματα)



Εικόνα 11 Σχοινιά με διπλοστριμμένα νήματα

Όλα τα παραπάνω διαγράμματα παραγωγικής ροής, καλύπτουν την παραγωγική διαδικασία της επιχείρησης για το σύνολο των παραγόμενων σχοινιών. Τα διαγράμματα παραγωγικής ροής που αφορούν την παραγωγή σχοινιών με χρήση νημάτων UHMWPE/LCP, έχουν επισημανθεί αντιστοίχως για να ξεχωρίζουν. Όλα τα υπόλοιπα διαγράμματα, αφορούν σχοινιά παραγωγής με νήματα, πολυπροπυλενίου, ή πολυεστέρα, ή συνδυασμό των δύο προηγούμενων, ή με νάιλον νήματα.

3. Μελέτη των τρόπων αστοχίας και των συνεπειών τους στην παραγωγή

3.1 Ανάλυση των τρόπων αστοχίας και των συνεπειών τους (Μελέτη Αστοχίας - FMEA)

Για την ανάλυση των τρόπων αστοχίας της γραμμής παραγωγής και των συνεπειών τους, θα χρησιμοποιήσουμε την Μελέτη Αστοχίας ή αλλιώς FMEA (Failure Mode & Effect Analysis). Στόχος της ανάλυσης είναι να προσδιορίσει μεμονωμένους τρόπους αστοχίας και να ποσοτικοποιήσει αυτούς τους τρόπους (Vesely, Goldberg, Roberts, & Haasl, (1981), Fault Tree Handbook). Το είδος της παραπάνω μελέτης το οποίο και περιγράφεται στην συνέχεια είναι η PFMEA (Process Failure Mode & Effect Analysis), και υλοποιείται στο στάδιο της παραγωγής, με αντικείμενο μελέτης την ίδια την γραμμή παραγωγής και τα παραγόμενα σχοινιά. Τα άλλα δύο είδη της συγκεκριμένης μελέτης, με τα οποία όμως δεν θα ασχοληθούμε σε αυτή την εργασία, είναι η SFMEA (Systems Failure Mode & Effect Analysis) και χρησιμοποιείται στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης και σχεδιασμού ενός συστήματος, και η DFMEA (Design Failure Mode & Effect Analysis) όπου χρησιμοποιείται κατά την φάση του σχεδιασμού ενός νέου προϊόντος. Χρησιμοποιούμε την PFMEA προκειμένου να αξιολογήσουμε την πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας (αποτυχίας) στην παραγωγική διαδικασία, καθώς και τις επιπτώσεις αυτής της αστοχίας, (McDermott, Robin E. Et al., The Basics of FMEA, New York: Quality Resources Inc., 1996). Κατά την υλοποίηση της μελέτης παρουσιάζονται αναλυτικά τα ακόλουθα:

1. Οι πιθανοί τρόποι αστοχίας
2. Οι πιθανές επιπτώσεις για κάθε αστοχίας και η βαθμολόγηση του δείκτη S (severity)
3. Τα πιθανά αίτια της κάθε αστοχίας και η βαθμολόγηση του δείκτη O (occurrence)
4. Οι υπάρχοντες τρόποι ελέγχου για την αποφυγή κάθε πιθανής αστοχίας και η βαθμολόγηση του δείκτη D (detection)
5. Η βαθμολόγηση του δείκτη RPN
6. Οι διορθωτικές ενέργειες για την μείωση του δείκτη RPN
7. Η τιμή του δείκτη RPN μετά την εφαρμογή των διορθωτικών ενεργειών.

Οι βαθμολογήσεις των πιθανοτήτων εμφάνισης αστοχίας (occurrence - O) και εντοπισμού αστοχίας (detection - D), αλλά και η βαθμολόγηση της κρισιμότητας (severity - S), βασίζονται στους αντίστοιχους πίνακες του βιβλίου ‘’Προγραμματισμός για την Ποιότητα’’, Τόμος Α’, του Χαράλαμπου Αγγελόπουλου (2000). Από το γινόμενο των τριών παραπάνω δεικτών, προκύπτει ο Αριθμός Προτεραιότητας Κινδύνου ή αλλιώς RPN (Risk Priority Number). Ο υπολογισμός των δεικτών RPN, βοηθά στον εντοπισμό της δραστηριότητας που θα πρέπει να αξιολογηθεί πρώτα και εν συνεχεία στον καθορισμό των αποτελεσματικών διορθωτικών ενεργειών. Με την παραπάνω διαδικασία, κάνουμε μια πρώτη ανάλυση και αξιολόγηση της αξιοπιστίας του συστήματος (διεργασίες παραγωγής). Για την περαιτέρω εκτίμηση της αξιοπιστίας στην συνέχεια, θα χρησιμοποιήσουμε δέντρα βλαβών, τα αποτελέσματα των οποίων θα συγκρίνουμε με αυτά της μελέτης PFMEA προκειμένου να συγκρίνουμε και να εξάγουμε συμπεράσματα.

3.2 Εφαρμογή Μελέτη Αστοχίας στην γραμμή παραγωγής

Οι πιθανότητες που καταγράφονται σε αυτή την μελέτη, όπως επίσης οι αιτίες αλλά και τα αποτελέσματα των αστοχιών, προέρχονται από ιστορικά αρχεία της εταιρείας, βιβλιογραφία, και την εμπειρία των μελών της Ομάδας για τον Σχεδιασμό της Ποιότητας της εταιρείας. Στην μελέτη περιλαμβάνονται και τα 5 στάδια παραγωγής, όπως αυτά περιεγράφηκαν στο Κεφάλαιο 2. Δεν περιλαμβάνονται, το στάδιο πλέξης των γασσών που γίνεται στο χέρι, και η συσκευασία των σχοινιών, είτε αυτή γίνεται στο χέρι, είτε γίνεται από μηχανή. Προκειμένου να διευκολυνθούμε στην περιγραφή της μελέτης σε αυτό το στάδιο της, υπάρχει αρίθμηση για κάθε καταγεγραμμένη αστοχία, και για κάθε ένα στάδιο παραγωγής ξεχωριστά. Κάθε παραγόμενο σχοινί, ανάλογα με το μέγεθός του, την πρώτη ύλη και την προδιαγραφή της κατασκευής του, έχει συγκεκριμένες ιδιότητες όσον αφορά το όριο θραύσης του (MBL), την επιμήκυνσή του και την αντοχή στην καταπόνηση π.χ. στην τριβή ή την φθορά από την UV ακτινοβολία. Οποιαδήποτε παρέκκλιση από αυτές τις ιδιότητες, θεωρείται αστοχία προϊόντος, μη συμμόρφωση με τις διεθνείς προδιαγραφές και τους κανονισμούς του OCIMF, η οποία οφείλεται σε λάθος ενέργεια στην γραμμή παραγωγής σε κάποιο ή κάποια από τα στάδιά της. Σε αυτή την μελέτη θεωρούμε ότι οι πρώτες ύλες, είτε πρόκειται για πρωτογενή υλικά όπως μεταξύ άλλων π.χ. οι κόκκοι

πολυπροπυλενίου, είτε για έτοιμα νήματα όπως τα νήματα πολυεστέρα, έχουν ήδη ελεγχθεί και είναι εντός προδιαγραφών και κατάλληλα για την παραγωγή σχοινιών ναυτιλίας.

3.2.1 Ανάλυση 1ου Σταδίου παραγωγής

Το πρώτο επίπεδο της ανάλυσης PFMEA, αφορά το πρώτο στάδιο παραγωγής, δηλαδή τα Extruders. Εδώ, εντοπίζουμε και καταγράφουμε 5 πιθανούς τρόπους αστοχίας, 5 πιθανές επιπτώσεις, και τις αντίστοιχες αιτίες για την εμφάνιση της κάθε αστοχίας.

Η λανθασμένη αναλογία πρώτων υλών (Extruder 1) για την παραγωγή νήματος πολυπροπυλενίου, αξιολογήθηκε ως αυτή με τον μεγαλύτερο δείκτη (S) 10, μιας και οδηγεί στην παραγωγή σχοινιών εκτός προδιαγραφών. Από την άλλη όμως, ήταν αυτή με τον μικρότερο δείκτη εμφάνισης (D) 1, συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες 4 αστοχίες αυτού του σταδίου παραγωγής.

Η βλάβη της αντίστασης για το λιώσιμο των πρώτων υλών σε κόκκους (Extruder 2), συγκέντρωσε το μικρότερο δείκτη RPN, 8. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όταν οι κόκκοι δεν λιώνουν, το μείγμα είναι αδύνατον να περάσει από τα καλούπια, η μηχανή υπερθερμαίνεται, με αποτέλεσμα ο αισθητήρας ελέγχου θερμοκρασίας και πίεσης να την σβήνει. Σε γενικές γραμμές είναι μία βλάβη που συμβαίνει σπάνια. Η συγκεκριμένη αστοχία εντοπίζεται εύκολα και με το μάτι, καθώς όπως ήδη αναφέραμε, όταν δεν λιώνουν οι κόκκοι, δεν σχηματίζεται νήμα στην έξοδο της μηχανής από τα καλούπια, το οποίο γίνεται αμέσως αντιληπτό από τον χειριστή.

Οι βλάβες στις γραμμές του πίνακα, Extruder 3, Extruder 4 και Extruder 5, έχουν σαν αποτέλεσμα την παραγωγή σχοινιών υποδεέστερης ποιότητας, όχι όμως εκτός προδιαγραφών. Η βλάβη του φούρνου αέρα (Extruder 5), βαθμολογήθηκε με τον μεγαλύτερο δείκτη εμφάνισης (O) 4, συγκριτικά με τις άλλες 4 βλάβες. Σε αυτό το σημείο της μηχανής το νήμα τανύζεται για να αυξήσει την αντοχή του, και προκειμένου να συμβεί αυτό χωρίς να σπάσει το νήμα, θα πρέπει ο φούρνος να είναι ζεστός και να έχει σταθερή θερμοκρασία. Το νήμα εξέρχεται από το καλούπι με διάμετρο 1.2mm, εισέρχεται στον φούρνο και όταν εξέρχεται από αυτόν έχει διάμετρο ≅ 0,2mm. Από τις 5 αστοχίες αυτού του σταδίου παραγωγής, η αστάθεια στην θερμοκρασία του νερού (Extruder 3), συγκέντρωσε το μεγαλύτερο RPN, 36.

3.2.2 Ανάλυση 2ου Σταδίου παραγωγής

Το αμέσως επόμενο στάδιο της μελέτης, αναφέρεται στο στάδιο παραγωγής 2, τις Μόνο-Τρίκλωνες μηχανές. Συνολικά 2 πιθανές αστοχίες έχουν καταγραφεί. Εκ των δύο, τον μεγαλύτερο δείκτη RPN, ίσο με 81, συγκέντρωσε η παραγωγή κλωσμάτων μικρότερου βάρους (Μόνο-Τρίκλωνες 1), που οφείλεται στους φθαρμένους κεραμικούς οδηγούς, και οδηγεί στην παραγωγή σχοινιών εκτός προδιαγραφών. Όταν οι κεραμικοί οδηγοί είναι φθαρμένοι, τα νήματα τρίβονται στα μεταλλικά μέρη της μηχανής με αποτέλεσμα να μειώνεται η μάζα τους και να έχουμε απώλεια βάρους στο παραγόμενο κλώσμα.
Η βλάβη στον ιμάντα κίνησης του μοτέρ της μηχανής (Μόνο-Τρίκλωνες 2), αποφέρει την παραγωγή κλωσμάτων διαφορετικών ποιοτικών χαρακτηριστικών από τα επιθυμητά, αλλά όχι εκτός προδιαγραφών. Πράγματι, όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 1 αυτής της εργασίας, νήματα τα οποία συστρέφονται περισσότερο σε σχέση με άλλα, τείνουν να έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην καταπόνηση από την τριβή. Ενώ νήματα λιγότερο συστραμμένα, τείνουν να έχουν μεγαλύτερο όριο θραύσης.

3.2.3 Ανάλυση 3ου Σταδίου παραγωγής

Στο στάδιο παραγωγής 3, στις Εμβολομηχανές, καταγράφονται επίσης 2 πιθανές αστοχίες με τα αντίστοιχα αίτια και τρόπους ελέγχου. Εδώ, τον μεγαλύτερο δείκτη RPN, συγκεντρώνει η βλάβη στον ιμάντα του μοτέρ (Εμβολομηχανές 2), όπως επίσης και τους μεγαλύτερους δείκτες (S) και (O), 72, 6 και 4 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά τον παραγόμενων σχοινιών, είναι ίδια με αυτά που περιγράψαμε προηγουμένως για τις Μόνο-Τρίκλωνες μηχανές και την αντίστοιχη βλάβη στον ιμάντα του μοτέρ (Μόνο-τρίκλωνες 2).
Η φθορά των ελατηρίων στο μεταλλικό ικρίωμα (Εμβολομηχανές 1), έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή εμβόλων με κλώσματα διαφορετικής τάνυσης . Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι όταν στο παραγόμενο σχοινί ασκηθεί τάση, αυτή δεν θα διαμοιράζεται εξίσου και ομοιόμορφα σε κάθε έμβολο, καθώς τα έμβολά που το αποτελούν, κάποια από αυτά θα έχουν πιο σφικτή πλέξη ενώ κάποια άλλα πιο χαλαρή.

3.2.4 Ανάλυση 4ου Σταδίου παραγωγής

Συνεχίζοντας την ανάλυση των πιθανών τρόπων αστοχίας και την καταγραφή τους στην μελέτη PFMEA, το ακόλουθο στάδιο παραγωγής είναι το 4, οι Πλεκτικές μηχανές. Εδώ έχουμε καταγράψει 3 πιθανούς τρόπους αστοχίας. Επίσης, καταγράφουμε την μία εκ των δύο συνολικά αστοχιών με δείκτη RPN 144 (η δεύτερη βρίσκεται στο στάδιο παραγωγής 5) , το όποιο είναι και το μεγαλύτερο καταγεγραμμένο νούμερο αυτής της μελέτης, αλλά και την πρώτη αστοχία με δείκτη (O), ίσο με 6, που είναι και ο μεγαλύτερος μέχρι τώρα, και που θα τον συναντήσουμε άλλη μία φορά στην συνέχεια στο στάδιο παραγωγής 5.

Ο μηχανισμός ρύθμισης τάσης αυτού του είδους μηχανών (Πλεκτικές μηχανές 1), αποτελείται από ένα σύστημα ελατηρίων ή βαριδιών. Όταν ο μηχανισμός λειτουργεί σωστά, τα έμβολα τανύζονται ομοιόμορφα και στο τέλος της διαδικασίας αυτής, το σχοινί που έχει παραχθεί έχει συμπαγή δομή και όλα εκείνα τα τεχνικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει σύμφωνα πάντα με την αντίστοιχη προδιαγραφή (πρώτη ύλη κατασκευής και το είδος πλέξης π.χ. 3, ή 4, ή 8, ή 12, ή 24 κλώνων σχοινί). Εάν ο μηχανισμός ρύθμισης τάσης δεν λειτουργεί σωστά, τότε τα έμβολα τανύζονται ανομοιόμορφα, με αποτέλεσμα όταν θα ασκηθεί τάση στο σχοινί, η τάση αυτή να κατανέμεται ανομοιόμορφα στα έμβολα και να υπάρξει πιθανό πρόβλημα ασφάλειας. Αυτός είναι και ο λόγος που η αστοχία αυτή βαθμολογήθηκε με δείκτη (S) 9.

Τα έμβολα που παράγονται στο στάδιο 3, τοποθετούνται στον μηχανισμό πλοκής της Πλεκτικής μηχανής (Πλεκτικές μηχανές 2). Ο μηχανισμός πλοκής βρίσκεται στην βάση της μηχανής, στο έδαφος, και αποτελείται από τις υποδοχές που τοποθετούμε με κατακόρυφο προσανατολισμό τα έμβολά του σταδίου 3, και ένα μηχανισμό κίνησης που κινεί περιστροφικά και κυκλικά τα έμβολα όταν η μηχανή είναι σε λειτουργεία. Για την σωστή λειτουργεία του μηχανισμού, αυτός θα πρέπει να συντηρείται και να γρασάρεται τακτικά και σωστά. Όταν ο μηχανισμός δεν λιπαίνεται σωστά, η συχνότητα περιστροφής είναι λάθος, το ίδιο επίσης και η δομή του σχοινιού. Ο δείκτης (S) αυτής της αστοχίας είναι 8 και ο δείκτης RPN 144.

Το τραβηχτικό αυτών των μηχανών ή αλλιώς Capstans (Πλεκτικές μηχανές 3), είναι ο μηχανισμός που όταν η μηχανή είναι σε λειτουργεία τραβάει τα έμβολα από τους μηχανισμούς πλοκής τα οποία περιστρέφονται, καθώς αυτά ξετυλίγονται και κάπως έτσι το σχοινί πλέκεται και σχηματίζεται. Όταν τα Capstans δεν λειτουργούν σωστά, οπότε τα

έμβολα δεν τραβιούνται με την σωστή ταχύτητα, το τελικό μήκος των σχοινιών διαφέρει από το επιθυμητό. Επειδή το σωστό μήκος σχοινιού είναι βασικό για το γρήγορο και απροβλημάτιστο δέσιμο των πάσης φύσεως πλοίων, η συγκεκριμένη αστοχία βαθμολογείται με δείκτη (S) 8.

3.2.5 Ανάλυση 5ου Σταδίου παραγωγής

Στο τελευταίο στάδιο παραγωγής, το στάδιο 5, Coating Heat setting, αξιολογούμε την εμφάνιση τριών πιθανών αστοχιών. Η πρώτη αξιολόγηση αστοχίας (Coating Heat setting machine 1) αφορά το ανεπαρκές στέγνωμα των σχοινιών που οφείλεται σε βλάβη του φούρνου υπέρυθρων. Τα σχοινιά σε αυτό το στάδιο επικαλύπτονται με χημική ουσία προκειμένου να προστατεύσουμε τα νήματα από την τριβή. Όταν η εμβάπτιση στο υγρό δεν γίνεται με σωστό τρόπο, σωρεύεται πλεονάζον υγρό στο σχοινί με αποτέλεσμα αυτή η ποσότητα να μην στεγνώνει στο επόμενο στάδιο. Εφόσον το υγρό δεν έχει στεγνώσει σωστά, μέρος της βαφής θα μεταφερθεί σε υλικά με τα οποία το σχοινί θα έρθει σε επαφή, π.χ. τα υλικά συσκευασίας του σχοινιού ή τα ράουλα τυλίγματος του σκάφους, με αποτέλεσμα το σχοινί να έχει κενά στην βαφή του και άρα ελλιπής προστασία. Ο δείκτης (O) για αυτή την αστοχία είναι 6 (ο δεύτερος με αυτή την τιμή) και ο RPN είναι 144 (ο δεύτερος με αυτή την τιμή).

Οι ακόλουθες δύο αστοχίες, Coating Heat setting machine 2 και Coating Heat setting machine 3, έχουν κατά πολύ μικρότερους δείκτες RPN, 36 και 60 αντίστοιχα. Η πιθανότητα όμως βλάβης στο μοτέρ αέρα του φούρνου (Coating Heat setting machine 3) βαθμολογήθηκε με (S) 10, επειδή η λάθος θερμοκρασία μπορεί είτε να οδηγήσει στο λιώσιμο του σχοινιού όταν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη, είτε να παραχθεί σχοινί με διαφορετικές προδιαγραφές από τις επιθυμητές όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη, και αυτό γιατί προκειμένου να σταθεροποιηθεί το UHMWPE και να έχει συγκεκριμένες ιδιότητες, πρέπει να θερμανθεί σε κατάλληλη θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

3.2.6 Διορθωτικές ενέργειες, δείκτης RPN

Οι διορθωτικές ενέργειες για όλες της καταγεγραμμένες αστοχίες, καταγράφονται στον πίνακα της μελέτης, όπως επίσης και ο βαθμός αποτελεσματικότητας τους με την καταγραφή του νέου δείκτη RPN ανά περίπτωση. Ευκολά διαπιστώνουμε την αποτελεσματικότητα του μηχανισμού καθώς σε όλες τις περιπτώσεις, πλην μιας, της αστοχίας ‘’Εμβολομηχανές 1’’, οι νέοι δείκτες RPN μειώνονται και μάλιστα στις περισσότερες των περιπτώσεων σε μεγάλο βαθμό. Σχολιάζοντας επίσης τα ευρήματα της ερευνάς μας αξίζει να σημειωθεί ότι όλοι η δείκτες RPN, μετά την εφαρμογή των διορθωτικών ενεργειών, είναι πολύ κάτω του 130, που είναι και το όριο του συγκεκριμένου δείκτη για να θεωρηθεί αποδεκτός, ενώ δεν εντοπίσαμε κανένα δείκτη RPN, πριν από τις διορθωτικές ενέργειες, με τιμή από 900 και πάνω ώστε να θεωρηθεί μη αποδεκτός. Σε γενικές γραμμές όλοι οι δείκτες RPN, πριν τις διορθωτικές ενέργειες αλλά και μετά από αυτές, κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα.

3.2.7 Παρουσίαση ευρημάτων Μελέτης Αστοχίας

Στον Πίνακα 2 της μελέτης PFMEA που ακολουθεί, καταγράφονται τα ευρήματά μας και όλα όσα σχολιάστηκαν παραπάνω.

Στάδιο Παραγωγής	Πιθανός Τρόπος Αστοχίας	Πιθανές Επιπτώσεις Αστοχίας	(S)	Πιθανά Αίτια Αστοχίας	(O)	Τρόποι Ελέγχου που Χρησιμοποιούνται	(D)	**RPN**	Διορθωτική Ενέργεια	**RPN** μετά την Διορθωτική Ενέργεια (SxOxD)
Extruder 1	Λανθασμένη αναλογία πρώτων υλών	Εκτός προδιαγραφών σχοινί	10	Βλάβη δοσομετρητή	1	Ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου	2	20	Βαθμονόμηση δοσομετρητή ανά τρίμηνο	10x1x1=10
Extruder 2	Δεν γίνεται τήγμα το μίγμα πρώτων υλών	Δεν περνάει το μίγμα από τον κοχλία, αύξηση πίεσης, σταματάει η μηχανή	2	Βλάβη στην αντίσταση θέρμανσης	2	Ενσωματωμένος αισθητήρας ελέγχου	2	8	Ετήσια επιθεώρηση/συντήρηση αντίστασης και αισθητήρα	1x2x2=4
Extruder 3	Διακύμανση θερμοκρασίας νερού	Υποδιέστερης ποιότητας νήμα	6	Βλάβη στο σύστημα ρύθμισης θερμοκρασίας	3	Ενσωματωμένος αισθητήρας ελέγχου θερμοκρασίας	2	36	Ετήσια επιθεώρηση/συντήρηση συστήματος	6x2x2=24
Extruder 4	Βρεγμένα νήματα, όχι στεγνά	Πτώση ποιότητας νήματος	2	Μη έγκαιρη αντικατάσταση σπόγγων αποστράγγισης	3	Αντικατάσταση σπόγγων ανά οκτάωρο	3	18	Αντικατάσταση σπόγγων ανά έξι ώρες	2x2x2=8
Extruder 5	Χαμηλή θερμοκρασία στον φούρνο αέρα	Πτώση ποιότητας νήματος	3	Βλάβη φούρνου	4	Ενσωματωμένος αισθητήρας θερμοκρασίας	2	24	Ετήσιος έλεγχος/συντήρηση φούρνου και αισθητήρα	3x3x2=18

Μόνο-Τρίκλωνες 1	Παραγωγή κλώσματος μικρότερου βάρους	Εκτός προδιαγραφών κλώσμα	9	Φθορά κεραμικών οδηγών	3	Οπτικός έλεγχος οδηγού σε κάθε βάρδια	3	81	Έλεγχος/αντικατάσταση οδηγών ανά τρίμηνο, καθημερινός δειγματοληπτικός έλεγχος κλωσμάτων	9x2x2=36
Μόνο-Τρίκλωνες 2	Λιγότερες στρέψεις νημάτων	Κλώσματα διαφορετικών ποιοτήτων	8	Φθορά ιμάντα κίνησης μοτέρ	3	Έλεγχος/αντικατάσταση ιμάντα ανά οκτάμηνο	3	72	Έλεγχος/αντικατάσταση ιμάντα ανά εξάμηνο	8x2x1=16
Εμβολομηχανές 1	Διαφορετικές τιμές αντίστασης από μπομπίνα σε μπομπίνα στο ικρίωμα	Έμβολα με διαφορετική τάνυση κλωσμάτων	5	Φθορά ελατηρίου μεταλλικής πλάκας	2	Ετήσιος έλεγχος/αντικατάσταση ελατηρίου	3	30	Ετήσιος έλεγχος/αντικατάσταση ελατηρίου	5x2x3=30
Εμβολομηχανές 2	Λιγότερες στρέψεις κλωσμάτων	Έμβολα διαφορετικών ποιοτήτων	6	Φθορά ιμάντα κίνησης μοτέρ	4	Έλεγχος/αντικατάσταση ιμάντα ανά οκτάμηνο	3	72	Έλεγχος/αντικατάσταση ιμάντα ανά εξάμηνο	6x3x1=18
Πλεκτικές μηχανές 1	Ανομοιόμορφη τάνυση εμβόλων	Ανομοιόμορφη κατανομή φορτίων στο σχοινί	9	Βλάβη μηχανισμού ρύθμισης τάσης	3	Έλεγχος/συντήρηση μηχανισμού ανά εξάμηνο	4	108	Έλεγχος/συντήρηση μηχανισμού ανά τρίμηνο	9x2x2=36
Πλεκτικές μηχανές 2	Λάθος συχνότητα περιστροφής, εμβολοδόχου πλάκας (μηχ/σμός πλοκής)	Ανομοιόμορφη κατανομή φορτίων στο σχοινί	8	Λάθος/ελλιπής λίπανση μηχανισμού	6	Λίπανση μηχανισμού ανά μήνα	3	144	Λίπανση μηχανισμού ανά εβδομάδα	8x3x2=48

Πλεκτικές μηχανές 3	Λάθος μήκος σχοινιού	Ποιοτική υποβάθμιση σχοινιού	8	Βλάβη τραβηχτικών (Capstans)	3	Ετήσιος έλεγχος/συντήρηση μηχανισμού	3	72	Έλεγχος/συντήρηση μηχανισμού ανά εξάμηνο	8x2x2=32
Coating-Heat Setting machine 1	Ανεπαρκής στέγνωμα σχοινιού	Ποιοτική υποβάθμιση σχοινιού	6	Βλάβη στον φούρνου υπέρυθρων	6	Ετήσιος έλεγχος/συντήρηση μοτέρ αέρα	4	144	Έλεγχος/συντήρηση φούρνου υπέρυθρων ανά οκτάμηνο Δειγματοληπτικός έλεγχος.	6x3x2=36
Coating-Heat Setting machine 2	Μεγαλύτερη ή μικρότερη διάμετρος σχοινιού	Μειωμένη απόδοση σχοινιού	6	Βλάβη δυναμοκυψέλης τάνυσης	3	Ετήσια βαθμονόμηση συστήματος	2	36	Βαθμονόμηση συστήματος ανά οκτάμηνο	6x2x1=12
Coating-Heat Setting machine 3	Λιωμένο σχοινί ή σχοινί με διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά	Εκτός προδιαγραφών προϊόν	10	Βλάβη στο μοτέρ αέρα του φούρνου	3	Ετήσιος έλεγχος/συντήρηση μοτέρ αέρα	2	60	Έλεγχος/συντήρηση μοτέρ αέρα ανά οκτάμηνο	10x2x2=40

Πίνακας 2 Μελέτη αστοχιών (PFMEA)

3.3 Αξιολόγηση δεικτών RPN

Η προσεκτική εξέταση των Αριθμών Προτεραιότητας Κινδύνου ή αλλιώς RPN, βοηθά στον εντοπισμό εκείνων των δραστηριοτήτων που θα πρέπει να αξιολογηθούν πρώτα και να καθοριστούν οι ανάλογες διορθωτικές ενέργειες για τον περιορισμό ή την εξάλειψη των αστοχιών. Διαπιστώνουμε ότι οι δείκτες RPN με τιμές, 144 (Πλεκτικές μηχανές 2), 144 (Coating – Heat Setting machine 1), 108 (Πλεκτικές μήχανες 1) και 81 (Μόνο – Τρίκλωνες 1), ευθύνονται για το 50% περίπου των πιθανών εμφανιζόμενων επικίνδυνων καταστάσεων. Να αναφέρουμε πάλι σε αυτό το σημείο ότι πριν τις διορθωτικές ενέργειες, κανένας δείκτης RPN δεν βρέθηκε πάνω από 900, το αντίθετο οι δύο μεγαλύτεροι είναι 144, και ως εκ τούτου δεν τίθεται σοβαρό θέμα για πιθανή εμφάνιση επικίνδυνης αστοχίας σε όρους ασφάλειας. Σε κάθε όμως περίπτωση, οι τέσσερις παραπάνω αστοχίες, όπως αυτές καταδεικνύονται από τον Πίνακα 2, συγκέντρωσαν τους μεγαλύτερους δείκτες, και θα πρέπει πρώτα για αυτές να καθοριστούν διορθωτικές ενέργειες.

Από τον Πίνακα 2 βλέπουμε επίσης ότι, για πιθανός επικίνδυνες εμφανιζόμενες αστοχίες προϊόντος, σε ποσοστό 35% περίπου, ευθύνονται οι Πλεκτικές μηχανές και ακολουθεί με ποσοστό 30% περίπου η μηχανή του σταδίου Coating – Heat Setting. Τα δύο αυτά στάδια παραγωγής αθροίζουν στο 65% περίπου. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί με το προηγούμενο, όπου και εκεί οι τρεις μεγαλύτεροι δείκτες ήταν των σταδίων παραγωγής 4 (Πλεκτικές μηχανές) και 5 (Coating – Heat Setting machines).

Μετά την εφαρμογή των διορθωτικών ενεργειών, είναι εμφανής η πτώση των δεικτών RPN. Όπως και προηγουμένως, πάλι οι Πλεκτικές μηχανές και η μηχανή του σταδίου Coating – Heat setting, ευθύνονται περισσότερο από τις υπόλοιπες για την ενδεχόμενη εμφάνιση αστοχιών, τώρα όμως με αρκετά μειωμένες πιθανότητες.

4. Ανάλυση της Αξιοπιστίας των μηχανών παραγωγής

4.1 Κατανομή μηχανών στην γραμμή παραγωγής

Η γραμμή παραγωγής αποτελείται από 66 μηχανές συνολικά , οι οποίες κατανέμονται στα 5 στάδια παραγωγής που περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 2. Με τα στάδια του πλεξίματος των γασσών και της συσκευασίας του τελικού προϊόντος δεν θα ασχοληθούμε σε αυτή την μελέτη. Στον Πίνακα 3 που ακολουθεί βλέπουμε πως κατανέμονται οι μηχανές ανά παραγωγικό στάδιο, τον εσωτερικό κωδικό αναγνώρισης της κάθε μηχανής, την χώρα προέλευσης αυτής και το έτος κατασκευής της.

Πίνακας 3 Κατανομή μηχανών στην γραμμή παραγωγής

Α/Α	Στάδιο Παραγωγής	Τύπος Μηχανής	Εσωτερικός Κωδικός	Χώρα Προέλευσης	Έτος κατασκευής
1	1	EXTRUDER	EXTR001	GERMANY	1991
2	1	EXTRUDER	EXTR002	TAIWAN	2004
3	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T301	DENMARK	2018
4	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T302	DENMARK	2018
5	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T303	DENMARK	2017
6	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T304	DENMARK	2017
7	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T305	DENMARK	2017
8	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T306	DENMARK	2017
9	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T307	DENMARK	2017
10	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T308	DENMARK	2017
11	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T309	DENMARK	2019
12	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T310	DENMARK	2019
13	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T311	DENMARK	2019
14	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T312	DENMARK	2019
15	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T313	DENMARK	2020
16	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T314	DENMARK	2020
17	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T315	DENMARK	2020
18	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T316	DENMARK	2020
19	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T317	DENMARK	2020
20	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T318	DENMARK	2020
21	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T319	DENMARK	2020
22	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	T320	DENMARK	2020
23	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	GS2001	ITALY	2016
24	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	GS2002	ITALY	2016
25	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	GS2016	ITALY	2016
26	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	GS2017	ITALY	2016
27	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	I001	SPAIN	2015
28	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	I002	SPAIN	2001
29	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	I003	SPAIN	2004

30	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	MTP100	INDIA	2019
31	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	MTP101	INDIA	2019
32	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	M001	GERMANY	1992
33	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	M003	KOREA	2004
34	2	ΜΟΝΟ-ΤΡΙΚΛΩΝΕΣ	M005	KOREA	2008
35	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E001	GERMANY	1992
36	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E002	GERMANY	1992
37	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E003	GERMANY	2000
38	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E004	TAIWAN	2000
39	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E005	GERMANY	2008
40	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E006	PORTUGAL	2016
41	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E007	PORTUGAL	2016
42	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E008	INDIA	2019
43	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E009	INDIA	2019
44	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E010	PORTUGAL	2019
45	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	E011	INDIA	2019
46	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	W001	GERMANY	2001
47	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	W002	GERMANY	2008
48	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	W003	GERMANY	2020
49	3	ΕΜΒΟΛΟΜΗΧΑΝΕΣ	W004	GERMANY	2020
50	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π001	GERMANY	1991
51	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π002	GERMANY	2001
52	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π003	GERMANY	2004
53	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π004	SPAIN	2016
54	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π005	GERMANY	2019
55	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π006	GERMANY	2006
56	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π007	TAIWAN	2019
57	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π008	GERMANY	2016
58	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π009	GERMANY	2007
59	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π010	TAIWAN	2019
60	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π011	SPAIN	2004
61	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π012	GERMANY	2007
62	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π013	TAIWAN	2019
63	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π014	DENMARK	1997
64	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π015	DENMARK	1997
65	4	ΠΛΕΚΤΡΕΣ	Π016	DENMARK	1998
66	5	Coating – Heat Seating	MP ROCK B	DENMARK	2010

4.2 Καταγραφή βλαβών μηχανών παραγωγής

Οι καταγεγραμμένες βλάβες στις οποίες βασιζόμαστε για το υπολογισμό της αξιοπιστίας, προέρχονται από ενδοεταιρικά δεδομένα συντήρησης. Η καταγραφή των βλαβών έχει γίνει για χρονική περίοδο 11 ετών, από το 2012 έως και το 2022. Κατά την διάρκεια της καταγραφής, οι μηχανές συντηρούνται κανονικά, στα προβλεπόμενα από το πρόγραμμα συντήρησης χρονικά διαστήματα, και όταν προκύπτει κάποια βλάβη, η εκάστοτε μηχανή επισκευάζεται το ταχύτερο δυνατό προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα διαστήματα ακινησίας της μηχανής. Να αναφερθεί επίσης ότι από την πρώτη ημέρα καταγραφής, όλες οι μηχανές λειτουργούν κανονικά και χωρίς πρόβλημα. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι βλάβες με την σειρά καταγραφής τους, την ημερομηνία εμφάνισής τους, τον εσωτερικό κωδικό της μηχανής που παρουσίασε βλάβη, και τον χρόνο ακινησίας της μηχανής. Ως ημέρα καταγραφής, ορίζουμε την ημέρα που εμφανίζεται η βλάβη από το σύνολο τον ημέρων που διαρκεί η καταγραφή μας. Επειδή καταγράφουμε για χρονική περίοδο 11 ετών, από το 2012 έως και το 2022, το άθροισμα των ημερολογιακών ημέρων που αντιστοιχεί σε αυτά τα έτη είναι 4.018 ημέρες. Ως εσωτερικό κωδικό μηχανής, ορίζουμε τον σύντομο συνδυασμό γραμμάτων και αριθμός με σκοπό να ξεχωρίζουμε τις μηχανές παραγωγής μεταξύ τους.

Πίνακας 4 Καταγραφή βλαβών μηχανών παραγωγής

Ημέρα Καταγραφής	Έτος Καταγραφής	Α/Α	Ημερομηνία Βλάβης	Μηχανή	Χρόνος Ακινησίας (ώρες)
13	2012	1/2012	13/1/2012	Ι002	72
16	2012	2/2012	16/1/2012	Π001	4
11	2012	3/2012	11/1/2012	Π002	1,5
16	2012	4/2012	16/1/2012	Ε002	48
44	2012	5/2012	13/2/2012	EXTR002	15
59	2012	6/2012	28/2/2012	Ε001	48
86	2012	7/2012	26/3/2012	EXTR001	24
132	2012	11/2012	11/5/2012	Ε003	48
125	2012	12/2012	18/5/2012	Ε003	60
264	2012	13/2012	20/9/2012	EXTR001	27

277	2012	14/2012	3/10/2012	Π001	240
314	2012	16/2012	9/11/2012	E003	35
409	2013	1/2013	12/2/2013	M001	4
577	2013	2/2013	30/7/2013	EXTR001	265
619	2013	3/2013	10/9/2013	Π001	96
625	2013	4/2013	16/9/2013	ROCK B	240
633	2013	5/2013	24/9/2013	E001	10
662	2013	6/2013	23/10/2013	Π001	3
671	2013	7/2013	5/11/2013	Π002	48
675	2013	8/2013	1/11/2013	Π002	1
745	2014	1/2014	14/1/2014	EXTR001	48
843	2014	2/2014	22/4/2014	EXTR001	35
851	2014	3/2014	30/4/2014	Π001	2
978	2014	4/2014	4/9/2014	E004	5
1160	2015	1/2015	5/3/2015	EXTR001	50
1161	2016	9/2015	6/3/2015	M005	48
1203	2015	2/2015	17/4/2015	Π001	48
1259	2015	3/2015	12/6/2015	E001	57
1378	2015	4/2015	9/10/2015	ROCK B	35
1444	2015	5/2015	14/12/2015	EXTR001	7
1479	2016	1/2016	18/1/2016	Π001	6
1500	2016	2/2016	8/2/2016	T301	70
1502	2016	3/2016	10/2/2016	M003	48
1697	2016	5/2016	23/8/2016	Π002	4
1700	2016	6/2016	26/8/2016	Π002	18
1749	2016	7/2016	17/10/2016	E006	33
1752	2016	8/2016	14/10/2016	Π001	1,5
1872	2017	1/2017	14/2/2017	E004	3
1906	2017	2/2017	20/3/2017	I002	840
1954	2017	3/2017	7/5/2017	M003	120
1978	2017	4/2017	31/5/2017	EXTR001	120
2003	2017	5/2017	25/6/2017	Π015	0,5
2071	2017	6/2017	1/9/2017	Π014	0,5
2098	2017	7/2017	28/9/2017	EXTR001	23
2270	2018	1/2018	19/3/2018	Π003	24
2271	2018	2/2018	20/3/2018	E001	2
2295	2018	3/2018	13/4/2018	Π015	48
2295	2018	4/2018	13/4/2018	E006	240

2312	2018	5/2018	30/4/2018	Π003	4
2319	2018	6/2018	7/5/2018	Π001	24
2336	2018	7/2018	24/5/2018	Ε006	5
2347	2018	8/2018	4/6/2018	Π002	24
2353	2018	9/2018	10/6/2018	Ε006	480
2373	2018	10/2018	30/6/2018	EXTR001	6
2378	2018	11/2018	5/7/2018	Π002	15
2445	2018	12/2018	10/9/2018	EXTR001	18
2450	2018	13/2018	16/9/2018	GS2001-6458	14
2451	2018	14/2018	15/9/2018	EXTR001	72
2481	2018	15/2018	16/10/2018	GS2001-6458	0,5
2501	2018	16/2018	5/11/2018	ROCK B	4
2516	2018	17/2018	20/11/2018	Ε001	8
2517	2018	18/2018	21/11/2018	Ε002	8
2571	2019	1/2019	14/1/2019	Ε006	480
2593	2019	2/2019	5/2/2019	Ε007	300
2630	2019	3/2019	14/3/2019	Π001	6
2753	2019	4/2019	15/7/2019	EXTR001	36
2932	2020	1/2020	10/1/2020	EXTR002	100
2937	2020	2/2020	15/1/2020	EXTR001	150
3034	2020	3/2020	21/4/2020	Ε007	48
3046	2020	4/2020	3/5/2020	Ε006	72
3058	2020	5/2020	15/5/2020	Ε001	24
3118	2020	6/2020	14/7/2020	Ε007	12
3145	2020	7/2020	10/8/2020	Π001	24
3173	2020	8/2020	7/9/2020	EXTR001	16
3247	2020	9/2020	20/11/2020	Ε006	192
3265	2020	10/2020	8/12/2020	Ι002	240
3281	2020	11/2020	24/12/2020	Ε007	72
3295	2021	2/2021	7/1/2021	EXTR001	24
3302	2021	3/2021	14/1/2021	Π001	48
3300	2021	4/2021	12/1/2021	EXTR001	10
3347	2021	5/2021	15/2/2021	Τ316	10
3355	2021	6/2021	8/3/2021	EXTR001	50
3358	2021	7/2021	11/3/2021	Π015	2
3358	2021	8/2021	11/3/2021	Π004	120

3370	2021	9/2021	23/3/2021	E006	120
3372	2021	10/2021	25/3/2021	Π005	120
3397	2021	11/2021	19/4/2021	E010	192
3415	2021	12/2021	7/5/2021	I003	504
3420	2021	13/2021	12/5/2021	E007	24
3420	2021	14/2021	12/5/2021	Π014	96
3433	2021	15/2021	25/5/2021	EXTR001	8
3453	2021	16/2021	14/6/2021	Π005	24
3470	2021	17/2021	1/7/2021	E001	24
3470	2021	18/2021	1/7/2021	E007	24
3727	2022	1/2022	11/4/2022	I003	8
3750	2022	2/2022	7/4/2022	Π001	3
3750	2022	3/2022	7/4/2022	Π001	5
3754	2022	4/2022	15/3/2022	E004	48
3755	2022	6/2022	12/4/2022	E001	72
3756	2022	7/2022	18/4/2022	E004	72
3761	2022	8/2022	13/4/2022	E007	24
3784	2022	9/2022	11/5/2022	Π016	72
3785	2022	10/2022	12/5/2022	Π005	24
3820	2022	11/2022	16/6/2022	E006	24
3820	2022	12/2022	16/6/2022	E007	24
3904	2022	13/2022	8/9/2022	E007	128
3905	2022	14/2022	9/9/2022	T304	76
3936	2022	15/2022	10/10/2022	E007	24
3936	2022	16/2022	10/10/2022	Π005	0,5

4.3 Αντιστοίχιση βλαβών ανά μηχανή & ανά στάδιο παραγωγής

Στον Πίνακα 5, ομαδοποιούμε τις μηχανές και τις βλάβες τους, βάσει των σταδίων παραγωγής 1, 2, 3, 4 και 5. Αυτό θα μας βοηθήσει τους υπολογισμούς που ακολουθούν.

Πίνακας 5 Αντιστοίχιση βλαβών ανά μηχανή & ανά στάδιο παραγωγής

Ημέρα Καταγραφής	Έτος Καταγραφής	Α/Α	Ημερομηνία Βλάβης	Μηχανή	Χρόνος Ακινησίας (ώρες)
86	2012	7/2012	26/3/2012	EXTR001	24
264	2012	13/2012	20/9/2012	EXTR001	27
577	2013	2/2013	30/7/2013	EXTR001	265
745	2014	1/2014	14/1/2014	EXTR001	48
843	2014	2/2014	22/4/2014	EXTR001	35
1160	2015	1/2015	5/3/2015	EXTR001	50
1444	2015	5/2015	14/12/2015	EXTR001	7
1978	2017	4/2017	31/5/2017	EXTR001	120
2098	2017	7/2017	28/9/2017	EXTR001	23
2373	2018	10/2018	30/6/2018	EXTR001	6
2445	2018	12/2018	10/9/2018	EXTR001	18
2451	2018	14/2018	15/9/2018	EXTR001	72
2753	2019	4/2019	15/7/2019	EXTR001	36
2937	2020	2/2020	15/1/2020	EXTR001	150
3173	2020	8/2020	7/9/2020	EXTR001	16
3295	2021	2/2021	7/1/2021	EXTR001	24
3300	2021	4/2021	12/1/2021	EXTR001	10
3355	2021	6/2021	8/3/2021	EXTR001	50
3433	2021	15/2021	25/5/2021	EXTR001	8
44	2012	5/2012	13/2/2012	EXTR002	15
2932	2020	1/2020	10/1/2020	EXTR002	100
1500	2016	2/2016	8/2/2016	T301	70
3905	2022	14/2022	9/9/2022	T304	76
3347	2021	5/2021	15/2/2021	T316	10
2450	2018	13/2018	16/9/2018	GS2001-6458	14
2481	2018	15/2018	16/10/2018	GS2001-6458	0,5
13	2012	1/2012	13/1/2012	I002	72
1906	2017	2/2017	20/3/2017	I002	840
3265	2020	10/2020	8/12/2020	I002	240
3415	2021	12/2021	7/5/2021	I003	504
3727	2022	1/2022	11/4/2022	I003	8
409	2013	1/2013	12/2/2013	M001	4

1502	2016	3/2016	10/2/2016	M003	48
1954	2017	3/2017	7/5/2017	M003	120
1161	2016	9/2015	6/3/2015	M005	48
59	2012	6/2012	28/2/2012	E001	48
633	2013	5/2013	24/9/2013	E001	10
1259	2015	3/2015	12/6/2015	E001	57
2271	2018	2/2018	20/3/2018	E001	2
2516	2018	17/2018	20/11/2018	E001	8
3058	2020	5/2020	15/5/2020	E001	24
3470	2021	17/2021	1/7/2021	E001	24
3755	2022	6/2022	12/4/2022	E001	72
16	2012	4/2012	16/1/2012	E002	48
2517	2018	18/2018	21/11/2018	E002	8
132	2012	11/2012	11/5/2012	E003	48
125	2012	12/2012	18/5/2012	E003	60
314	2012	16/2012	9/11/2012	E003	35
978	2014	4/2014	4/9/2014	E004	5
1872	2017	1/2017	14/2/2017	E004	3
3754	2022	4/2022	15/3/2022	E004	48
3756	2022	7/2022	18/4/2022	E004	72
1749	2016	7/2016	17/10/2016	E006	33
2295	2018	4/2018	13/4/2018	E006	240
2336	2018	7/2018	24/5/2018	E006	5
2353	2018	9/2018	10/6/2018	E006	480
2571	2019	1/2019	14/1/2019	E006	480
3046	2020	4/2020	3/5/2020	E006	72
3247	2020	9/2020	20/11/2020	E006	192
3370	2021	9/2021	23/3/2021	E006	120
3820	2022	11/2022	16/6/2022	E006	24
2593	2019	2/2019	5/2/2019	E007	300
3034	2020	3/2020	21/4/2020	E007	48
3118	2020	6/2020	14/7/2020	E007	12
3281	2020	11/2020	24/12/2020	E007	72
3420	2021	13/2021	12/5/2021	E007	24
3470	2021	18/2021	1/7/2021	E007	24
3761	2022	8/2022	13/4/2022	E007	24
3820	2022	12/2022	16/6/2022	E007	24
3904	2022	13/2022	8/9/2022	E007	128

3936	2022	15/2022	10/10/2022	E007	24
3397	2021	11/2021	19/4/2021	E010	192
16	2012	2/2012	16/1/2012	Π001	4
277	2012	14/2012	3/10/2012	Π001	240
619	2013	3/2013	10/9/2013	Π001	96
662	2013	6/2013	23/10/2013	Π001	3
851	2014	3/2014	30/4/2014	Π001	2
1203	2015	2/2015	17/4/2015	Π001	48
1479	2016	1/2016	18/1/2016	Π001	6
1752	2016	8/2016	14/10/2016	Π001	1,5
2319	2018	6/2018	7/5/2018	Π001	24
2630	2019	3/2019	14/3/2019	Π001	6
3145	2020	7/2020	10/8/2020	Π001	24
3300	2021	3/2021	14/1/2021	Π001	48
3750	2022	2/2022	7/4/2022	Π001	3
3750	2022	3/2022	7/4/2022	Π001	5
11	2012	3/2012	11/1/2012	Π002	1,5
671	2013	7/2013	5/11/2013	Π002	48
675	2013	8/2013	1/11/2013	Π002	1
1697	2016	5/2016	23/8/2016	Π002	4
1700	2016	6/2016	26/8/2016	Π002	18
2347	2018	8/2018	4/6/2018	Π002	24
2378	2018	11/2018	5/7/2018	Π002	15
2270	2018	1/2018	19/3/2018	Π003	24
2312	2018	5/2018	30/4/2018	Π003	4
3358	2021	8/2021	11/3/2021	Π004	120
3372	2021	10/2021	25/3/2021	Π005	120
3453	2021	16/2021	14/6/2021	Π005	24
3785	2022	10/2022	12/5/2022	Π005	24
3936	2022	16/2022	10/10/2022	Π005	0,5
2071	2017	6/2017	1/9/2017	Π014	0,5
3420	2021	14/2021	12/5/2021	Π014	96
2003	2017	5/2017	25/6/2017	Π015	0,5
2295	2018	3/2018	13/4/2018	Π015	48
3358	2021	7/2021	11/3/2021	Π015	2
3784	2022	9/2022	11/5/2022	Π016	72
625	2013	4/2013	16/9/2013	ROCK B	240
1378	2015	4/2015	9/10/2015	ROCK B	35

2501	2018	16/2018	5/11/2018	ROCK B	4

Εάν συγκρίνουμε τον πίνακα 3 με τους πίνακες 4 και 5, θα διαπιστώσουμε ότι δεν έχουμε καταγραφή βλάβης για όλες τις μηχανές του εργοστασίου, και αυτό γιατί απλά κάποιες μηχανές δεν παρουσίασαν καμία βλάβη σε αυτά τα 11 έτη για τα οποία έχουμε δεδομένα. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, τα δεδομένα που χρησιμοποιούμε προέρχονται από ενδοεταιρικά δεδομένα συντήρησης, τα οποία αντιστοιχούν σε καταμέτρηση του αριθμού των βλαβών κάθε μηχανής για τα στάδια παραγωγής που αφορά αυτή η μελέτη και έχουμε ήδη περιγράψει. Αυτής της μορφής τα δεδομένα, ανήκουν στην κατηγορία των ποσοτικών (ή αριθμητικών) δεδομένων καταμέτρησης (count data).

4.4 Ορισμός Αξιοπιστίας

‘’Αξιοπιστία είναι η πιθανότητα ένα εξάρτημα, μία συσκευή ή ένα σύστημα να πραγματοποιήσει την προκαθορισμένη αποστολή του, χωρίς αποτυχίες, για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, όταν λειτουργεί σωστά σ’ ένα καθορισμένο περιβάλλον.’’
(Ιωάννης Μπακούρος, Αξιοπιστία και Συντήρηση, 2002).
Είθισται να αναπαριστούμε τις πιθανότητες σαν κλάσματα της μονάδας. Οπότε, πιθανότητα ίση με την μονάδα σημαίνει απόλυτη βεβαιότητα, ενώ πιθανότητα ίση με το μηδέν μεταφράζεται σε σίγουρη αποτυχία. Για οποιαδήποτε συσκευή, ή εξάρτημα, ή σύστημα, που μπορεί είτε να λειτουργεί είτε να βρίσκεται σε εκτός λειτουργίας κατάσταση, και που μόνο αυτές είναι οι δύο πιθανές καταστάσεις, το άθροισμα της πιθανότητας να λειτουργεί (R) και της πιθανότητας να μην λειτουργεί (βλάβη) (F), ισούται εξ’ ορισμού με την μονάδα. Δηλαδή: $R + F = 1$

4.5 Υπολογισμός Αξιοπιστίας (R)

Επειδή κάθε ένα από τα 5 στάδια παραγωγής μπορεί να επιτελέσει τον ρόλο του, έστω και εάν λειτουργεί μόνο 1 μηχανή από τις n συνολικά μηχανές του κάθε σταδίου, θεωρούμε ότι οι μηχανές συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους σε κάθε στάδιο, και ότι αυτό ισχύει και για τα 5 στάδια παραγωγής. Σε κάθε στάδιο παραγωγής μόνο δύο καταστάσεις μπορεί να

συμβούν, λειτουργία ή αποτυχία (βλάβη). Επομένως, ορίζουμε R_S την πιθανότητα να λειτουργεί το στάδιο (αξιοπιστία), δηλαδή να δουλεύει έστω και μία μηχανή, και F_S την πιθανότητα να έχουμε αποτυχία (βλάβη) του συστήματος, δηλαδή να μην δουλεύει καμία μηχανή. Επίσης, για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας R_S και της αναξιοπιστίας F_S του συστήματος και των υποσυστημάτων του, θα κάνουμε χρήση των παρακάτω τύπων:

(4.1) $R + F = 1$ (Ιωάννης Μπακούρος, Αξιοπιστία και Συντήρηση, 2002).

(4.2) $F_S = F_1 \times F_2 \times F_n$ (τύπος υπολογισμού για συστήματα σε παράλληλη διάταξη) (Ιωάννης Μπακούρος, Αξιοπιστία και Συντήρηση, 2002).

(4.3) $R_S = 1 - F_S$ (τύπος υπολογισμού για συστήματα σε παράλληλη διάταξη) (Ιωάννης Μπακούρος, Αξιοπιστία και Συντήρηση, 2002).

4.6 Στατιστικός έλεγχος κατανομής δεδομένων

4.6.1 1ος Στατιστικός έλεγχος κατανομής δεδομένων – γραμμή παραγωγής (συστήματος)

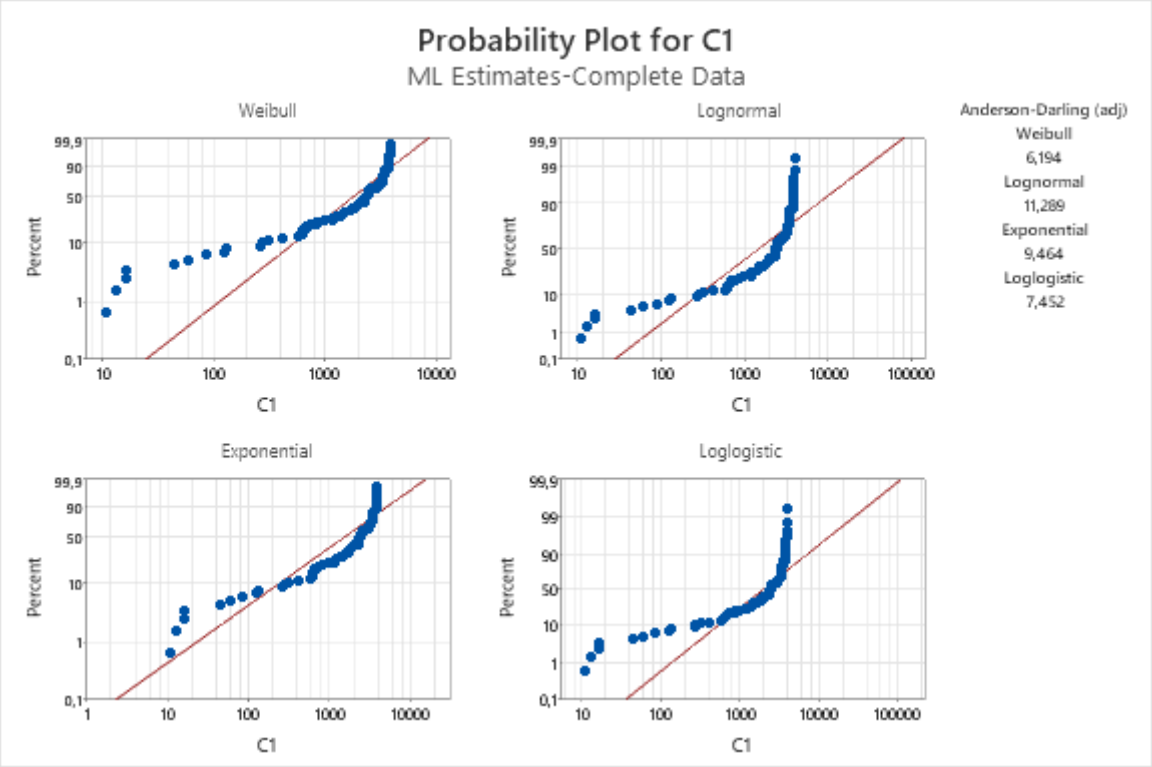
Προκειμένου να ελέγξουμε πιο είδος καμπύλης περιγράφει καλύτερα την κατανομή της διάρκειας ζωής και την κατανομή των αποτυχιών (βλαβών) του συστήματος και των υποσυστημάτων του, θα χρησιμοποιήσουμε το στατιστικό πακέτο Minitab 2021. Από τα αποτελέσματα αυτού του ελέγχου θα προκύψει η κατάλληλη κατανομή και οι αντίστοιχες συναρτήσεις υπολογισμού της αξιοπιστίας και ρυθμού βλαβών. Για τον σκοπό αυτό, εισάγουμε στην στήλη C1, στο φύλλο εργασίας του Minitab, τις ημέρες καταγραφής βλαβών της πρώτης στήλης, του πίνακα 4. Τα αποτελέσματα του έλεγχου ‘’Distribution ID Plot’’ παρουσιάζοναται αναλυτικά στο Παράρτημα Α. Παρακάτω βλέπουμε τις υπολογισμένες τιμές της συνάρτησης ελέγχου των Anderson – Darling από τον συγκεκριμένο έλεγχο και τα πρώτα τέσσερα διαγράμματα πιθανότητας.

Πίνακας 6 Τιμές συνάρτησης Anderson – Darling 1ου ελέγχου κατανομής δεδομένων

Goodness-of-Fit

Distribution	**Anderson-Darling (adj)**
Weibull	6,194
Lognormal	11,289
Exponential	9,464
Loglogistic	7,452
3-Parameter Weibull	1,864
3-Parameter Lognormal	2,582
2-Parameter Exponential	9,471
3-Parameter Loglogistic	2,331
Smallest Extreme Value	1,838
Normal	2,553
Logistic	2,298

Εικόνα 12 Διαγράμματα πιθανότητας 1ου ελέγχου κατανομής δεδομένων



Οι σχετικά υψηλές τιμές της στατιστικής συνάρτησης ελέγχου Anderson – Darling, δείχνουν ότι τα δεδομένα μας δεν προσαρμόζονται ικανοποιητικά σε καμία από τις 11 κατανομές ελέγχου. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και από την εξέταση των διαγραμμάτων πιθανότητας της εικόνας 12 (στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται όλα τα διαγραμμάτα πιθανότητας) καθώς σε κανένα από αυτά τα δεδομένα μας δεν βρίσκονται αρκετά κοντά στην κεντρική γραμμή.

4.6.2 2ος Στατιστικός έλεγχος κατανομής δεδομένων – μηχανής (μονάδας)

Σε γενικές γραμμές σε δεδομένα που καταχωρούμε στο Minitab και αφορούν πειράματα αξιοπιστίας, οι μονάδες ελέγχου όταν υποστούν βλάβη απομακρύνονται και ο έλεγχος συνεχίζεται μέχρι και η τελευταία μονάδα να αποτύχει ή μέχρι ένα χρονικό σημείο t που έχουμε επιλέξει ή μέχρι την εμφάνιση της r αποτυχίας ή ενός συνδυασμού των προηγούμενων επιλογών. Στην εργασία αυτή όμως τα δεδομένα που έχουμε αφορούν βλάβες μηχανών οι οποίες επισκευάζονται τάχιστα προκειμένου η μηχανή να μείνει ανενεργή όσο το δυνατόν λιγότερο. Ή για να το θέσουμε αλλιώς, αν N είναι το σύνολο των συστημάτων που ελέγχονται σε αυτή την έρευνα, τότε N = 1, γιατί ένα και μόνο σύστημα

(γραμμή παραγωγής) ελέγχεται, χωρίς να έχουμε την δυνατότητα να το αντιγράψουμε πολλές φορές ώστε να μελετήσουμε παρόμοια συστήματα και την συμπεριφορά τους. Έτσι στην πραγματικότητα κάνουμε δειγματοληψία με επανατοποθέτηση κάθε φορά, μελετώντας τη ίδια μονάδα ή το ίδιο σύστημα κατ' επανάληψη. Αυτός μπορεί και τα είναι ο ένας λόγος που το Minitab δίνει τα παραπάνω αποτελέσματα.

Η ανομοιογένεια του δείγματος μας, μπορεί να είναι άλλη μία πιθανή εξήγηση γιατί δεν ταυτίζονται τα δεδομένα μας με καμία από τις 11 κατανομές του Minitab. Το δείγμα μας είναι ανομοιογενές για τους παρακάτω λόγους:

- Διαφορετικής προέλευσης μηχανές (Γερμανία, Ισπανία, Ιταλία, Δανία, Πορτογαλία, Ινδία, Ταιβάν, Κορέα), Πίνακας 3.
- Μεγάλη ηλικιακή διαφορά μεταξύ των μηχανών. Έτη κατασκευής: 1991-92-94-97-98, 2000-01-04-06-07-08-15-16-17-18-19-20 (Πίνακας 3).
- Περίοδος καταγραφή δεδομένων από το 2012 μέχρι και το 2022. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι πολλές μηχανές ξεκίνησαν την λειτουργία τους είτε πολλά χρόνια πριν την ημερομηνία έναρξης καταγραφής των δεδομένων μας, είτε κατά την διάρκεια καταγραφής δεδομένων, ή και λίγο πριν την λήξη καταγραφής. Άρα βρίσκονται σε διαφορετικό στάδιο της ζωής τους (Καμπύλη μορφής λεκάνης ή μπανιέρας, περιοχές: <<παιδική θνησιμότητα>>, <<κανονική ζωή>>, <<φάση γήρανσης>>), το οποίο σημαίνει διαφορετικούς ρυθμούς βλαβών (h(t)).

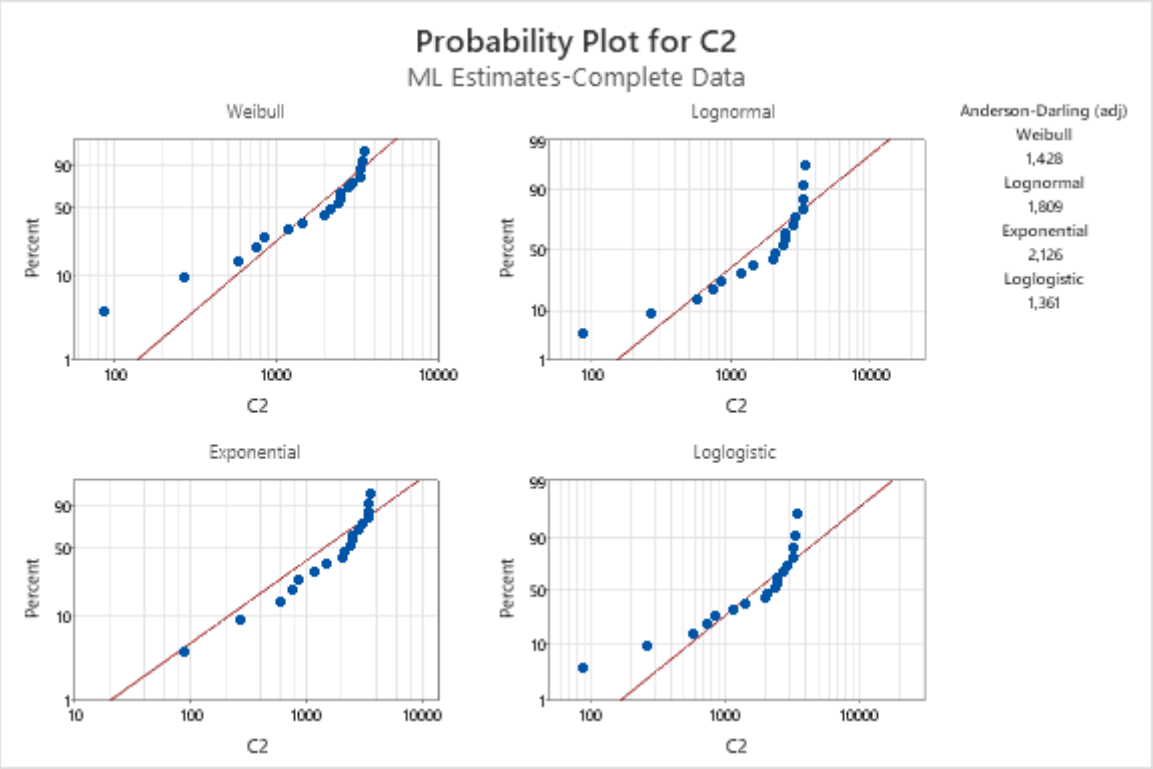
Προκειμένου να αντιμετωπίσουμε το φαινόμενο της ανομοιογένειας του δείγματος, επιχειρούμε να κάνουμε τον ίδιο έλεγχο, καταχωρώντας όμως κάθε φορά τα δεδομένα μιας μηχανής. Και σε αυτή την περίπτωση, καμία κατανομή δεν περιγράφει επαρκώς την καμπύλη των χρόνων ζωής και αστοχιών (βλαβών) των 66 μηχανών του εργοστασίου. Επομένως, τα δεδομένα μας δεν είναι ισόνομα. Οι επιμέρους όμως βλάβες, είναι στατιστικά ανεξάρτητες. Ενδεικτικά, παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου για την μηχανή EXTRUDER 1:

Πίνακας 7 Τιμές συνάρτησης Anderson – Darling 2ου ελέγχου κατανομής δεδομένων

Goodness-of-Fit

Distribution	Anderson-Darling (adj)
Weibull	1,428
Lognormal	1,809
Exponential	2,126
Loglogistic	1,361
3-Parameter Weibull	1,140
3-Parameter Lognormal	1,180
2-Parameter Exponential	2,171
3-Parameter Loglogistic	1,085
Smallest Extreme Value	1,115
Normal	1,183
Logistic	1,085

Εικόνα 13 Διαγράμματα πιθανότητας 2ου ελέγχου κατανομής δεδομένων



4.7 Υπολογισμός Αξιοπιστίας (R) με μη παραμετρική μέθοδο

Λόγο των παραπάνω, η εκτίμηση της αξιοπιστίας θα γίνει με μη παραμετρικές μεθόδους. Η πλέον διαδεδομένη εκτιμήτρια για τέτοιες περιπτώσεις είναι η εκτιμήτρια Kaplan – Meier η οποία προτάθηκε το 1958 (Journal of the American Statistical Association, Vol 53 (1958), σελ. 457 - 481). Για τον υπολογισμό της, πρέπει να γνωρίζουμε τις χρονικές στιγμές $\tau_1 \leq \tau_2 \leq \ldots$ κατά τις οποίες τίθεται εκτός λειτουργίας η κάθε μονάδα της οποίας δεν λογοκρίθηκε ο χρόνος ζωής, καθώς επίσης και το πλήθος των n_j μονάδων που βρίσκονται σε λειτουργεία. Διαπιστώνουμε ότι δεν μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε καθόσον τα δεδομένα που έχουμε συλλέξει προέρχονται από δειγματοληψία με επανατοποθέτηση και ως εκ τούτου το n παραμένει πάντα το ίδιο. Εάν μειωνόταν με την πάροδο του χρόνου, θα μπορούμε να τον χρησιμοποιήσουμε. Εφόσον λοιπόν δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε καμία από τις γνωστές συναρτήσεις (κανονικής κατανομής, εκθετικής κατανομής κτλ.) αλλά ούτε την εκτιμήτρια Kaplan – Meier προκειμένου να υπολογίσουμε την αξιοπιστία και την πιθανότητα βλάβης, θα χρησιμοποιήσουμε τους νεκρούς χρόνους λειτουργίας λόγο βλαβών, όπως τους έχουμε καταγράψει για τα 11 χρόνια, προκειμένου να εκτιμήσουμε την

αξιοπιστία (R) του συστήματος. Υπολογίζουμε την αξιοπιστία της κάθε μηχανής ξεχωριστά, για κάθε ένα από τα έτη καταγραφής μας, και στο τέλος την μέση αξιοπιστίας της για όλα τα έτη. Για τους υπολογισμούς μας βασιζόμαστε στις εργάσιμες ημέρες του κάθε έτους και στο γεγονός ότι στο εργοστάσιο δουλεύουν σε δύο βάρδιες ανά ημέρα, δηλαδή 8 ώρες x 2 βάρδιες = 16 ώρες λειτουργίας κάθε μηχανής / εργάσιμη ημέρα. Ο τρόπος υπολογισμού των εργάσιμων ημερών κάθε έτους παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8 Υπολογισμός εργάσιμων ημερών κάθε έτους

Έτος	Ημερολογιακές Ημέρες (1)	Αργίες & Σαββατοκύριακα (2)	Εργάσιμες Ημέρες Έτους (1) – (2)
		ήμερες	
2012	366	111	255
2013	365	111	254
2014	365	115	250
2015	365	113	252
2016	366	114	252
2017	365	114	251
2018	365	111	254
2019	365	113	252
2020	366	113	253
2021	365	112	253
2022	365	113	252

Υπολογίζουμε την πιθανότητα εμφάνισης βλάβης F κάθε μηχανής χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$F_{\mu\eta\chi\alpha\nu\acute{\eta}\varsigma}$ = (σύνολο ωρών μηχανής σε εκτός λειτουργίας κατάσταση ανά έτος) / (εργάσιμες ημέρες έτους x 16 ώρες)

Το γινόμενο (εργάσιμες ημέρες έτους x 16 ώρες) μας δίνει τον αριθμό ωρών στις οποίες αναμένουμε να λειτουργεί η μηχανή χωρίς βλάβη.

Για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας R κάνουμε χρήση του τύπου:

$R_{\mu\eta\chi\alpha\nu\acute{\eta}\varsigma} + F_{\mu\eta\chi\alpha\nu\acute{\eta}\varsigma} = 1 \Rightarrow R_{\mu\eta\chi\alpha\nu\acute{\eta}\varsigma} = 1 - F_{\mu\eta\chi\alpha\nu\acute{\eta}\varsigma}$

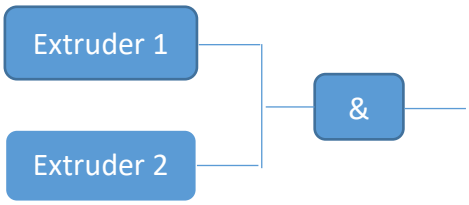
Υπολογίζουμε την πιθανότητα εμφάνισης βλάβης F_S σε κάθε στάδιο παραγωγής, χρησιμοποιώντας τον τύπο (4.2). Ενώ για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας R_S κάθε σταδίου παραγωγής, χρησιμοποιούμε τον τύπο (4.3). Η παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας κάθε σταδίου παραγωγής θα γίνει με την χρήση Λογικών Διαγραμμάτων Αξιοπιστίας (RLD) και

Σχηματικών Διαγραμμάτων Ροής (FBD). Σε αυτά θα διαπιστώνουμε τον τρόπο σύνδεσης των υποσυστημάτων κάθε σταδίου (παράλληλα ή σε σειρά). Επίσης σε αυτή την εργασία και τα δύο διαγράμματα RLD και FBD, θα αναφέρονται πάντα σε κατάσταση καλής λειτουργίας και όχι μη λειτουργίας.

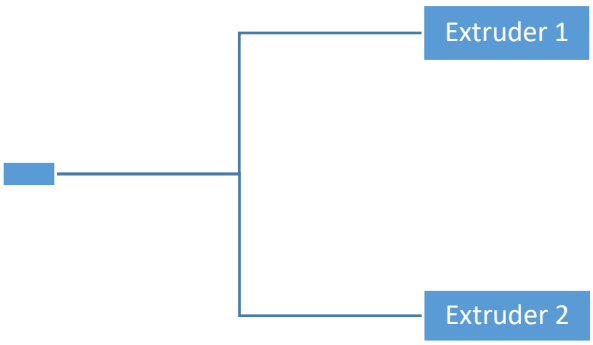
4.7.1 1ο Στάδιο παραγωγής

Ξεκινάμε εκτιμώντας την πιθανότητα βλάβης $F_{S(1)}$ και την αξιοπιστία $R_{S(1)}$, για το στάδιο παραγωγής 1. Ακολουθούν τα, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD) και Σχηματικό Διάγραμμα Ροής (FBD):

Εικόνα 14 Στάδιο 1ο, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD)



Εικόνα 15 Στάδιο 1ο, Σχηματικό Διάγραμμα Ροής



Υπολογίζουμε τις επιμέρους πιθανότητες κάθε έτους, να παρουσιάσει βλάβη το **Extruder 1**, $F_{Extr\ 1}$, και την αξιοπιστία του, $R_{Extr\ 1}$:

$\mathbf{F_{Extr\ 1}}$ **(2012)** = 51 / (255 x 16) = 0.0125, επομένως $\mathbf{R_{Extr\ 1}}$ **(2012)** = 1 – 0.0125 = 0.9875

$\mathbf{F_{Extr\ 1}}$ **(2013)** = 265 / (254 x 16) = 0.0652, επομένως $\mathbf{R_{Extr\ 1}}$ **(2013)** = 1 – 0.0652 = 0.9348

$F_{Extr\ 1}$ (2014) = 83 / (250 x 16) = 0.0208, επομένως **$R_{Extr\ 1}$ (2014)** = 1 – 0.0208 = 0.9792
$F_{Extr\ 1}$ (2015) = 57 / (252 x 16) = 0.0141, επομένως **$R_{Extr\ 1}$ (2015)** = 1 – 0.0141 = 0.9859
$F_{Extr\ 1}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 1}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999
$F_{Extr\ 1}$ (2017) = 143 / (251 x 16) = 0.0356, επομένως **$R_{Extr\ 1}$ (2017)** = 1 – 0.0356 = 0.9644
$F_{Extr\ 1}$ (2018) = 96 / (254 x 16) = 0.0236, επομένως **$R_{Extr\ 1}$ (2018)** = 1 – 0.0236 = 0.9764
$F_{Extr\ 1}$ (2019) = 36 / (252 x 16) = 0.0089, επομένως **$R_{Extr\ 1}$ (2019)** = 1 – 0.0089 = 0.9911
$F_{Extr\ 1}$ (2020) = 166 / (253 x 16) = 0.0410, επομένως **$R_{Extr\ 1}$ (2020)** = 1 – 0.0410 = 0.9590
$F_{Extr\ 1}$ (2021) = 92 / (253 x 16) = 0.0227, επομένως **$R_{Extr\ 1}$ (2021)** = 1 – 0.0227 = 0.9773
$F_{Extr\ 1}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 1}$ (2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Άρα, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης του Extruder 1, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{Extr1} = 10.7554/11 = 0.9778$$

$$\bar{F}_{Extr1=} 0.2446/11 = 0.0222$$

Συνεχίζουμε υπολογίζοντας τις επιμέρους πιθανότητες κάθε έτους, να παρουσιάσει βλάβη το **Extruder 2**, $F_{Extr\ 2}$, και την αξιοπιστία του, $R_{Extr\ 2}$:

$F_{Extr\ 2}$ (2012) = 15 / (255 x 16) = 0.0037, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2012)** = 1 – 0.0037 = 0.9963
$F_{Extr\ 2}$ (2013) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999
$F_{Extr\ 2}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999
$F_{Extr\ 2}$ (2015) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999
$F_{Extr\ 2}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999
$F_{Extr\ 2}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999
$F_{Extr\ 2}$ (2018) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999
$F_{Extr\ 2}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999
$F_{Extr\ 2}$ (2020) = 100 / (253 x 16) = 0.0247, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2020)** = 1 – 0.0247 = 0.9753
$F_{Extr\ 2}$ (2021) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2021)** = 1 – 0.0001 = 0.9999
$F_{Extr\ 2}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Extr\ 2}$ (2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Άρα, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, του Extruder 2 και για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{Extr2} = 10.9707/11 = 0.9973$$

$$\bar{F}_{Extr2} = 0.0293/11 = 0.0027$$

Επομένως, η πιθανότητα εμφάνισης βλάβης $F_{S(1)}$ και η αξιοπιστία $R_{S(2)}$, του σταδίου παραγωγής 1, είναι:

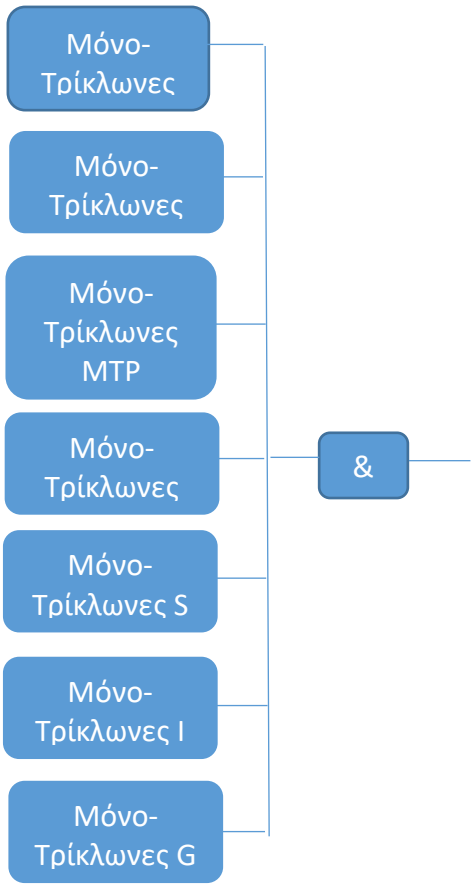
$$F_{S(1)} = \bar{F}_{Extr1} \bullet \bar{F}_{Extr2} = 0.0222 \bullet 0.0027 = 5.994 \bullet 10^{-5}$$

$$R_{S(1)} = 1 - F_{S(1)} = 0.9999$$

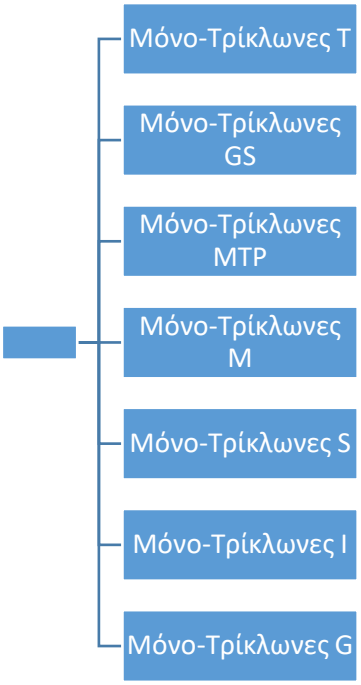
4.7.2 2ο Στάδιο παραγωγής

Συνεχίζουμε, εκτιμώντας την πιθανότητα βλάβης $F_{S(2)}$ και την αξιοπιστία $R_{S(2)}$, για το στάδιο παραγωγής 2. Ακολουθούν τα αντίστοιχα, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD) και Σχηματικό Διάγραμμα Ροής (FBD):

Εικόνα 16 Στάδιο 2ο, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD)



Εικόνα 17 Στάδιο 2ο, Σχηματικό Διάγραμμα Ροής



Υπολογίζουμε τις επιμέρους πιθανότητες κάθε έτους, να παρουσιάσουν βλάβη οι **Μόνο-Τρίκλωνες** μηχανές, $F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}$, και την αξιοπιστία τους $R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}$. Οι υπολογισμοί αφορούν την ομάδα μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς T301, T302, … , T320:

$\mathbf{F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}}$ **(2012)** = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}}$ **(2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}}$ **(2013)** = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}}$ **(2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}}$ **(2014)** = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}}$ **(2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}}$ **(2015)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}}$ **(2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}}$ **(2016)** = 70 / (252 x 16) = 0.0174, επομένως $\mathbf{R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}}}$ **(2016)** = 1 – 0.0174 = 0.9826

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2018) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2019) = 0.5/ (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2021) = 10 / (253 x 16) = 0.0025, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2021)** = 1 – 0.0025 = 0.9975

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2022) = 76 / (252 x 16) = 0.0189, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}}$ (2022)** = 1 – 0.0189 = 0.9811

Άρα, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των **Μόνο-Τρίκλωνες Τ** μηχανών, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}} = 10.9604/11 = 0.9964$$

$$\bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Τ}} = 0.0396/11 = 0.0036$$

Συνεχίζουμε υπολογίζοντας τις επιμέρους πιθανότητες, για κάθε έτος, να παρουσιάσουν βλάβη οι **Μόνο-Τρίκλωνες** μηχανές, F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$, καθώς και την αξιοπιστία τους R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$. Οι υπολογισμοί αφορούν την ομάδα μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς GS2001, GS2002, GS2016 και GS2017:

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2012) = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2013) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2015) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2018) = 14 / (254 x 16) = 0.0034, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2018)** = 1 – 0.0034 = 0.9966

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2021) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2021)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}}$ (2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Άρα, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, της ομάδας μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς GS2001, GS2002, GS2016 και GS2017, και για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Μόνο–Τρίκλωνες GS}} = 10,9956/11 = 0,9996$$

$$\bar{F}_{\text{Μόνο–Τρίκλωνες GS}} = 0,0044/11 = 0,0004$$

Υπολογίζουμε τις επιμέρους πιθανότητες για κάθε έτος, να παρουσιάσουν βλάβη, F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MT}}$, καθώς και την αξιοπιστία τους R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MT}}$, οι **Μόνο-Τρίκλωνες** μηχανές, της ομάδας με εσωτερικούς κωδικούς MTP100, MTP101:

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MT}}$ (2012) = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MT}}$ (2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MT}}$ (2013) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MT}}$ (2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MT}}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MT}}$ (2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MT}}$ (2015) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MT}}$ (2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2018) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2021) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2021)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες ΜΤ}}$ (2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Άρα, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, της ομάδας μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς MTP100, MTP101, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Μόνο–Τρίκλωνες ΜΤ}} = 10.9989/11 = 0.9999$$

$$\bar{F}_{\text{Μόνο–Τρίκλωνες ΜΤ}} = 0,0011/11 = 0,0001$$

Συνεχίζουμε, υπολογίζοντας τις επιμέρους πιθανότητες ανά έτος, να παρουσιάσει βλάβη, F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Μ}}$, καθώς και την αξιοπιστία R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Μ}}$, η **Μόνο-Τρίκλωνη** μηχανή, με εσωτερικό κωδικό M001:

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Μ}}$ (2012) = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Μ}}$ (2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Μ}}$ (2013) = 4 / (254 x 16) = 0.001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Μ}}$ (2013)** = 1 – 0.001 = 0.9990

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Μ}}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Μ}}$ (2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Μ}}$ (2015) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες Μ}}$ (2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2018) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2021) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2021)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}}$ (2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Επομένως, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, της μηχανής με εσωτερικό κωδικό M001, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}} = 10.998/11 = 0.9998$$

$$\bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}} = 0,002/11 = 0,0002$$

Θα υπολογίσουμε τις επιμέρους πιθανότητες ανά έτος, να παρουσιάσουν βλάβη, $F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$, καθώς και την αξιοπιστία $R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$, οι **Μόνο-Τρίκλωνες** μηχανές, με εσωτερικούς κωδικούς M003 και M005:

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2012) = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2013) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2015) = 48 / (252 x 16) = 0.0119, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2015)** = 1 – 0.0119 = 0.9881

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2016) = 48 / (252 x 16) = 0.0119, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2016)** = 1 – 0.0119 = 0.9881

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2017) = 120 / (251 x 16) = 0.0299, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2017)** = 1 – 0.0299 = 0.9701

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2018) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2021) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2021)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}}$ (2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Άρα, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς M003 και M005, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}} = 10.9455/11 = 0.9950$$

$$\bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}} = 0,0545/11 = 0,005$$

Στην συνέχεια θα υπολογίσουμε τις πιθανότητες ανά έτος, να παρουσιάσουν βλάβη, $F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$, αλλά και την αξιοπιστία τους $R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$, οι **Μόνο-Τρίκλωνες** μηχανές, με εσωτερικούς κωδικούς I001 και I002:

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2012) = 72 / (255 x 16) = 0.0177, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2012)** = 1 – 0.0177 = 0.9823

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2013) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2015) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2017) = 840 / (251 x 16) = 0.2092, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2017)** = 1 – 0.2092 = 0.7908

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2018) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2020) = 240 / (253 x 16) = 0.0593, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2020)** = 1 – 0.0593 = 0.9407

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2021) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2021)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}}$ (2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Επομένως, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς I001 και I002, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}} = 10.713/11 = 0.9739$$

$$\bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}} = 0,287/11 = 0,0261$$

Συνεχίζουμε υπολογίζοντας τις πιθανότητες ανά έτος, να παρουσιάσει βλάβη, F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$, αλλά και την αξιοπιστία R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$, η **Μόνο-Τρίκλωνη** μηχανή, με εσωτερικό κωδικό I003:

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2012) = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2013) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2015) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2018) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2021) = 50 / (253 x 16) = 0.0124, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2021)** = 1 – 0.0124 = 0.9876

F$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2022) = 8 / (252 x 16) = 0.0020, επομένως **R$_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}}$ (2022)** = 1 – 0.0020 = 0.9980

Επομένως, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, της μηχανής με εσωτερικό κωδικό I003, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}} = 10.9847/11 = 0.9986$$

$$\bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}} = 0,0153/11 = 0,0014$$

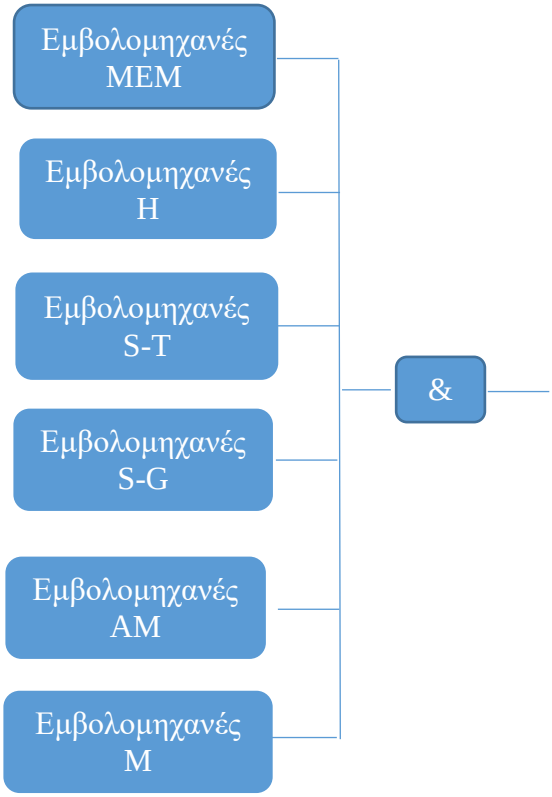
Οπότε, η πιθανότητα εμφάνισης βλάβης $F_{S(2)}$ και η αξιοπιστία $R_{S(2)}$, του σταδίου παραγωγής 2, είναι:

$$F_{S(\text{Μόνο-Τρίκλωνες})} = \bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες T}} \bullet \bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες GS}} \bullet \bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες MTP}} \bullet$$
$$\bullet \bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες M}} \bullet \bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες S}} \bullet \bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες I}} \bullet \bar{F}_{\text{Μόνο-Τρίκλωνες G}} =$$
$$= 0,0036 \bullet 0,0004 \bullet 0,0001 \bullet 0,0002 \bullet 0,005 \bullet 0,0261 \bullet 0,0014 =$$
$$= 5,26176 \bullet 10^{-21}$$
$$R_{S(\text{Μόνο-Τρίκλωνες})} = 1 - F_{S(\text{Μόνο-Τρίκλωνες})} \simeq 1$$

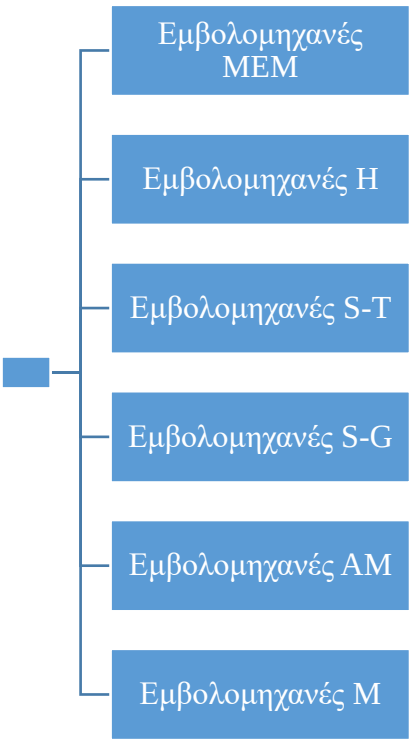
4.7.3 3ο Στάδιο παραγωγής

Στη συνέχεια, θα εκτιμήσουμε την πιθανότητα βλάβης $F_{S(3)}$ και την αξιοπιστία $R_{S(3)}$, για το στάδιο παραγωγής 3. Ακολουθούν τα αντίστοιχα, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD) και Σχηματικό Διάγραμμα Ροής (FBD):

Εικόνα 18 Στάδιο 3ο, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD)



Εικόνα 19 Στάδιο 3ο, Σχηματικό Διάγραμμα Ροής



Θα υπολογίσουμε τις επιμέρους πιθανότητες για κάθε έτος, να παρουσιάσουν βλάβη, $F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$, οι **Εμβολομηχανές**, καθώς επίσης και την αξιοπιστία τους $R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$. Οι υπολογισμοί αφορούν την ομάδα μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Ε001, Ε002:

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}}$ **(2012)** = 96 / (255 x 16) = 0.0235, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}}$ **(2012)** = 1 – 0.0235 = 0.9765

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}}$ **(2013)** = 10 / (254 x 16) = 0.0025, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}}$ **(2013)** = 1 – 0.0025 = 0.9975

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}}$ **(2014)** = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}}$ **(2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}}$ **(2015)** = 57 / (252 x 16) = 0.0141, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}}$ **(2015)** = 1 – 0.0141 = 0.9859

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2018) = 18 / (254 x 16) = 0.0044, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2018)** = 1 – 0.0044 = 0.9956

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2020) = 24 / (253 x 16) = 0.0059, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2020)** = 1 – 0.0059 = 0.9941

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2021) = 24 / (253 x 16) = 0.0059, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2021)** = 1 – 0.0059 = 0.9941

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2022) = 72 / (252 x 16) = 0.0179, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}}$ (2022)** = 1 – 0.0179 = 0.9821

Επομένως, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Ε001 και Ε002, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Εμβολομηχανες ΜΕΜ}} = 10.9254/11 = 0.9932$$

$$\bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}} = 0,0746/11 = 0,0067$$

Συνεχίζουμε, υπολογίζοντας τις πιθανότητες για κάθε έτος, να παρουσιάσουν βλάβη, $F_{\text{Εμβολομηχανές Η}}$, και την αξιοπιστία $R_{\text{Εμβολομηχανές Η}}$, των **Εμβολομηχανών** της ομάδας με εσωτερικούς κωδικούς Ε003, W001, W002, W003 και W004:

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2012)** = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2013)** = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2014)** = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2015)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2016)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2017)** = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2018)** = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2019)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2020)** = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2021)** = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2021)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2022)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{Εμβολομηχανές\ Η}}$ **(2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Άρα, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς E003, W001, W002, W003 και W004, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Εμβολομηχανες H}} = 10.9989/11 = 0.9999$$

$$\bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές H}} = 0,0011/11 = 0,0001$$

Στο επόμενο βήμα θα υπολογίσουμε τις πιθανότητες ανά έτος, να παρουσιάσει βλάβη, $F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}$, και την αξιοπιστία $R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}$, της **Εμβολομηχανής** με εσωτερικό κωδικό E004:

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2012)** = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2013)** = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2014)** = 5 / (250 x 16) = 0.0013, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2014)** = 1 – 0.0013 = 0.9987

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2015)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2016)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2017)** = 3 / (251 x 16) = 0.0008, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2017)** = 1 – 0.0008 = 0.9992

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2018)** = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2019)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}}$ **(2019)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}$ (2020)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}$ (2021) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}$ (2021)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}$ (2022) = 120 / (252 x 16) = 0.0298, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-T}}$ (2022)** =

1 – 0.0298 = 0.9702

Επομένως, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, της μηχανής με εσωτερικό κωδικό Ε004, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Εμβολομηχανές S-T}} = 10.9673/11 = 0.9970$$

$$\bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές S-T}} = 0,0327/11 = 0,0030$$

Προχωράμε υπολογίζοντας τις πιθανότητες ανά έτος, να παρουσιάσει βλάβη, $F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$, και την αξιοπιστία $R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$, της **Εμβολομηχανής** με εσωτερικό κωδικό Ε005:

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2012) = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2012)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2013) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2013)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2014)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2015) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2015)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2018) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2021) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2021)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές S-G}}$ (2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Οπότε, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, της μηχανής με εσωτερικό κωδικό Ε004, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Εμβολομηχανές S-G}} = 10.9989/11 = 0.9999$$

$$\bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές S-G}} = 0,0011/11 = 0,0001$$

Συνεχίζουμε υπολογίζοντας τις πιθανότητες ανά έτος, να παρουσιάσουν βλάβη, $F_{\text{Εμβολομηχανές AM}}$, και την αξιοπιστία $R_{\text{Εμβολομηχανές AM}}$, των **Εμβολομηχανών** με εσωτερικούς κωδικούς Ε006, Ε007, Ε010:

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2012) = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2013) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2015) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2016) = 33 / (252 x 16) = 0.0082, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2016)** = 1 – 0.0082 = 0.9918

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2018) = 725 / (254 x 16) = 0.1784, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2018)** = 1 – 0.1784 = 0.8216

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2019) = 780 / (252 x 16) = 0.1935, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2019)** = 1 – 0.1935 = 0.8065

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2020) = 396 / (253 x 16) = 0.0978, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2020)** = 1 – 0.0978 = 0.9022

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2021) = 360 / (253 x 16) = 0.0889, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2021)** = 1 – 0.0889 = 0.9111

$F_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2022) = 224 / (252 x 16) = 0.0556, επομένως **$R_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}}$ (2022)** = 1 – 0.0556 = 0.9444

Άρα, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Ε006, Ε007, Ε010, και για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}} = 10.3771/11 = 0.9434$$

$$\bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}} = 0,6229/11 = 0,0566$$

Τέλος, και όσον αφορά το στάδιο παραγωγής 3, θα υπολογίσουμε τις πιθανότητες ανά έτος, να παρουσιάσει βλάβη, $F_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}$, και την αξιοπιστία $R_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}$, της ομάδας **Εμβολομηχανών** με εσωτερικούς κωδικούς Ε008, Ε009 και Ε011:

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2012)** = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2013)** = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2014)** = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2015)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2016)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2017)** = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2018)** = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2019)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}}$ **(2019)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}$ (2020)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}$ (2021) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}$ (2021)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{\text{Εμβολομηχανές Μ}}$ (2022)** =

1 – 0.0001 = 0.9999

Οπότε, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Ε008, Ε009, Ε011, και για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Εμβολομηχανές Μ}} = 10.9989/11 = 0.9999$$
$$\bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές Μ}} = 0,0011/11 = 0,0001$$

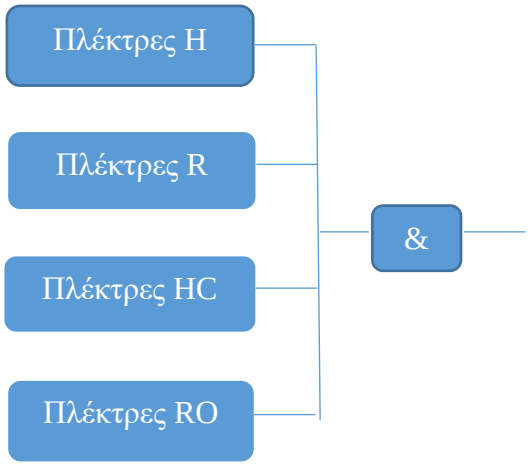
Υπολογίζουμε τώρα την πιθανότητα βλάβης $F_{S(3)}$, και την αξιοπιστία $R_{S(3)}$, του σταδίου παραγωγής 3:

$$F_{S(3)} = \bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές ΜΕΜ}} \bullet \bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές Η}} \bullet \bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές S-T}} \bullet$$
$$\bullet \bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές S-G}} \bullet \bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές ΑΜ}} \bullet \bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές Μ}} =$$
$$= 0,0067 \bullet 0,0001 \bullet 0,0030 \bullet 0,0001 \bullet 0,0566 \bullet 0,0001 =$$
$$= 1,1377 \bullet 10^{-18}$$
$$R_{S(3)} = 1 - F_{S(3)} \simeq 1$$

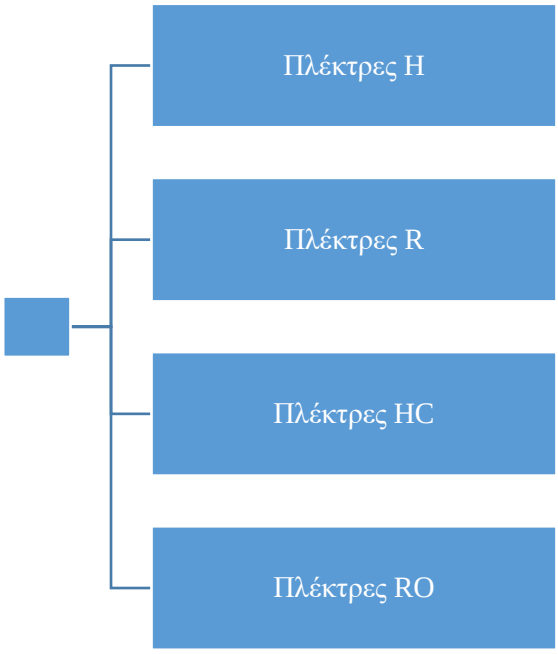
4.7.4 4ο Στάδιο παραγωγής

Θα υπολογίσουμε την πιθανότητα βλάβης $F_{S(4)}$ και την αξιοπιστία $R_{S(4)}$, του σταδίου παραγωγής 4. Παραθέτουμε για τον σκοπό αυτό, το Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας του σταδίου και το αντίστοιχο Σχηματικό Διάγραμμα Ροής:

Εικόνα 20 Στάδιο 4ο, Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας (RLD)



Εικόνα 21 Στάδιο 4, Σχηματικό Διάγραμμα Ροής



Ξεκινάμε υπολογίζοντας την πιθανότητα βλάβης $F_{\text{Πλέκτρες Η}}$, και την αξιοπιστία $R_{\text{Πλέκτρες Η}}$, των **Πλεκτικών** μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Π001, Π002, Π003, Π005, Π006, Π008, Π009, Π012 και Π016:

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2012)** = 245.5 / (255 x 16) = 0.0602, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2012)** = 1 – 0.0602 = 0.9398

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2013)** = 148 / (254 x 16) = 0.0364, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2013)** = 1 – 0.0364 = 0.9636

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2014)** = 2 / (250 x 16) = 0.0005, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2014)** = 1 – 0.0005 = 0.9995

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2015)** = 48 / (252 x 16) = 0.0119, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2015)** = 1 – 0.0119 = 0.9881

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2016)** = 29.5 / (252 x 16) = 0.0073, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2016)** = 1 – 0.0073 = 0.9927

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2017)** = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2018)** = 91 / (254 x 16) = 0.0224, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2018)** = 1 – 0.0224 = 0.9776

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2019)** = 6 / (252 x 16) = 0.0015, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2019)** = 1 – 0.0015 = 0.9985

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2020)** = 24 / (253 x 16) = 0.0059, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2020)** = 1 – 0.0059 = 0.9941

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2021)** = 192 / (253 x 16) = 0.0474, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2021)** = 1 – 0.0474 = 0.9526

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2022)** = 104 / (252 x 16) = 0.0258, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες Η}}}$ **(2022)** = 1 – 0.0258 = 0.9742

Άρα, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Π001, Π002, Π003, Π005, Π006, Π008, Π009, Π012 και Π016, και για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Εμβολομηχανές Η}} = 10.7806/11 = 0.9800$$

$$\bar{F}_{\text{Εμβολομηχανές Η}} = 0,2194/11 = 0,0199$$

Συνεχίζουμε υπολογίζοντας τις πιθανότητες ανά έτος να παρουσιάσει βλάβη, $F_{\text{Πλέκτρες R}}$, και την αξιοπιστία $R_{\text{Πλέκτρες R}}$, η ομάδα **Πλεκτικών** μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Π004, και Π011:

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2012)** = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2013)** = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2014)** = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2015)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2016)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2017)** = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2018)** = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2019)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2020)** = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2021)** = 120 / (253 x 16) = 0.0296, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2021)** = 1 – 0.0296 = 0.9704

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2022)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες R}}}$ **(2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Επομένως, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Π004 και Π011, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Πλέκτρες R}} = 10.9694/11 = 0.9972$$

$$\bar{F}_{\text{Πλέκτρες R}} = 0,0306/11 = 0,0028$$

Στην συνέχεια θα υπολογίσουμε τις πιθανότητες ανά έτος να παρουσιάσει βλάβη, $F_{\text{Πλέκτρες HC}}$, και την αξιοπιστία $R_{\text{Πλέκτρες HC}}$, η ομάδα **Πλεκτικών** μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Π007, Π010 και Π013:

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2012) = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2013) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2015) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2018) = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2018)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2021) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2021)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{\text{Πλέκτρες HC}}$ (2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Επομένως, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Π007, Π010 και Π013, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Πλέκτρες HC}} = 10.9989/11 = 0.9999$$

$$\bar{F}_{\text{Πλέκτρες HC}} = 0,0011/11 = 0,0001$$

Τώρα θα υπολογίσουμε τις πιθανότητες για κάθε έτος να παρουσιάσει βλάβη, $F_{\text{Πλέκτρες RO}}$, και την αξιοπιστία $R_{\text{Πλέκτρες RO}}$, η ομάδα **Πλεκτικών** μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Π014, και Π015:

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2012)** = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2013)** = 0.5 / (254 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2013)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2014)** = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2015)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2015)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2016)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2017)** = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2018)** = 48 / (254 x 16) = 0.0118, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2018)** = 1 – 0.0118 = 0.9882

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2019)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2020)** = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2021)** = 98 / (253 x 16) = 0.0242, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2021)** = 1 – 0.0242 = 0.9758

$\mathbf{F_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2022)** = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως $\mathbf{R_{\text{Πλέκτρες RO}}}$ **(2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Οπότε η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, των μηχανών με εσωτερικούς κωδικούς Π014 και Π015, για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{\text{Πλέκτρες RO}} = 10.9631/11 = 0.9966$$

$$\bar{F}_{\text{Πλέκτρες RO}} = 0,0369/11 = 0,0034$$

Άρα, η πιθανότητα βλάβης $F_{S(4)}$ και η αξιοπιστία $R_{S(4)}$, του σταδίου παραγωγής 4, βρίσκονται ως εξής:

$$F_{S(4)} = \bar{F}_{\text{Πλέκτρες H}} \bullet \bar{F}_{\text{Πλέκτρες R}} \bullet \bar{F}_{\text{Πλέκτρες HC}} \bullet \bar{F}_{\text{Πλέκτρες RO}} =$$
$$= 0,0199 \bullet 0,0028 \bullet 0,0001 \bullet 0,0034 =$$
$$= 1,8945 \bullet 10^{-11}$$
$$R_{S(4)} = 1 - F_{S(4)} \simeq 1$$

4.7.5 5ο Στάδιο παραγωγής

Το επόμενο στάδιο παραγωγής για το οποίο θα υπολογίσουμε τις πιθανότητες βλάβης και αξιοπιστίας, είναι το στάδιο 5, το οποίο είναι και το τελευταίο στάδιο αυτής της μελέτης, και θα υπολογίσουμε τις πιθανότητες $F_{S(5)}$ και $R_{S(5)}$ αντίστοιχα.

Σε αυτό το στάδιο λειτουργεί μόνο μία μηχανή, η MP ROCK B, και για αυτό τον λόγο δεν θα παρουσιαστεί το Λογικό Διάγραμμα Αξιοπιστίας και το Σχηματικό Διάγραμμα Ροής, όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις.

Είναι κατανοητό ότι εφόσον η μηχανή παρουσιάσει βλάβη και δεν μπορεί να επισκευαστεί, η παραγωγή δεν μπορεί να ολοκληρωθεί για τα παραγόμενα σχοινιά που πρέπει να περάσουν από αυτό το στάδιο.

Συνεχίζουμε υπολογίζοντας τις πιθανότητες $F_{Coating/Heat}$ και $R_{Coating/Heat}$ της μηχανής MP ROCK B:

$F_{Coating/Heat}$ (2012) = 0.5 / (255 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Coating/Heat}$ (2012)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{Coating/Heat}$ (2013) = 240 / (254 x 16) = 0.0591, επομένως **$R_{Coating/Heat}$ (2013)** = 1 – 0.0591 = 0.9409

$F_{Coating/Heat}$ (2014) = 0.5 / (250 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Coating/Heat}$ (2014)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

$F_{Coating/Heat}$ (2015) = 35 / (252 x 16) = 0.0087, επομένως **$R_{Coating/Heat}$ (2015)** = 1 – 0.0087 = 0.9913

$F_{Coating/Heat}$ (2016) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **$R_{Coating/Heat}$ (2016)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{Coating/Heat}$ (2017) = 0.5 / (251 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{Coating/Heat}$ (2017)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{Coating/Heat}$ (2018) = 4 / (254 x 16) = 0.0010, επομένως **R$_{Coating/Heat}$ (2018)** = 1 – 0.0010 = 0.9990

F$_{Coating/Heat}$ (2019) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{Coating/Heat}$ (2019)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{Coating/Heat}$ (2020) = 0.5 / (253 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{Coating/Heat}$ (2020)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

F$_{Coating/Heat}$ (2021) = 98 / (253 x 16) = 0.0242, επομένως **R$_{Coating/Heat}$ (2021)** = 1 – 0.0242 = 0.9758

F$_{Coating/Heat}$ (2022) = 0.5 / (252 x 16) = 0.0001, επομένως **R$_{Coating/Heat}$ (2022)** = 1 – 0.0001 = 0.9999

Οπότε, η μέση αξιοπιστία και η μέση τιμή της πιθανότητας βλάβης, της μηχανής με εσωτερικό κωδικό MP ROCK B και για τα 11 έτη είναι:

$$\bar{R}_{Coating/Heat} = 10.9304/11 = 0.9937$$

$$\bar{F}_{Coating/Heat} = 0,0696/11 = 0,0063$$

Τελικά, και εφόσον στο στάδιο αυτό λειτουργεί μόνο μία μηχανή, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι παραπάνω μέσες τιμές $\bar{R}_{Coating/Heat}$ και $\bar{F}_{Coating/Heat}$, αποτελούν και τις τιμές του συστήματος. Δηλαδή για το στάδιο παραγωγής 5, έχουμε:

$$F_{S(5)} = 0.0063$$
$$R_{S(5)} = 1 - F_{S(5)} = 0.9937$$

5 Μοντελοποίηση του συστήματος με δένδρο βλαβών (FTA)

5.1 Δέντρο βλαβών (FTA)

Η ανάλυση με την χρήση ενός δέντρου σφαλμάτων (FTA), είναι μια καθιερωμένη τεχνική ανάλυσης συστήματος, που χρησιμοποιείται ευρέως στην μηχανική αξιοπιστίας και ασφάλειας συστημάτων. Δημιουργήθηκε τη δεκαετία του 1960 και έκτοτε έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροδιαστημικής και της πυρηνικής βιομηχανίας, όπου έχουν αναφερθεί πολυάριθμες εφαρμογές σε κρίσιμα συστήματα ελέγχου ασφαλείας. Η FTA είναι μια συμπερασματική μέθοδος ανάλυσης, το οποίο σημαίνει ότι η ανάλυση ξεκινά με μια αποτυχία του συστήματος και λειτουργεί ανάποδα, κατευθύνεται προς τα πίσω προσπαθώντας να προσδιορίσει τις βασικές αιτίες που οδήγησαν στην αποτυχία. Το αποτέλεσμα είναι ένα δέντρο βλαβών το οποίο αντιπροσωπεύει αυτή τη γνώση γραφικά, δείχνοντας τις λογικές συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών σφαλμάτων και των αιτιών τους. Η αποτυχία του συστήματος είναι το κορυφαίο γεγονός του δέντρου σφαλμάτων και συνδέεται με ένα σύνολο βασικών γεγονότων ή βασικών αιτιών, διαμέσου ενός συστήματος λογικών πυλών όπως οι πύλες ΚΑΙ και Η και ενδιάμεσων συμβάντων. Από το προκύπτον δέντρο σφαλμάτων, στη συνέχεια είναι δυνατό να δούμε πώς μπορούν να προκύψουν σημαντικές αστοχίες στο σύστημα συνολικά, μέσω της σύνδεσής τους με βασικά γεγονότα, όπως αστοχίες μεμονωμένων εξαρτημάτων ή λόγο συγκεκριμένων περιβαλλοντικών συνθηκών.

Το δέντρο σφαλμάτων αναλύεται στη συνέχεια προκειμένου να εξαχθούν πιο χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά αστοχίας του συστήματος. Αυτή η περαιτέρω ανάλυση διαχωρίζεται σε δύο μορφές: ποιοτική (λογική) ανάλυση και ποσοτική (πιθανοτική) ανάλυση. Η ποιοτική ανάλυση πραγματοποιείται με τη συρρίκνωση του δέντρου σφαλμάτων στα ελάχιστα σύνολα διακοπής (MCS), τα οποία είναι οι μικρότεροι συνδυασμοί αστοχιών που απαιτούνται προκειμένου να προκληθεί το γεγονός κορυφής. Τα ελάχιστα σύνολα διακοπής (MCS) είναι ευκολότερα κατανοητά απ' ότι το δέντρο σφαλμάτων στο σύνολό του. Η ποσοτική ανάλυση αποδίδει πιθανότητες σε κάθε ένα από τα βασικά γεγονότα, με βάση τα ποσοστά αποτυχίας και επισκευής και από

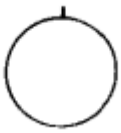
αυτά μπορεί επίσης να εκτιμηθεί η πιθανότητα εμφάνισης του κορυφαίου γεγονότος (Martin Walker, Yiannis Papadopoulos (2009), Qualitative temporal analysis: Towards a full implementation of the Fault Tree Handbook).

5.1.1 Κατασκευή δέντρου βλαβών (FTA)

Ένα τυπικό δέντρο σφαλμάτων αποτελείται από ένα αριθμό συμβόλων που περιγράφονται με σαφήνεια παρακάτω (Vesely, Goldberg, Roberts, & Haasl, (1981), Fault Tree Handbook):

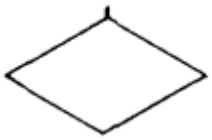
1. **Κύρια Γεγονότα**: Τα κύρια γεγονότα ενός δέντρου βλαβών είναι εκείνα τα γεγονότα για τα οποία θα πρέπει να παρέχονται οι πιθανότητες εμφάνισής τους, εφόσον το δέντρο σφαλμάτων πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της πιθανότητας του γεγονότος κορυφής. Διαχωρίζονται σε τέσσερεις τύπους:

- Βασικό Γεγονός



Με τον κύκλο περιγράφουμε ένα βασικό γεγονός σφάλματος για το οποίο δεν απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη. Με άλλα λόγια ο κύκλος σημαίνει ότι έχει επιτευχθεί το κατάλληλο επίπεδο ανάλυσης.

- Ημιτελές Γεγονός



Με αυτό το σχήμα περιγράφετε ένα συγκεκριμένο συμβάν σφάλματος που δεν αναπτύσσεται περαιτέρω επειδή το γεγονός δεν επιφέρει σημαντικές συνέπειες ή επειδή οι πληροφορίες που σχετίζονται με το συμβάν δεν είναι διαθέσιμες.

- Υπό Προϋποθέσεις Γεγονός

Το σχήμα της έλλειψης χρησιμοποιείται για την καταγραφή τυχόν περιορισμών ή συνθηκών που ισχύουν για οποιαδήποτε λογική πύλη. Χρησιμοποιείται κυρίως με τις πύλες ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ και τις πύλες ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ.

- Κανονικό Γεγονός

Το σύμβολο αυτό με σχήμα σπίτι, χρησιμοποιείται για να δηλώσει ένα γεγονός που κανονικά αναμένεται να συμβεί: π.χ. η αλλαγή φάσης σε ένα δυναμικό σύστημα. Έτσι, με αυτό το συμβολισμό καταγράφουμε συμβάντα που δεν είναι από μόνα τους ελαττώματα.

- Αρχικό Γεγονός

Ένα Αρχικό Γεγονός είναι ένα συμβάν σφάλματος που συμβαίνει εξαιτίας ενός ή περισσότερων προηγούμενων αιτιών που ενεργούν μέσω λογικών πυλών. Όλα τα αρχικά γεγονότα συμβολίζονται με ορθογώνια.

2. **Πύλες:** Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι πυλών στα δέντρα σφαλμάτων, οι πύλες Η και οι πύλες ΚΑΙ. Όλες οι άλλες πύλες είναι ειδικές περιπτώσεις αυτών των δύο βασικών τύπων. Με μία εξαίρεση, όλες οι υπόλοιπες πύλες συμβολίζονται με το σχήμα της ασπίδας είτε με επίπεδη βάση είτε με καμπύλη βάση.

- Πύλες Η

Η πύλη Η, χρησιμοποιείται για να δείξει ότι το συμβάν εξόδου συμβαίνει εάν τουλάχιστον ένα από τα γεγονότα εισόδου έχει συμβεί. Μπορεί να υπάρχει οποιοσδήποτε αριθμός συμβάντων εισόδου κάτω από μια πύλη Η.

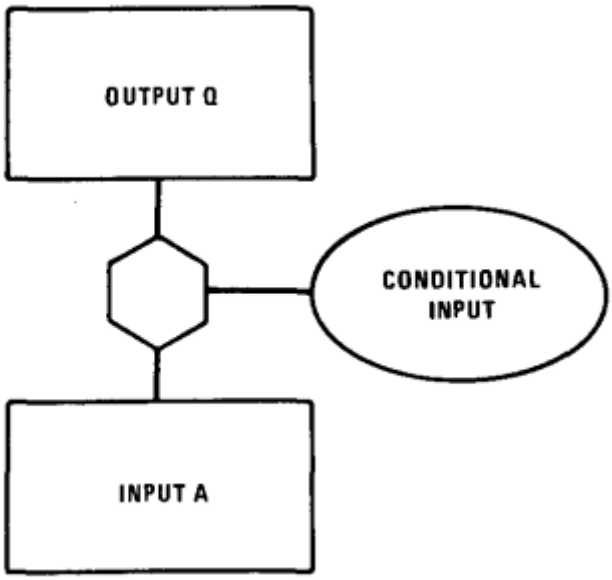
- Πύλες ΚΑΙ

Η πύλη ΚΑΙ, χρησιμοποιείται για να δείξει ότι το συμβάν εξόδου συμβαίνει μόνο όταν όλα τα γεγονότα εισόδου έχουν συμβεί. Μπορεί να υπάρχει οποιοσδήποτε αριθμός συμβάντων εισόδου κάτω από μια πύλη ΚΑΙ.

- Πύλες ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΗ

Η πύλη ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΗ, που συμβολίζεται με το εξάγωνο, είναι μια ειδική περίπτωση της πύλης ΚΑΙ. Το γεγονός εξόδου προκαλείται από μία και μόνο είσοδο αλλά, κάποια προϋπόθεση πρέπει να ικανοποιείται έτσι ώστε το γεγονός εισόδου να μπορέσει να παράγει την έξοδο. Η συνθήκη που πρέπει να υπάρχει είναι η είσοδος υπό όρους. Η περιγραφή αυτής της υπό όρους εισόδου, διατυπώνεται μέσα σε ένα σχήμα έλλειψης στα δεξιά της πύλης. Η εικόνα 21 δείχνει μια τυπική πύλη ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΗ με γεγονός εισόδου το Α, είσοδος υπό όρους το Β και έξοδος Q. Το συμβάν Q συμβαίνει μόνο εάν συμβεί η είσοδος του Α υπό την προϋπόθεση που καθορίζεται από την είσοδο Β.

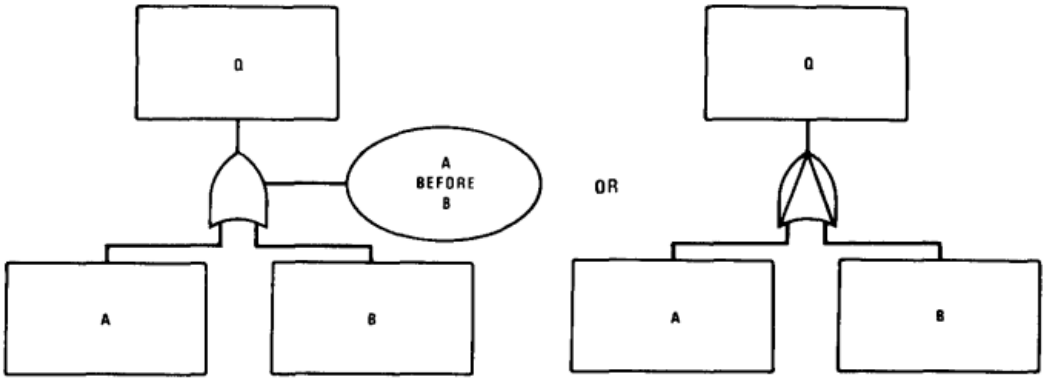
Εικόνα 22 Η πύλη ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΗ



- <u>Πύλες Η ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ</u>

Η πύλη Η ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ, είναι μια ειδική περίπτωση της πύλης Η στην οποία το γεγονός εξόδου θα συμβεί μόνο εάν συμβεί ακριβώς ένα από τα γεγονότα εισόδου. Η εικόνα 22 δείχνει δύο εναλλακτικούς τρόπους απεικόνισης μιας τυπικής Η ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ πύλης με δύο εισόδους.

Εικόνα 23 Πύλες Η ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ

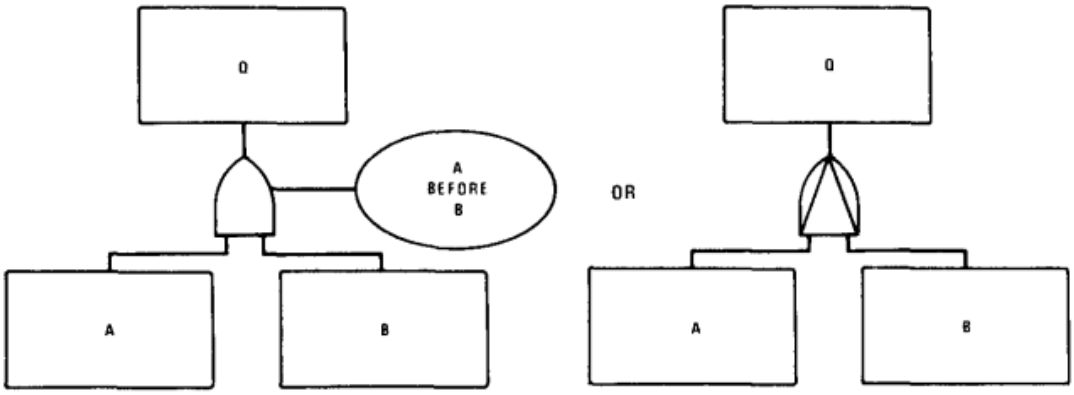


Γενικότερα, η ποσοτική διαφορά μεταξύ της πύλης Η ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ και της πύλης Η είναι τόσο ασήμαντη, που η διάκριση δεν είναι συνήθως απαραίτητη. Σε αυτές τις ειδικές περιπτώσεις όπου η διάκριση είναι σημαντική, μπορεί να ληφθεί υπόψη στην φάση ποσοτικού προσδιορισμού.

- Πύλες ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ

Η πύλη ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ, είναι μια ειδική περίπτωση της πύλης ΚΑΙ στην οποία το γεγονός εξόδου προκύπτει μόνο εάν όλα τα συμβάντα εισόδου, συμβαίνουν σε μια καθορισμένη διατεταγμένη ακολουθία. Η ακολουθία εμφανίζεται συνήθως μέσα σε μια έλλειψη που σχεδιάζεται στα δεξιά της πύλης. Στην πράξη, η ανάγκη ύπαρξης μιας συγκεκριμένης ακολουθίας συνήθως δεν συναντάται. Η εικόνα 23 δείχνει δύο εναλλακτικούς τρόπους απεικόνισης μιας τυπικής πύλης ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ.

Εικόνα 24 Η πύλη ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ

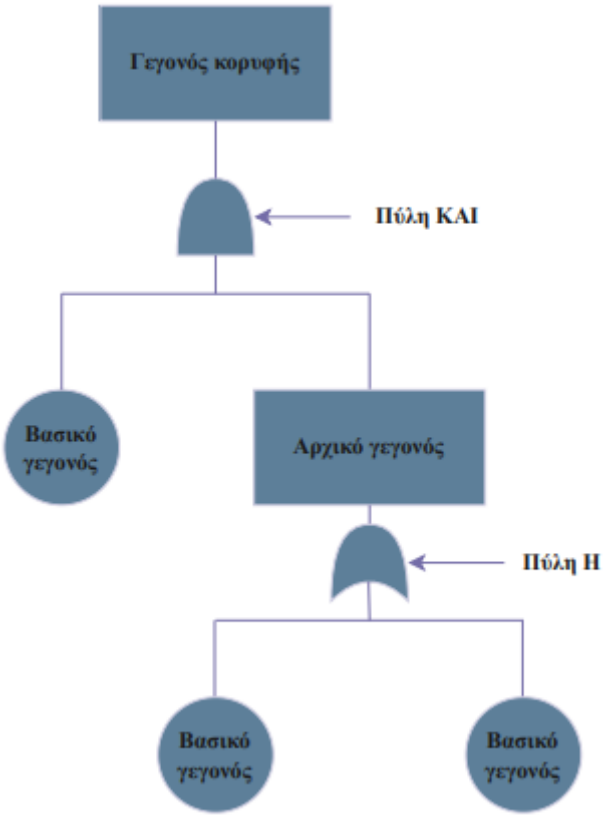


- Μεταφορά Μέσα και Μεταφορά Έξω

Τα παραπάνω λογικά σύμβολα χρησιμοποιούνται για να ενώσουν τμήματα τα οποία δεν είναι συνεχόμενα ή παρουσιάζονται σε ξεχωριστές σελίδες.

Με την βοήθεια των παραπάνω συμβόλων μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα δέντρο βλάβων. Ακολουθεί ένα παράδειγμα κατασκευής απλού δέντρου:

Εικόνα 25 Δέντρο βλαβών



5.1.2 Μεθοδολογία για την κατασκευή δέντρου βλαβών (FTA)

Προκειμένου να κατασκευάσουμε ένα δέντρο βλαβών θα πρέπει να ακολουθήσουμε τα επόμενα βήματα:

1. Ξεκινάμε με τον ορισμό του υπό εξέταση συστήματος, δηλαδή με τον ορισμό των εξαρτημάτων που το αποτελούν, των λειτουργικών τους σχέσεων και των απαιτήσεων σε απόδοση αυτών.
2. Συνεχίζουμε με τον ορισμό του γεγονότος κορυφής και των ορίων της ανάλυσης.
3. Κατασκευάζουμε το δέντρο βλαβών ξεκινώντας με το γεγονός κορυφής και προχωράμε προοδευτικά σε χαμηλότερα επίπεδα ανάλυσης, εντοπίζοντας τα αίτια της βλάβης. Ο εντοπισμός των αιτιών βλάβης, μπορεί να επιφέρει μία ή και περισσότερες αιτίες, πάντα όμως μέχρι το όριο ανάλυσης που έχει προκαθοριστεί στο βήμα 2.
4. Εκτίμηση της πιθανότητας τα προκύψει κάθε ένα από τα αίτια βλάβης.
5. Αναγνώριση κάθε πιθανής βλάβης κοινής αιτίας (common cause failure).
6. Υπολογισμός της πιθανότητας να συμβεί η βλάβη που αναφέρεται στο γεγονός κορυφής.

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα βήματα 4 και 5 είναι επιθυμητά μεν, άλλα όχι αναγκαία στοιχεία της FTA. Για παράδειγμα, για κάποια είδη μηχανολογικού εξοπλισμού είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατον, να εκτιμηθούν οι πιθανότητες στο βήμα 4.

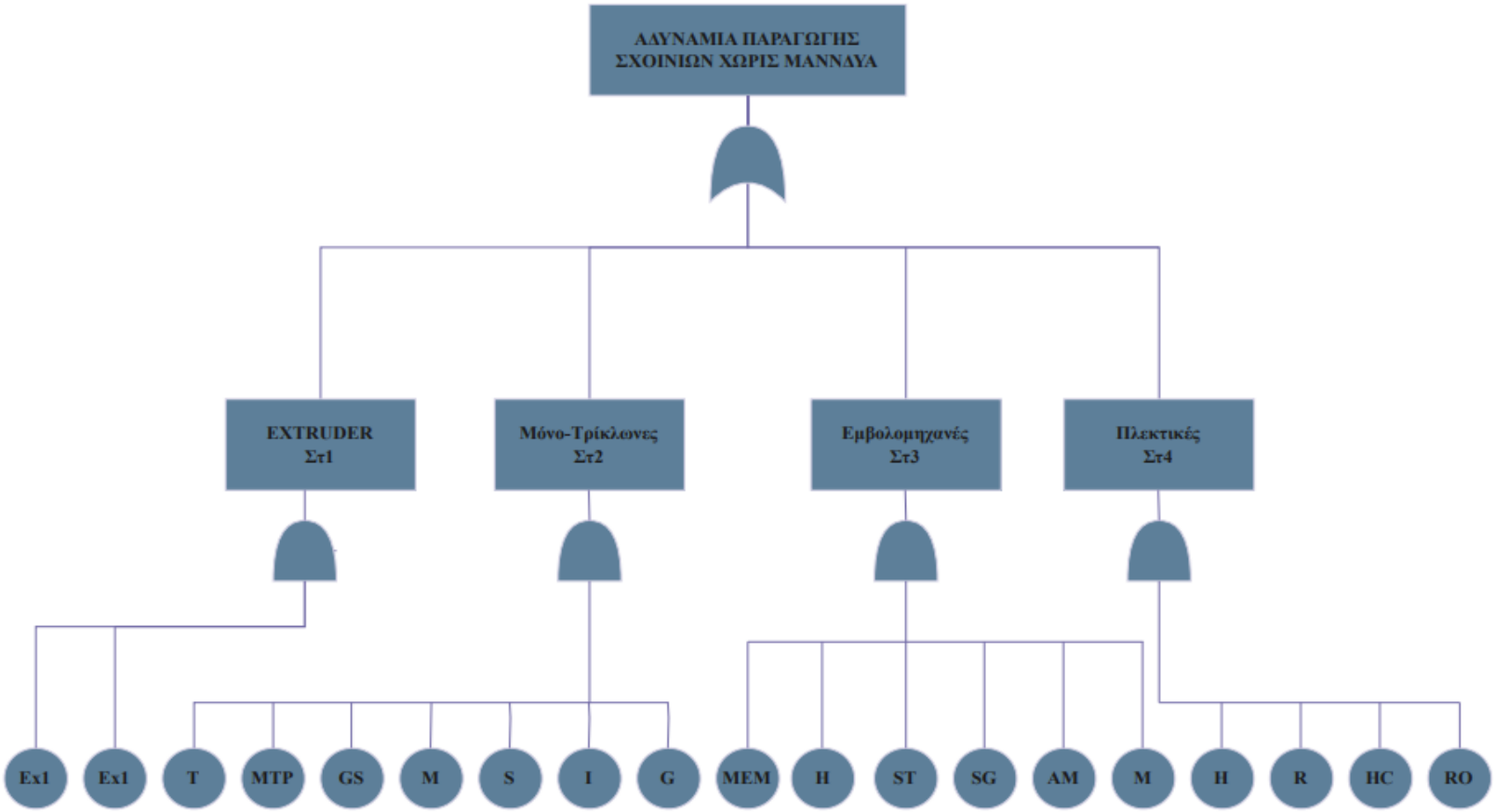
5.2 Ανάλυση συστήματος με δέντρα βλαβών

Για κάθε ένα από τα δέντρα βλαβών που θα σχεδιάσουμε στην συνέχεια, ορίζουμε κάθε φορά, σαν γεγονός κορυφής την αδυναμία παραγωγής σχοινιών οποιουδήποτε είδους εξετάζουμε κάθε φορά (π.χ. με εξωτερικό μανδύα ή χωρίς). Επίσης, θεωρούμαι ότι κάθε στάδιο παραγωγής λειτουργεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Θα σχεδιάσουμε 5 Δέντρα Βλαβών, όσα και τα διαγράμματα παραγωγικής ροής που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2 και συνοψίζουν τις 5 βασικές γραμμές παραγωγής του εργοστασίου.

5.2.1 Ανάλυση διαγράμματος παραγωγικής ροής Α, με δέντρο βλαβών

Αρχίζουμε σχηματίζοντας το δέντρο βλαβών για το διάγραμμα παραγωγικής ροής Α, την παραγωγή δηλαδή σχοινιών, χωρίς εξωτερικό μανδύα:

Εικόνα 26 Δέντρο βλαβών ‘’Διάγραμμα παραγωγικής ροής Α’’



Έχουμε ήδη υπολογίσει στο κεφάλαιο 4 την αξιοπιστία R, και την πιθανότητα βλάβης F, για κάθε ομάδα μηχανών ή αλλιώς υποσύστημα του δέντρου βλαβών, που παρουσιάζονται στο παραπάνω σχήμα. Οπότε, γνωρίζοντας ότι κάθε ομάδα μηχανών συνδέεται με τις υπόλοιπες του σταδίου της παράλληλα, και έχοντας υπολογίσει τα αντίστοιχα R_S και F_S, έχουμε :

$F_{S(1)}$= 5,994 x 10^{-5}

$R_{S(1)}$= 0,9999

$F_{S(2)}$= 5,26176 x 10^{-21}

$R_{S(2)}$= 1

$F_{S(3)}$= 1,1377 x 10^{-18}

$R_{S(3)}$= 1

$F_{S(4)}$= 1,8945 x 10^{-11}

$R_{S(4)}$= 1

Στο Δέντρο Βλαβών της εικόνας 26 βλέπουμε ότι για να σταματήσει η παραγωγή σχοινιών χωρίς εξωτερικό μανδύα, θα πρέπει να υποστεί βλάβη ή το Στάδιο παραγωγής 1, ή το Στάδιο παραγωγής 2, ή το Στάδιο παραγωγής 3, ή το Στάδιο παραγωγής 4.
Άρα, και εφόσον τα στάδια παραγωγής 1, 2, 3, και 4 είναι συνδεδεμένα σε σειρά, έχουμε:

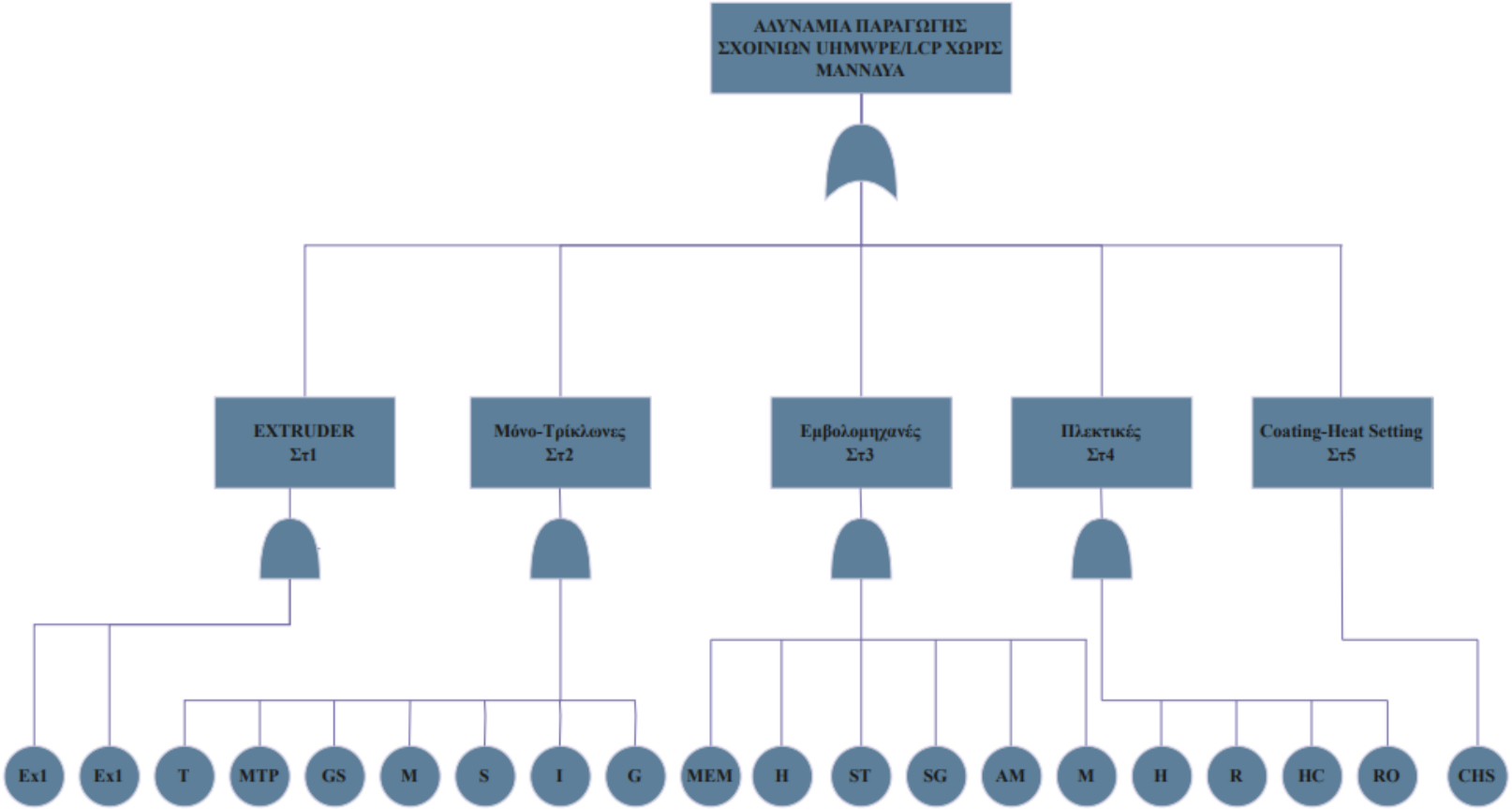
R(Διάγρ. Ροής Α) = $R_{S(1)}$ x $R_{S(2)}$ x $R_{S(3)}$ x $R_{S(4)}$ = 0,9999 x 1 x1 x 1 = **0,9999**

F(Διάγρ Ροής Α) = 1 - $R_{(\text{Διάγμ. Ροής Α})}$ = **0,0001**

5.2.2 Ανάλυση διαγράμματος παραγωγικής ροής Β, με δέντρο βλαβών

Συνεχίζουμε με το σχεδιασμό του δέντρου βλαβών για το διάγραμμα παραγωγικής ροής Β, που αφορά την παραγωγή σχοινιών UHMWPE/LCP, χωρίς εξωτερικό μανδύα:

Εικόνα 27 Δέντρο βλαβών ‘’Διάγραμμα παραγωγικής ροής Β’’



Την αξιοπιστία R και την αναξιοπιστία F για τα στάδια παραγωγής από 1 έως και 5, για παράλληλη σύνδεση, τα έχουμε υπολογίσει στο κεφάλαιο 4 και είναι:

$F_{S(1)}$= 5,994 x 10^{-5}

$R_{S(1)}$= 0,9999

$F_{S(2)}$= 5,26176 x 10^{-21}

$R_{S(2)}$= 1

$F_{S(3)}$= 1,1377 x 10^{-18}

$R_{S(3)}$= 1

$F_{S(4)}$= 1,8945 x 10^{-11}

$R_{S(4)}$= 1

$F_{S(5)}$= 0,0063

$R_{S(5)}$= 0,9937

Από το δέντρο βλαβών της εικόνας 27 προκύπτει ότι για να σταματήσει η παραγωγή σχοινιών UHMWPE/LCP, χωρίς εξωτερικό μανδύα, θα πρέπει να υποστεί βλάβη ή το Στάδιο παραγωγής 1, ή το Στάδιο παραγωγής 2, ή το Στάδιο παραγωγής 3, ή το Στάδιο παραγωγής 4, ή το Στάδιο παραγωγής 5.
Οπότε, εφόσον τα στάδια παραγωγής 1, 2, 3, 4 και 5 είναι συνδεδεμένα σε σειρά, έχουμε:

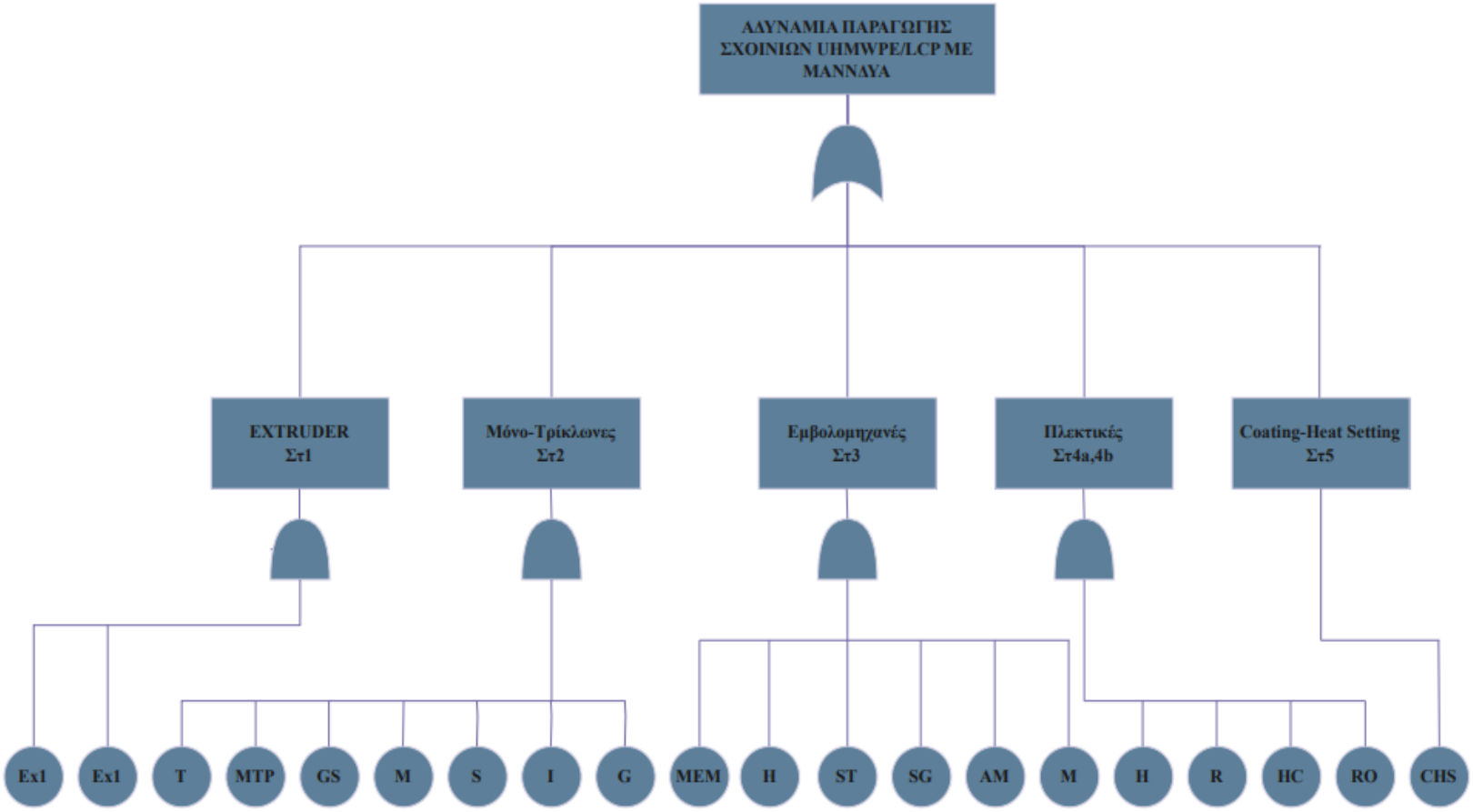
R(Διάγρ. Ροής B) = $R_{S(1)}$ x $R_{S(2)}$ x $R_{S(3)}$ x $R_{S(4)}$ x $R_{S(5)}$ = 0,9999 x 1 x1 x 1 x 0,9937 = **0,9936**

F(Διάγρ Ροής B) = 1 - $R_{(\text{Διάγμ. Ροής B})}$ = **0,0064**

5.2.3 Ανάλυση διαγράμματος παραγωγικής ροής C, με δέντρο βλαβών

Ακολουθεί το δέντρο βλαβών για το διάγραμμα παραγωγικής ροής C, την παραγωγή σχοινιών UHMWPE/LCP, με εξωτερικό μανδύα:

Εικόνα 28 Δέντρο βλαβών ‘’Διάγραμμα παραγωγικής ροής C’’



Να εξηγήσουμε ότι στις μηχανές του Σταδίου παραγωγής 4, δημιουργείται και η καρδιά του σχοινιού αλλά και ο εξωτερικός μανδύας του. Με τις ενδείξεις 4a και 4b στο παραπάνω δέντρο αλλά και στο αντίστοιχο διαγράμματα παραγωγικής ροής του κεφαλαίου 2, τονίζουμε ότι το σχοινί περνάει δύο φορές από το ίδιο στάδιο, με την σειρά που υποδηλώνουν οι δείκτες, προκειμένου να ολοκληρωθεί ο σχηματισμός του. Οι μηχανές του σταδίου λειτουργούν ανεξάρτητα και σε παράλληλη σύνδεση. Στο δέντρο δεν εμφανίζονται κοινά υποσυστήματα, οπότε συνεχίζουμε υπολογίζοντας την αξιοπιστία του συστήματος από κάτω προς τα πάνω, χωρίς να απαιτείται η χρήση ελαχίστων συνόλων διακοπής.

Για τους υπολογισμούς μας, χρησιμοποιούμε τα ίδια R (αξιοπιστία) και F (αναξιοπιστία) για κάθε στάδιο παραγωγής, με αυτά που χρησιμοποιήσαμε για το προηγούμενο δέντρο, που αφορούσε το διάγραμμα παραγωγικής ροής B.

Από το δέντρο βλαβών της εικόνας 28 προκύπτει ότι για να σταματήσει η παραγωγή σχοινιών UHMWPE/LCP, με εξωτερικό μανδύα, θα πρέπει να υποστεί βλάβη ή το Στάδιο παραγωγής 1, ή το Στάδιο παραγωγής 2, ή το Στάδιο παραγωγής 3, ή το Στάδιο παραγωγής 4 (4a + 4b), ή το Στάδιο παραγωγής 5.

Επομένως, για σύνδεση σε σειρά, παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

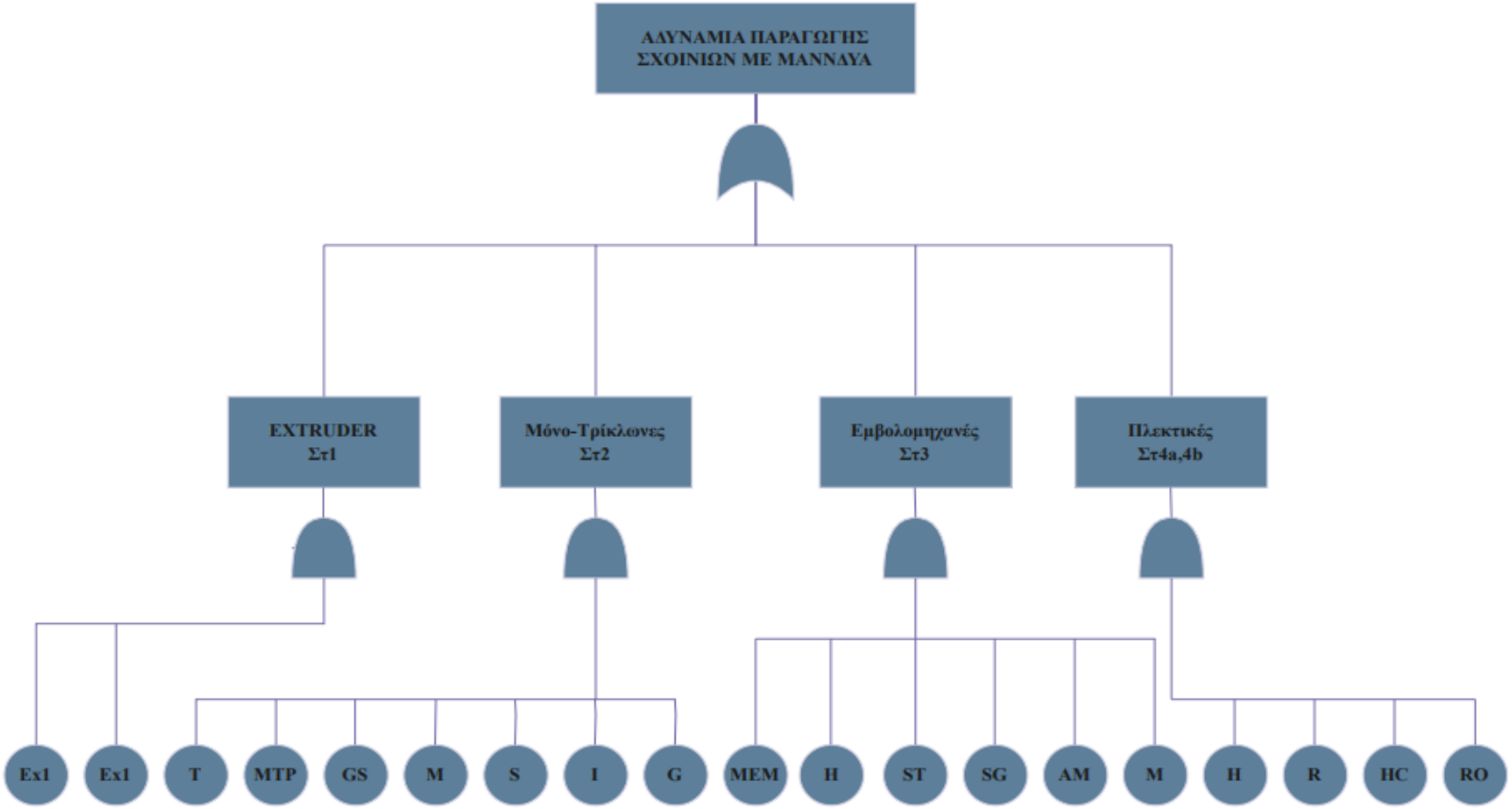
$\mathbf{R_{(Διάγρ.\ Ροής\ C)}} = R_{S(1)} \times R_{S(2)} \times R_{S(3)} \times R_{S(4)} \times R_{S(5)} = 0{,}9999 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0{,}9937 = \mathbf{0{,}9936}$

$\mathbf{F_{(Διάγρ\ Ροής\ C)}} = 1 - R_{(Διάγμ.\ Ροής\ C)} = \mathbf{0{,}0064}$

5.2.4 Ανάλυση διαγράμματος παραγωγικής ροής D, με δέντρο βλαβών

Συνεχίζουμε με το δένδρο βλαβών για το διάγραμμα παραγωγικής ροής D, την παραγωγή σχοινιών με εξωτερικό μανδύα:

Εικόνα 29 Δέντρο βλαβών ‘’Διάγραμμα παραγωγικής ροής D’’



Να διευκρινίσουμε ότι στις μηχανές του Σταδίου παραγωγής 4, δημιουργείται και η καρδιά του σχοινιού αλλά και ο εξωτερικός μανδύας του. Με τις ενδείξεις 4a και 4b στο παραπάνω δέντρο αλλά και στο αντίστοιχο διαγράμματα παραγωγικής ροής του κεφαλαίου 2, τονίζουμε ότι το σχοινί περνάει δύο φορές από το ίδιο στάδιο, με την σειρά που υποδηλώνουν οι δείκτες, προκειμένου να ολοκληρωθεί ο σχηματισμός του. Οι μηχανές του σταδίου λειτουργούν ανεξάρτητα και σε παράλληλη σύνδεση. Στο δέντρο δεν εμφανίζονται κοινά υποσυστήματα, οπότε συνεχίζουμε υπολογίζοντας την αξιοπιστία του συστήματος από κάτω προς τα πάνω, χωρίς να απαιτείται η χρήση ελαχίστων συνόλων διακοπής.
Οι ομάδες μηχανών από τις οποίες αποτελούνται τα Στάδια παραγωγής 1, 2, 3, 4a και 4b, συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα και η αξιοπιστία R και αναξιοπιστία F κάθε ομάδας, έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο 4 και είναι:

$F_{S(1)}$= 5,994 x 10^{-5}

$R_{S(1)}$= 0,9999

$F_{S(2)}$= 5,26176 x 10^{-21}

$R_{S(2)}$= 1

$F_{S(3)}$= 1,1377 x 10^{-18}

$R_{S(3)}$= 1

$F_{S(4)}$= 1,8945 x 10^{-11}

$R_{S(4)}$= 1

Στο δέντρο βλαβών της εικόνας 29 βλέπουμε ότι για να σταματήσει η παραγωγή σχοινιών με εξωτερικό μανδύα, θα πρέπει να υποστεί βλάβη ή το Στάδιο παραγωγής 1, ή το Στάδιο παραγωγής 2, ή το Στάδιο παραγωγής 3, ή το Στάδιο παραγωγής 4 (4a + 4b).
Άρα, και εφόσον τα στάδια παραγωγής 1, 2, 3 και 4 (4a + 4b) είναι συνδεδεμένα σε σειρά, έχουμε:

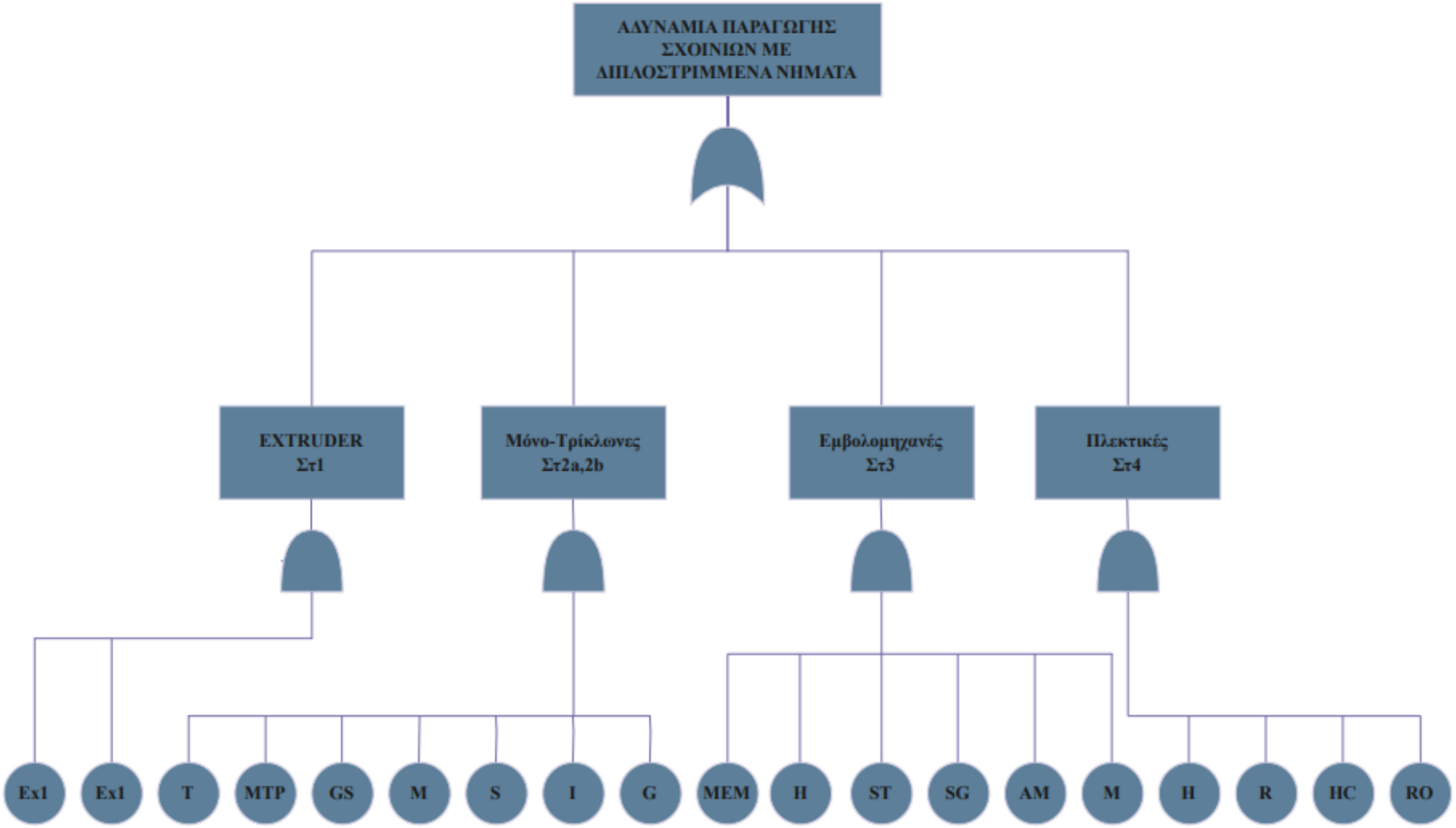
$R_{(\text{Διάγρ. Ροής D})}$ = $R_{S(1)}$ x $R_{S(2)}$ x $R_{S(3)}$ x $R_{S(4)}$ = 0,9999 x 1 x1 x 1 = **0,9999**

$F_{(\text{Διάγρ Ροής D})}$ = 1 - $R_{(\text{Διάγμ. Ροής D})}$ = **0,0001**

5.2.5 Ανάλυση διαγράμματος παραγωγικής ροής Ε, με δέντρο βλαβών

Ολοκληρώνουμε με τον σχηματισμό του δέντρου βλαβών για το διάγραμμα παραγωγικής ροής Ε, που αφορά την παραγωγή σχοινιών με διπλοστριμμένα νήματα, χωρίς εξωτερικό μανδύα:

Εικόνα 30 Δέντρο βλαβών ‘’Διάγραμμα παραγωγικής ροής Ε’’



Να εξηγήσουμε ότι για την παραγωγή αυτού του τύπου σχοινιών, τα νήματα περνούν δύο φορές από το Σταδίου 2, για τον λόγο αυτό χαρακτηρίζονται ως διπλοστριμμένα. Με τις ενδείξεις 2a και 2b στο παραπάνω δέντρο αλλά και στο αντίστοιχο διαγράμματα παραγωγικής ροής του κεφαλαίου 2, τονίζουμε ότι το σχοινί περνάει δύο φορές από το ίδιο στάδιο, με την σειρά που υποδηλώνουν οι δείκτες, προκειμένου να αποκτήσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που θέλουμε. Οι μηχανές του σταδίου λειτουργούν ανεξάρτητα και σε παράλληλη σύνδεση. Στο δέντρο βλαβών δεν εμφανίζονται κοινά υποσυστήματα, οπότε συνεχίζουμε υπολογίζοντας την αξιοπιστία του συστήματος από κάτω προς τα πάνω, χωρίς να απαιτείται η χρήση ελαχίστων συνόλων διακοπής.

Οι ομάδες μηχανών από τις οποίες αποτελούνται τα Στάδια παραγωγής 1, 2 (2a + 2b), 3 και 4, συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα και η αξιοπιστία R και αναξιοπιστία F κάθε ομάδας, έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο 4 και είναι:

$F_{S(1)}$= 5,994 x 10^{-5}

$R_{S(1)}$= 0,9999

$F_{S(2)}$= 5,26176 x 10^{-21}

$R_{S(2)}$= 1

$F_{S(3)}$= 1,1377 x 10^{-18}

$R_{S(3)}$= 1

$F_{S(4)}$= 1,8945 x 10^{-11}

$R_{S(4)}$= 1

Στο δέντρο βλαβών της εικόνας 30 βλέπουμε ότι για να σταματήσει η παραγωγή σχοινιών με διπλοστριμμένα νήματα, θα πρέπει να υποστεί βλάβη ή το Στάδιο παραγωγής 1, ή το Στάδιο παραγωγής 2 (2a + 2b), ή το Στάδιο παραγωγής 3, ή το Στάδιο παραγωγής 4.

Άρα, και εφόσον τα στάδια παραγωγής 1, 2, 3 και 4 (4a + 4b) είναι συνδεδεμένα σε σειρά, έχουμε:

$\mathbf{R_{(Διάγρ.\ Ροής\ E)}}$ = $R_{S(1)}$ x $R_{S(2)}$ x $R_{S(3)}$ x $R_{S(4)}$ = 0,9999 x 1 x1 x 1 = **0,9999**

$\mathbf{F_{(Διάγρ\ Ροής\ E)}}$ = 1 - $R_{(Διάγμ.\ Ροής\ E)}$ = **0,0001**

Διαπιστώνουμε ότι η αξιοπιστία **R** και η πιθανότητα βλάβης **F** (αναξιοπιστία) είναι ίδια για τα σχοινιά παραγωγής χωρίς εξωτερικό μανδύα (εικόνα 26), για τα σχοινιά με εξωτερικό μανδύα (εικόνα 29) και για τα σχοινιά με διπλοστριμμένα νήματα (εικόνα 30), και είναι **R = 0,9999** και **F = 0,0001**. Το συμπέρασμα είναι λογικό καθώς και οι τρεις προηγούμενες

γραμμές παραγωγής μοιράζονται κοινές μονάδες και υποσυστήματα, όπως άλλωστε διαπιστώνουμε παρατηρώντας τα αντίστοιχα δέντρα βλαβών. Αντίστοιχα, ίδιο **R** και **F** βρίσκουμε για την παραγωγή σχοινιών UHMWPE/LCP, χωρίς εξωτερικό μανδύα (εικόνα 27) αλλά και με εξωτερικό μανδύα (εικόνα 28), και είναι **R = 0,9936** και **F = 0,0064**. Ξανά το συμπέρασμα δείχνει λογικό εφόσον και οι δύο προηγούμενες γραμμές παραγωγής μοιράζονται κοινές μονάδες και υποσυστήματα, όπως άλλωστε επιβεβαιώνουν και τα αντίστοιχα δέντρα βλαβών.

6 Βελτιστοποίηση του συστήματος

Οι αξιοπιστίες R και οι πιθανότητες βλάβης F, κάθε ενός σταδίου παραγωγής υπολογίστηκαν και παρατίθενται παρακάτω:

$F_{S(1)}$= 5,994 x 10^{-5}

$R_{S(1)}$= 0,9999

$F_{S(2)}$= 5,26176 x 10^{-21}

$R_{S(2)}$= 1

$F_{S(3)}$= 1,1377 x 10^{-18}

$R_{S(3)}$= 1

$F_{S(4)}$= 1,8945 x 10^{-11}

$R_{S(4)}$= 1

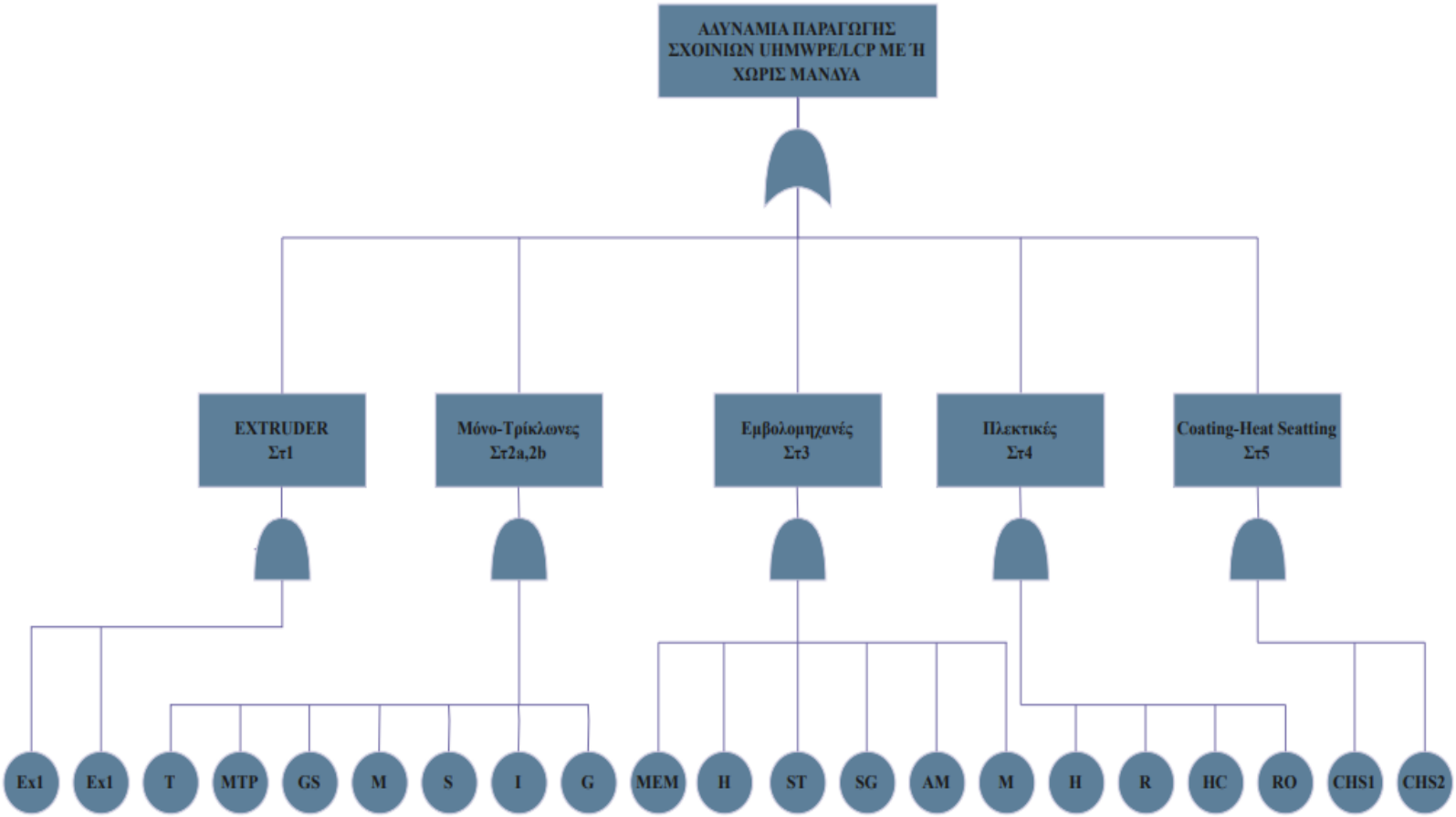
$F_{S(5)}$= 0,0063

$R_{S(5)}$= 0,9937

Διαπιστώνουμε γενικότερα τιμές του R πολύ κοντά στην μονάδα και πολύ μικρές τιμές του F. Με εξαίρεση την πιθανότητα $F_{S(5)}$= 0,0063, όλες οι υπόλοιπες αντίστοιχες πιθανότητες, $F_{S(1)}$, $F_{S(2)}$, $F_{S(3)}$ και $F_{S(4)}$, είναι προσεγγιστικά ίσες με 0. Επίσης, όπως παρουσιάστηκε ήδη στα προηγούμενα κεφάλαια, το στάδιο παραγωγής 5 λειτουργεί μόνο με μία μηχανή, την ROCK B με αξιοπιστία $R_{S(5)}$= 0,9937. Παρά την φαινομενικά μεγάλη αξιοπιστία της, εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι εφόσον η συγκεκριμένη μηχανή πάθει βλάβη, δεν υπάρχει άλλη που να μπορεί να την αντικαταστήσει στην γραμμή παραγωγής ώστε να μην διακοπεί η παραγωγή. Επομένως, στο Στάδιο παραγωγής 5 υπάρχει χώρος για βελτίωση της αξιοπιστίας με την προσθήκη μιας ακόμη μηχανής για την εκτέλεση της διεργασίας Coating-Heat Setting των σχοινιών UHMWPE/LCP.

Παραθέτουμε το βελτιωμένο δέντρο βλαβών μετά την προσθήκη της δεύτερης μηχανής Coating-Heat Setting. Το δέντρο αφορά μόνο την παραγωγή σχοινιών UHMWPE/LCP, με ή χωρίς μανδύα και τα αντίστοιχα διαγράμματα παραγωγικής ροής του κεφαλαίου 2:

Εικόνα 31 Βελτιωμένο δέντρο βλαβών



Στο παραπάνω δέντρο, το κουτί με περιγραφή Στ4a, 4b έχει αντικατασταθεί από την περιγραφή Στ4, απλά και μόνο επειδή όπως είδαμε και προηγουμένως στο κεφάλαιο 5, οι διεργασίες που αφορούν τα στάδια Στ4a και Στ4b γίνονται από τις μηχανές του σταδίου παραγωγής 4 οι οποίες λειτουργούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Για τον υπολογισμό της συνολικής αξιοπιστίας του παραπάνω συστήματος, θεωρούμε ότι η δεύτερη μηχανή Coating-Heat Setting (CHS 2) έχει την ίδια αξιοπιστία και αναξιοπιστία με την πρώτη μηχανή (CHS 1) και ίση με:

$$R_{Coating/Heat\ 2} = 0.9937$$

$$F_{Coating/Heat\ 2} = 0,0063$$

Επομένως, για παράλληλη σύνδεση, η νέα αξιοπιστία $R_{S(5)}$ και πιθανότητα βλάβης $F_{S(5)}$ του σταδίου 5 με τις δύο πλέον μηχανές είναι:

$$F_{S(5)} = \bar{F}_{Coating/Heat\ 1} \bullet F_{Coating/Heat\ 2} =$$
$$= 0,0063 \bullet 0,0063 = 3,969 \bullet 10^{-3}$$
$$R_{S(5)} = 1 - F_{S(5)} = 0,9999$$

Διαπιστώνουμε ότι η αξιοπιστία του σταδίου 5 βελτιώθηκε και πλέον προσεγγίζει αυτές των υπολοίπων σταδίων παραγωγής.

Στο δέντρο βλαβών της εικόνας 31 βλέπουμε ότι για να σταματήσει η παραγωγή σχοινιών UHMWPE/LCP με ή χωρίς μανδύα, θα πρέπει να υποστεί βλάβη ή το Στάδιο παραγωγής 1, ή το Στάδιο παραγωγής 2, ή το Στάδιο παραγωγής 3, ή το Στάδιο παραγωγής 4, ή το Στάδιο παραγωγής 5.

Άρα, και εφόσον τα στάδια παραγωγής 1, 2, 3, 4 και 5 είναι συνδεδεμένα σε σειρά, έχουμε:

R(Βελτιωμένο) = $R_{S(1)}$ x $R_{S(2)}$ x $R_{S(3)}$ x $R_{S(4)}$ x $R_{S(5)}$ = 0,9999 x 1 x1 x 1 x 0,9999= **0,9998**

F(Βελτιωμένο) = 1 - $R_{(Βελτιωμένο)}$ = **0,0002**

Και επειδή 0,9998 > 0,9936 και 0,0002 < 0,0064 (μείωση πιθανότητας αστοχίας κατά 70%), το σύστημά μας έχει βελτιωθεί.

7 Συμπεράσματα μελέτης

Για την εκτίμηση της αξιοπιστίας σε αυτή την εργασία, βασιστήκαμε σε ενδοεταιρικά δεδομένα 11 ετών από το χώρο παραγωγής της εταιρείας. Αυτό μας έδωσε την δυνατότητα να αξιοποιήσουμε ένα ικανοποιητικό πλήθος δεδομένων, 109 καταγραφές στο σύνολό τους, που όμως αναφέρονταν σε ένα ανομοιογενές πληθυσμό μηχανών διαφορετικής ηλικίας και προέλευσης. Ο στατιστικός έλεγχος κατανομής των δεδομένων μας, δεν υπέδειξε κάποια κατανομή ως ικανή να περιγράψει την καμπύλη των καταγεγραμμένων χρόνων ζωής και βλαβών, πιθανότατα λόγο της ανομοιογένειας του δείγματος. Για τον λόγο αυτό, η εκτίμηση της αξιοπιστίας έγινε με τη χρήση μη παραμετρικής μεθόδου, αξιοποιώντας τους νεκρούς χρόνους των μηχανών και τον αναμενόμενο χρόνο λειτουργίας της κάθε μηχανής. Ο υπολογισμός της αξιοπιστίας αρχικά έγινε για κάθε στάδιο παραγωγής ξεχωριστά, και για κάθε εμπλεκόμενη ομάδα μηχανών. Ακολούθως, αξιοποιώντας τις υπολογισμένες αξιοπιστείες των υποσυστημάτων, υπολογίσαμε τις αξιοπιστείες για κάθε μία από τις 5 διαφορετικές γραμμές παραγωγής, όπως αυτές παρουσιάστηκαν στα αντίστοιχα διαγράμματα παραγωγικής ροής του κεφαλαίου 2. Τα κοινά αποτελέσματα στον υπολογισμό των R_S (αξιοπιστία) και F_S (αναξιοπιστία) σε κάποια από τα δέντρα βλαβών, οφείλονται στην χρήση των ίδιων σταδίων παραγωγής (κοινά υποσυστήματα) από τα συγκεκριμένα δέντρα. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν υψηλά ποσοστά αξιοπιστίας τόσο για κάθε ομάδα μηχανών ξεχωριστά, όσο και για κάθε ένα από τα 5 δέντρα βλαβών του κεφαλαίου 6. Την μεγαλύτερη τιμή αξιοπιστίας, R_S= 0,9999, την βρήκαμε στα δέντρα βλαβών A, D και E, ενώ για τα δέντρα βλαβών B και C, που αντιστοιχούν στην παραγωγή σχοινιών UHMWPE/LCP χωρίς εξωτερικό μανδύα και με εξωτερικό μανδύα αντίστοιχα, υπολογίσαμε την μικρότερη τιμή αυτής, R_S= 0,9936. Η μικρότερη τιμή της αξιοπιστίας είδαμε ότι οφείλεται στην ύπαρξη μόνο μίας μηχανής στο στάδιο παραγωγής 5. Για αυτό το στάδιο προτείναμε την εισαγωγή τουλάχιστον μίας ακόμη μηχανής, με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας και κατ' επέκταση και της διαθεσιμότητας του συγκεκριμένου σταδίου παραγωγής. Ο υπολογισμός της αξιοπιστίας για το βελτιωμένο δέντρο βλαβών είναι $R_{S(\text{Βελτιωμένο})}$ = 0,9998.

Γενικότερα διαπιστώνουμε μεγάλα ποσοστά αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας συνολικά για τις υφιστάμενες γραμμές παραγωγής του εργοστασίου, το οποίο οφείλεται στην σωστή

συντήρηση των μηχανών και στο επαρκώς εκπαιδευμένο προσωπικό του. Την αποτελεσματικότητα του μηχανισμού μπορούμε να τη διαπιστώσουμε επίσης από τον πίνακα της μελέτης PFMEA του κεφαλαίου 3, παρατηρώντας ότι όλοι οι δείκτες RPN είναι κάτω από το 130, για τις εκτιμήσεις του δείκτη που έγιναν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών ενεργειών. Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι και πριν την εφαρμογή των διορθωτικών ενεργειών, οι δείκτες RPN κυμαίνονταν σε χαμηλά επίπεδα, μόνο δύο από αυτούς ήταν πάνω από 130, RPN= 144, και κανένας δεν βρέθηκε πάνω από 900 (υποδηλώνει πιθανό κίνδυνο ασφάλειας).

Βιβλιογραφία

1. Ναυτικό Επιμελητήριο της Ελλάδος. Ανακτήθηκε από Ελληνική Ναυτιλία (nee.gr)
2. Βικιπαιδεία. Ανακτήθηκε από Ελληνική ναυτιλία - Βικιπαίδεια (wikipedia.org)
3. Οικονομικός Ταχυδρόμος. Ανακτήθηκε από ΕΕΕ: Κορυφαία ναυτιλιακή δύναμη στον κόσμο η Ελλάδα - Οικονομικός Ταχυδρόμος - ot.gr
4. OCIMF. Ανακτήθηκε από About OCIMF
5. Isalos.net. Ανακτήθηκε από Η Ελληνική Ναυτιλία – Isalos.net
6. Χαράλαμπος Αγγελόπουλος (2000), ‘’Προγραμματισμός για την Ποιότητα’’, Τόμος Α’, Σχεδιασμός για την Ποιότητα.
7. Ιωάννης Μπακούρος (2002), ‘’Ειδικά θέματα για την Ποιότητα’’, Τόμος Δ’, Αξιοπιστία και Συντήρηση.
8. Στέλιος Στεφανάτος (2000), ‘’Ολική Ποιότητα’’, Τόμος Β’, Ολική Ποιότητα.
9. Μάρκος Κούτρας (2008), ‘’ ’Ειδικά θέματα για την Ποιότητα’’, Τευχίδιο Δ’, Θέματα Αξιοπιστίας Συστημάτων.
10. Ιωάννης Κουτρουβέλης (1999), ‘’Βασικά Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας’’, Τόμος Α’, Πιθανότητες και Στατιστική Ι.
11. McDermott, Robin E. Et al. (1996), The Basics of FMEA, New York: Quality Resources Inc.
12. Journal of the American Statistical Association, Vol 53 (1958), σελ. 457 – 481.
13. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Volume 13 (2021), pages 306 – 320.
14. McKenna et al., (2004), H.A. McKenna, J.W.S. Hearle, N. O'Hear, Handbook of Fibre Rope Technology, Woodhead Publishing, Cambridge (2004).
15. Martin Walker, Yiannis Papadopoulos (2009), Qualitative temporal analysis: Towards a full implementation of the Fault Tree Handbook, Control Engineering Practice, Volume 17, Issue 10, pages 1115 – 1117.

16. Vesely, Goldberg, Roberts, & Haasl, (1981), Fault Tree Handbook, pages II-2 - II-4 & IV-1 – IV-11.

17. Kishor S. Trivedi, Andrea Bobbio, (2017), Reliability and Availability Engineering: Modeling, Analysis, and Applications.

18. Kishor S. Trivedi, (2001), Probability and Statistics with Reliability, Queuing and Computer Science Applications 2e.

19. Sheldon M. Ross, (2013), Simulation 5th Edition.

20. Sheldon M. Ross, (2021), Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists 6th Edition.

21. Sheldon M. Ross, (2019), Introduction to Probability Models 12th Edition.

22. Lamport L., (1994). LaTeX: A Document Preparation System., Addison-Wesley Professional, 2nd Edition.

Παράρτημα Α: «1ος Στατιστικός έλεγχος κατανομής δεδομένων – γραμμή παραγωγής (συστήματος), με το Minitab»

WORKSHEET 1

Distribution ID Plot: C1

3-Parameter Weibull

* WARNING * Newton-Raphson algorithm has not converged after 100 iterations.

* WARNING * Convergence has not been reached for the parameter estimates criterion.

3-Parameter Lognormal

* WARNING * Newton-Raphson algorithm has not converged after 100 iterations.

* WARNING * Convergence has not been reached for the parameter estimates criterion.

2-Parameter Exponential

* WARNING * Variance/Covariance matrix of estimated parameters does not exist. The threshold

parameter is assumed fixed when calculating confidence intervals.

3-Parameter Loglogistic

* WARNING * Newton-Raphson algorithm has not converged after 100 iterations.

* WARNING * Convergence has not been reached for the parameter estimates criterion.

Goodness-of-Fit

Distribution	**Anderson-Darling (adj)**
Weibull	6,194
Lognormal	11,289
Exponential	9,464
Loglogistic	7,452
3-Parameter Weibull	1,864

3-Parameter Lognormal	2,582
2-Parameter Exponential	9,471
3-Parameter Loglogistic	2,331
Smallest Extreme Value	1,838
Normal	2,553
Logistic	2,298

Table of Percentiles

Distribution	Percent	Percentile	Standard Error	95% CI Lower	95% CI Upper
Weibull	1	113,559	32,4035	64,9134	198,659
Lognormal	1	73,1787	17,5202	45,7712	116,998
Exponential	1	22,5793	2,16271	18,7146	27,2421
Loglogistic	1	134,352	34,7301	80,9479	222,987
3-Parameter Weibull	1	-1523,35	362,777	-2234,38	-812,323
3-Parameter Lognormal	1	-553,576	217,908	-980,668	-126,484
2-Parameter Exponential	1	12,9766	2,17204	8,71946	17,2337
3-Parameter Loglogistic	1	-979,993	287,580	-1543,64	-416,346
Smallest Extreme Value	1	-1703,97	394,071	-2476,34	-931,604
Normal	1	-584,768	224,420	-1024,62	-144,913
Logistic	1	-1032,02	297,486	-1615,09	-448,962

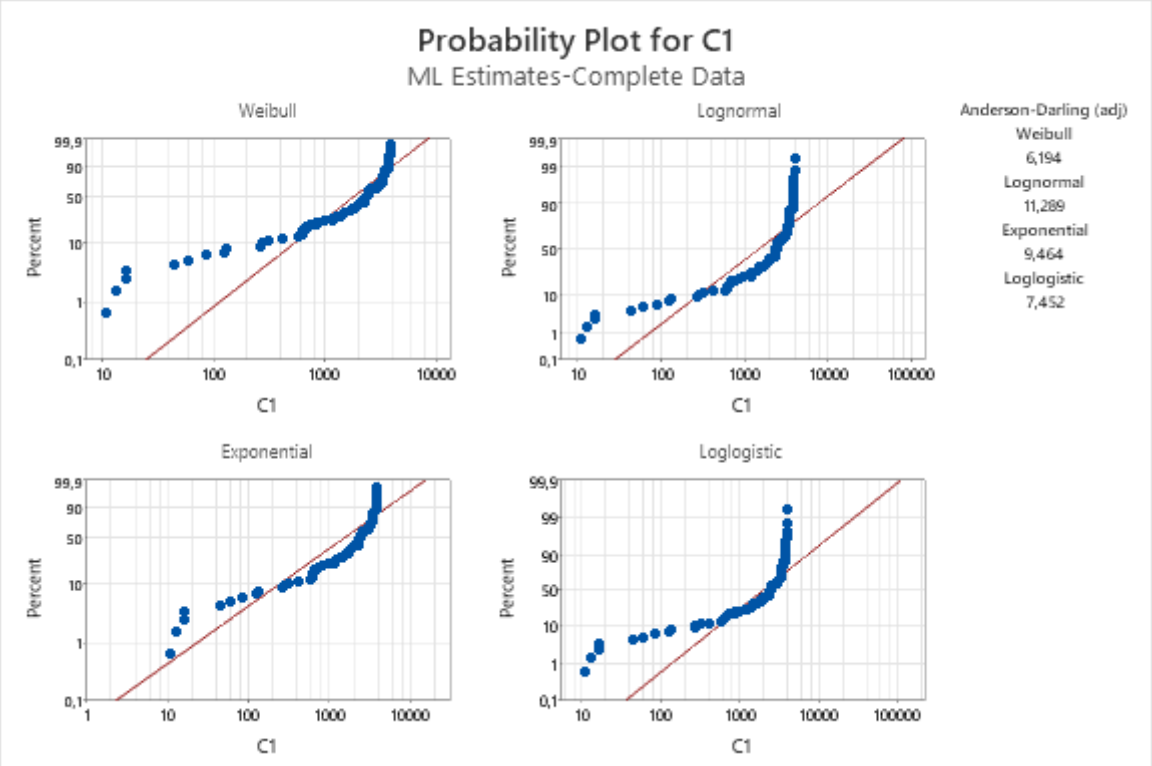
Weibull	5	335,987	65,8098	228,874	493,227
Lognormal	5	177,288	33,8202	121,984	257,667
Exponential	5	115,237	11,0377	95,5126	139,034
Loglogistic	5	351,497	64,7985	244,908	504,476
3-Parameter Weibull	5	-40,1126	260,076	-549,852	469,627
3-Parameter Lognormal	5	256,933	175,082	-86,2225	600,088
2-Parameter Exponential	5	106,034	11,0853	84,3072	127,761
3-Parameter Loglogistic	5	193,193	211,105	-220,565	606,951
Smallest Extreme Value	5	-98,9680	274,875	-637,713	439,777
Normal	5	244,677	178,814	-105,793	595,146
Logistic	5	174,279	215,662	-248,412	596,969
Weibull	10	542,466	85,5099	398,287	738,837
Lognormal	10	284,149	47,6903	204,496	394,828
Exponential	10	236,705	22,6723	196,190	285,587
Loglogistic	10	543,240	83,3067	402,216	733,711
3-Parameter Weibull	10	633,446	215,084	211,888	1055,00
3-Parameter Lognormal	10	691,947	154,757	388,629	995,265
2-Parameter Exponential	10	228,027	22,7702	183,399	272,656
3-Parameter Loglogistic	10	729,423	179,711	377,195	1081,65

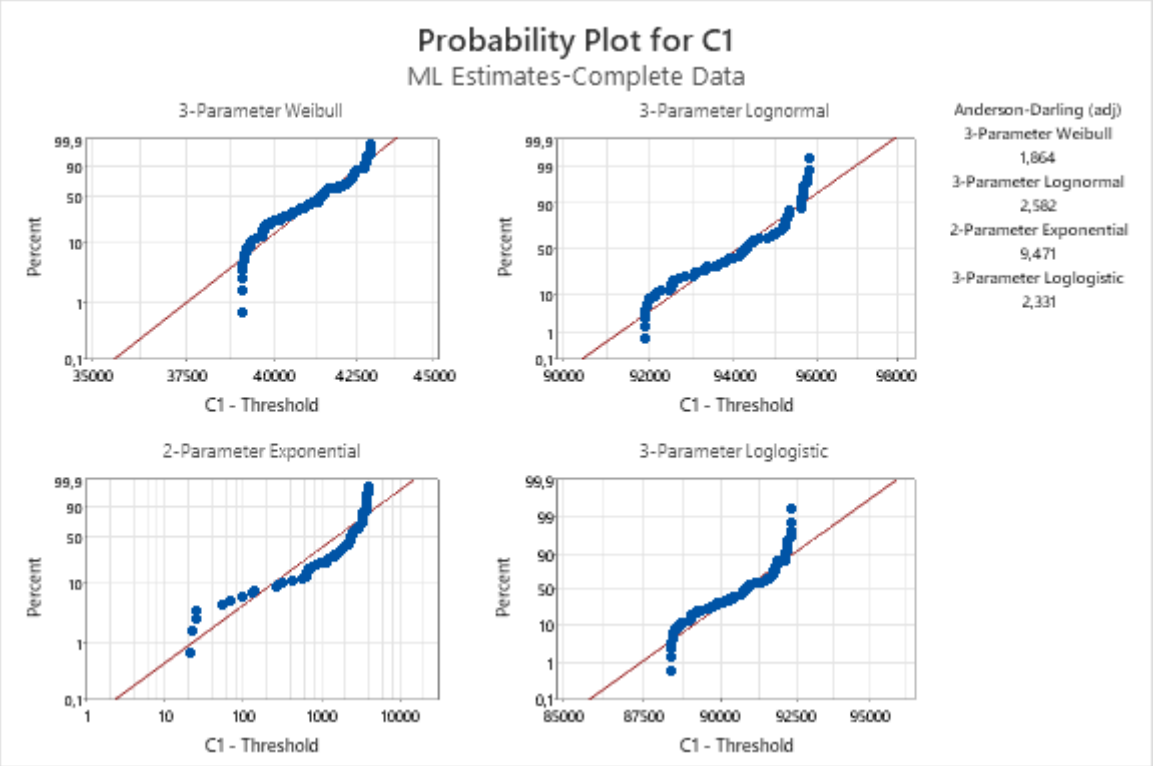
Smallest Extreme Value	10	609,840	224,054	170,703 1048,98
Normal	10	686,851	157,322	378,505 995,196
Logistic	10	720,336	182,546	362,553 1078,12
Weibull	50	1900,46	139,849	1645,21 2195,31
Lognormal	50	1500,43	186,604	1175,86 1914,60
Exponential	50	1557,24	149,157	1290,70 1878,82
Loglogistic	50	1954,18	181,316	1629,25 2343,92
3-Parameter Weibull	50	2451,75	111,733	2232,76 2670,75
3-Parameter Lognormal	50	2242,93	116,889	2013,83 2472,03
2-Parameter Exponential	50	1554,26	149,801	1260,66 1847,87
3-Parameter Loglogistic	50	2325,11	124,963	2080,19 2570,04
Smallest Extreme Value	50	2464,86	111,474	2246,37 2683,34
Normal	50	2246,62	116,577	2018,14 2475,11
Logistic	50	2326,05	124,730	2081,58 2570,51

Table of MTTF

			95% Normal CI	
Distribution	**Mean**	**Standard Error**	**Lower**	**Upper**
Weibull	2189,09	140,072	1931,07	2481,59
Lognormal	3485,85	588,536	2503,78	4853,13
Exponential	2246,62	215,187	1862,09	2710,57
Loglogistic	3700,93	536,561	2785,50	4917,20
3-Parameter Weibull	2263,30	118,663	2030,73	2495,88

3-Parameter Lognormal	2250,84	116,909	2021,70	2479,98
2-Parameter Exponential	2246,62	216,117	1823,04	2670,20
3-Parameter Loglogistic	2334,85	124,899	2090,05	2579,64
Smallest Extreme Value	2257,38	120,817	2020,58	2494,18
Normal	2246,62	116,577	2018,14	2475,11
Logistic	2326,05	124,730	2081,58	2570,51




Probability Plot for C1
ML Estimates-Complete Data
3-Parameter Weibull
3-Parameter Lognormal
2-Parameter Exponential
3-Parameter Loglogistic
Percent
C1 - Threshold
Anderson-Darling (adj)
3-Parameter Weibull
1,864
3-Parameter Lognormal
2,582
2-Parameter Exponential
9,471
3-Parameter Loglogistic
2,331

Παράρτημα Β: «2ος Στατιστικός έλεγχος κατανομής δεδομένων – μηχανής (μονάδας), με το Minitab»

WORKSHEET 1

Distribution ID Plot: C2

3-Parameter Lognormal

* WARNING * Newton-Raphson algorithm has not converged after 100 iterations.

* WARNING * Convergence has not been reached for the log-likelihood criterion.

* WARNING * Convergence has not been reached for the parameter estimates criterion.

2-Parameter Exponential

* WARNING * Variance/Covariance matrix of estimated parameters does not exist. The threshold

parameter is assumed fixed when calculating confidence intervals.

3-Parameter Loglogistic

* WARNING * Newton-Raphson algorithm has not converged after 100 iterations.

* WARNING * Convergence has not been reached for the parameter estimates criterion.

Goodness-of-Fit

Distribution	**Anderson-Darling (adj)**
Weibull	1,428
Lognormal	1,809
Exponential	2,126
Loglogistic	1,361
3-Parameter Weibull	1,140
3-Parameter Lognormal	1,180

2-Parameter Exponential	2,171
3-Parameter Loglogistic	1,085
Smallest Extreme Value	1,115
Normal	1,183
Logistic	1,085

Table of Percentiles

Distribution	Percent	Percentile	Standard Error	95% Normal CI Lower	Upper
Weibull	1	135,737	85,1860	39,6737	464,404
Lognormal	1	148,931	66,1500	62,3604	355,680
Exponential	1	19,8416	4,67671	12,5010	31,4925
Loglogistic	1	164,581	89,1008	56,9580	475,558
3-Parameter Weibull	1	-884,294	1953,02	-4619,02	2943,55
3-Parameter Lognormal	1	-566,178	488,576	-1523,77	391,413
2-Parameter Exponential	1	-4,97827	4,73610	-14,2609	4,30431
3-Parameter Loglogistic	1	-1035,69	650,787	-2311,21	239,831
Smallest Extreme Value	1	-1705,52	899,280	-3468,08	57,0357
Normal	1	-590,026	500,148	-1570,30	390,246
Logistic	1	-1070,68	666,823	-2377,63	236,269
Weibull	5	362,971	157,193	155,324	848,214

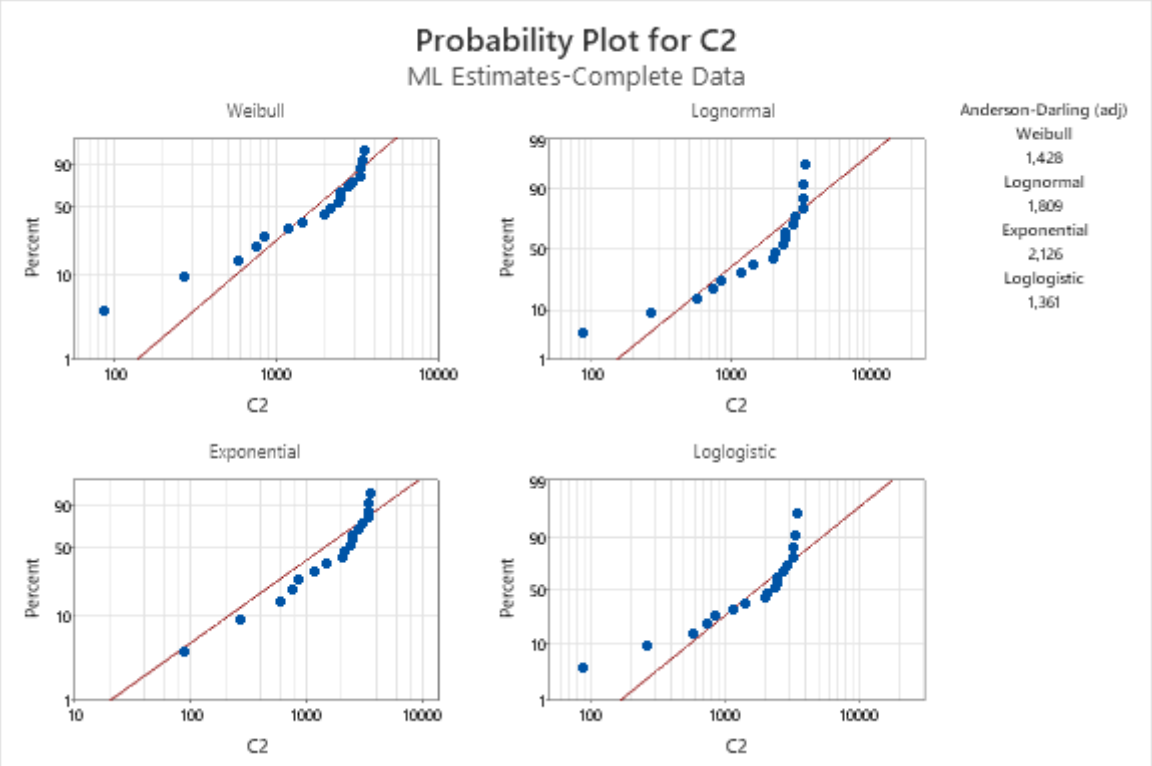
Lognormal	5	290,205	102,705	145,031	580,695
Exponential	5	101,264	23,8682	63,8009	160,726
Loglogistic	5	381,834	148,860	177,839	819,824
3-Parameter Weibull	5	60,0411	784,748	-1478,04	1598,12
3-Parameter Lognormal	5	171,434	391,770	-596,420	939,289
2-Parameter Exponential	5	77,4785	24,1713	30,1035	124,853
3-Parameter Loglogistic	5	53,3769	477,084	-881,690	988,444
Smallest Extreme Value	5	-213,046	627,736	-1443,39	1017,29
Normal	5	161,160	398,510	-619,905	942,225
Logistic	5	41,6526	484,505	-907,959	991,265
Weibull	10	560,430	196,130	282,249	1112,78
Lognormal	10	414,146	128,951	224,966	762,412
Exponential	10	208,005	49,0273	131,052	330,144
Loglogistic	10	558,886	182,811	294,372	1061,08
3-Parameter Weibull	10	549,828	463,205	-358,038	1457,69
3-Parameter Lognormal	10	566,678	345,901	-111,276	1244,63
2-Parameter Exponential	10	185,575	49,6499	88,2628	282,887
3-Parameter Loglogistic	10	549,912	406,517	-246,847	1346,67
Smallest Extreme Value	10	446,068	511,969	-557,374	1449,51

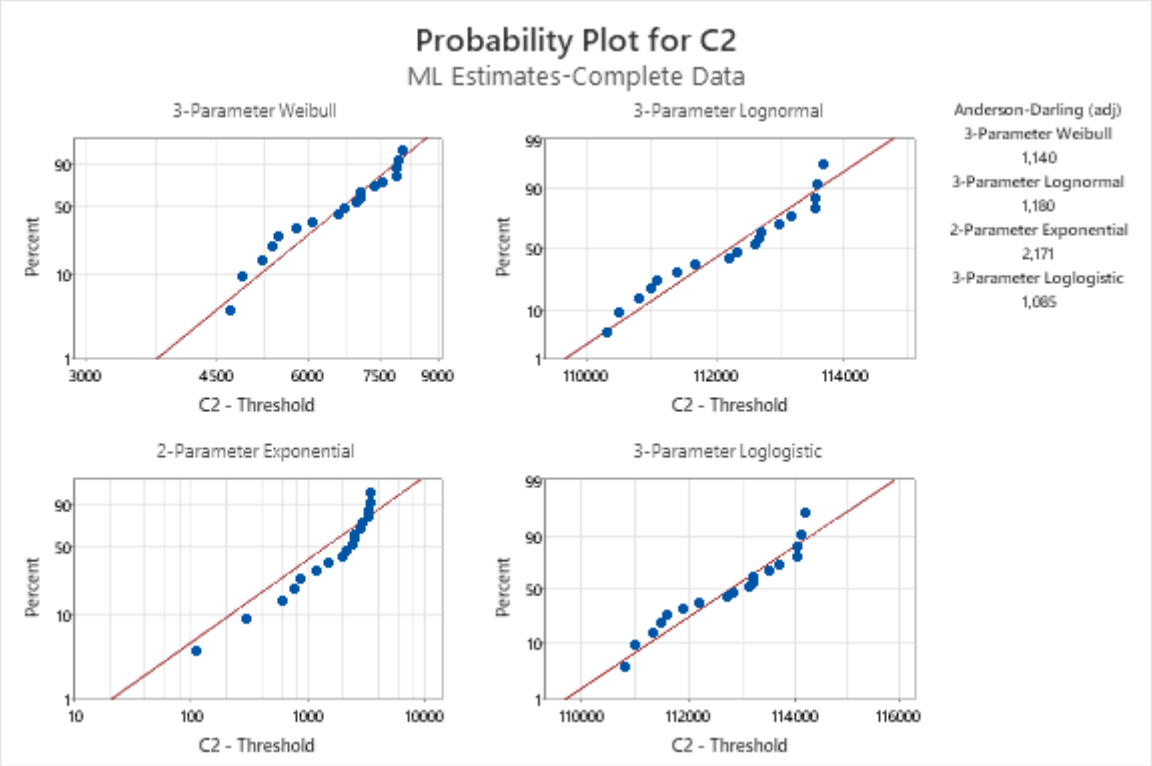
Normal	10	561,615	350,612	-125,572	1248,80
Logistic	10	545,173	411,097	-260,562	1350,91
Weibull	50	1746,77	290,390	1261,04	2419,59
Lognormal	50	1452,02	335,018	923,801	2282,27
Exponential	50	1368,43	322,541	862,167	2171,96
Loglogistic	50	1713,30	354,668	1141,90	2570,63
3-Parameter Weibull	50	2088,22	360,876	1380,91	2795,52
3-Parameter Lognormal	50	1972,24	260,146	1462,36	2482,11
2-Parameter Exponential	50	1360,73	326,637	720,535	2000,93
3-Parameter Loglogistic	50	2022,93	285,654	1463,06	2582,80
Smallest Extreme Value	50	2171,03	255,398	1670,46	2671,60
Normal	50	1974,22	259,806	1465,01	2483,43
Logistic	50	2025,80	285,278	1466,67	2584,94

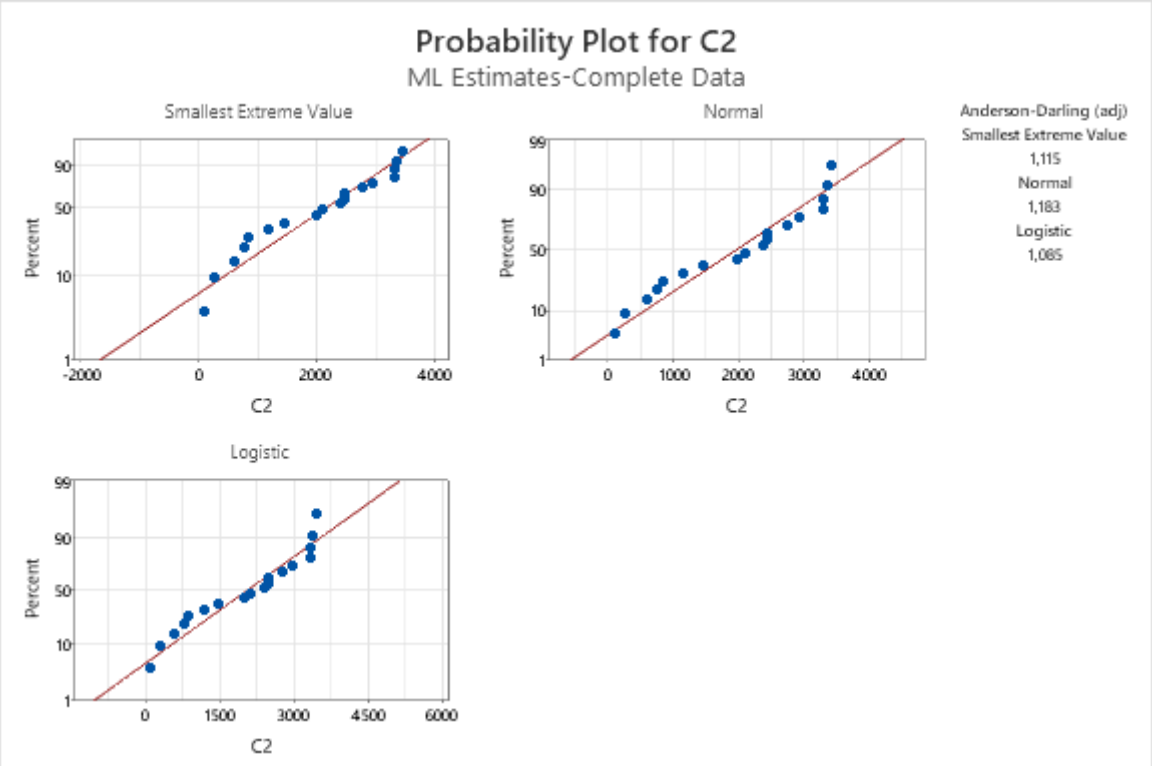
Table of MTTF

			95% Normal CI	
Distribution	**Mean**	**Standard Error**	**Lower**	**Upper**
Weibull	1947,97	281,180	1467,96	2584,93
Lognormal	2344,48	657,875	1352,68	4063,49
Exponential	1974,22	465,329	1243,84	3133,47
Loglogistic	2745,53	752,246	1604,74	4697,28
3-Parameter Weibull	1992,46	255,474	1491,74	2493,18

3-Parameter Lognormal	1977,66	260,175	1467,73	2487,60
2-Parameter Exponential	1974,22	471,238	1050,61	2897,83
3-Parameter Loglogistic	2029,57	285,551	1469,90	2589,24
Smallest Extreme Value	1978,10	276,734	1435,71	2520,49
Normal	1974,22	259,806	1465,01	2483,43
Logistic	2025,80	285,278	1466,67	2584,94




Probability Plot for C2
ML Estimates-Complete Data
3-Parameter Weibull
3-Parameter Lognormal
2-Parameter Exponential
3-Parameter Loglogistic
Percent
C2 - Threshold
Anderson-Darling (adj)
3-Parameter Weibull
1,140
3-Parameter Lognormal
1,180
2-Parameter Exponential
2,171
3-Parameter Loglogistic
1,085


Probability Plot for C2
ML Estimates-Complete Data
Smallest Extreme Value
Normal
Logistic
Percent
C2
Anderson-Darling (adj)
Smallest Extreme Value
1,115
Normal
1,183
Logistic
1,085

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.