



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Μελέτης Πλοίου & Θαλάσσιων Μεταφορών

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ ΒΑΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
ΡΙΣΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ
ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΙΣΤΕΩΣ



Όνομα Φοιτητή : ΔΡΑΚΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ
Κωδικός Φοιτητή : 08107036
Επιβλέπων Καθηγητής : ΒΕΝΤΙΚΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1		ΕΙΣΑΓΩΓΗ	Σελ.
			4
1.1		Σκοπός διπλωματικής εργασίας	5
	1.1.1	Υπόβαθρο	5
	1.1.2	Βασικός σκοπός	5
1.2		Εισαγωγή στην επιθεώρηση	6
	1.2.1	Τύποι επιθεωρήσεων	7
	1.2.2	Σχεδιασμός επιθεωρήσεων	10
	1.2.3	Επιθεώρηση μετα από Βλάβη	11
	1.3.4	Επιθεωρήσεις και προληπτική Συντήρηση	12
	1.2.4.1	Επιθεωρήσεις Διατήρηση Κλάσης	12
	1.2.4.2	Reliable Centered Maintenance	14
	1.2.4.3	Risk Based Inspection and Maintenance	15
2		ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	18
	2.1	Risk Based Inpection	18
	2.2	Bayesian Networks	29
	2.2.1	Εφαρμογές στο Περιβάλλον	29
	2.2.2	Εφαρμογές στην Ιατρική	31
	2.2.4	Εφαρμογές σε συστήματα Ρίσκου	33
	2.2.5	Εφαρμογές στην Θαλάσσια Βιομηχανία	36
3		RISK BASED INSPECTION	42
	3.1	Βασικές Έννοιες	43
	3.2	Εισαγωγή στην μεθοδολογία Risk Based Inspection (RBI)	44
	3.3	Διαχείριση του ρίσκου μειώνοντας την αβεβαιότητα μέσω των επιθεωρήσεων.	48
	3.4	Θεσπίζοντας μία στρατηγική επιθεωρήσεων βασιζόμενη στην αξιολόγηση του ρίσκου	50
	3.5	Διαχείριση ρίσκου με διαδικασίες επιθεωρήσεων	51
	3.6	Διαχείριση του κόστους επιθεωρήσεως με την RBI.	54
	3.7	Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της επιθεώρησης και προσδιορισμός των διορθωτικών ενεργειών	55
	3.8	Επαναξιολόγηση και ανανέωση των RBI αξιολογήσεων	56
4		ΔΙΚΤΥΑ ΠΙΣΤΗΣ	58
	4.1	Εισαγωγή	59
	4.2	Αβεβαιότητα	66
	4.3	Γραφικά Μοντέλα	67
	4.3.1	Γενικά	67
	4.3.2	Bayesian Networks	68
	4.3.2.1	Εισαγωγή στα Bayesian Networks	68
	4.3.2.2	Θεωρία και Ορολογία	69
	4.3.3	Dynamic Bayesian Networks	73
	4.4	Υπό Συνθήκη Ανεξαρτησία	76
	4.5	Συμπερασμός	81
	4.5.1	Εισαγωγή στον Συμπερασμό	81
	4.5.2	Διάδοση Πεποιθήσεως	85
	4.5.3	Junction Tree	87
	4.7	Μάθηση	88
5		ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ DYNAMIC BAYESIAN NETWORK ΚΑΙ ΤΟΥ INFLUENCED DIAGRAM	90
	5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	91
	5.1.1	Ονοματολογία	91
	5.2	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	92
	5.2.1	Φορτία	92
	5.2.2	Κρίσιμα σημεία (hotspots) μεταλλική κατασκευής.	93
	5.2.3	Πρυμναίο τμήμα της γάστρας	94
	5.2.4	Τμήμα Φορτίου	96
	5.2.5	Πρωραίο τμήμα της γάστρας	102
	5.3	Επεξήγηση των κόμβων του δυναμικού δικτύου πίστεως	106

	5.3.1	Ομάδες κόμβων	106
	5.3.2	Κόμβοι Γονείς	109
	5.3.2.1	Απλοί Κόμβοι Γονείς	109
	5.3.3	Κόμβοι Παιδιά	111
	5.3.3.1	Δυναμικοί Κόμβοι Παιδιά	111
	5.3.3.2	Απλοί Κόμβοι Παιδιά	113
	5.3.4	Κόμβοι Στόχοι	118
5.4		Επεξήγηση των κόμβων του Influenced Diagram	119
	5.4.1	Κόμβοι απόφασης	119
	5.4.2	Κόμβοι τύχης	119
	5.4.3	Κόμβοι χρηστικότητας	120
6		ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ DYNAMIC BAYESIAN NETWORK ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΙΑ ΕΝΑ ΝΑΥΤΙΚΟ ΑΤΥΧΗΜΑ ΓΙΑ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ.	122
6.1		Εφαρμογή του Dynamic Bayesian Network για διάφορες στρατηγικές επιθεωρήσεων	124
	6.1.1	Οι επιπτώσεις του πλάνου επιθεωρήσεων στους μηχανισμούς φθοράς.	126
	6.1.2		
	6.1.2.1	Οι επιπτώσεις του εκάστοτε πλάνου επιθεωρήσεων στους κόμβους των συνέπειων	136
	6.1.2.2	Ανάλυση του μοντέλου απόφασης για τα διάφορα πλάνα επιθεωρήσεων	136
6.2		Εφαρμογή του Dynamic Bayesian Network σε ναυτικά ατυχήματα	142
	6.2.1	Ναυτικό ατύχημα του ΙΕVOLI SUN	142
	6.2.1.1	Πραγματικό γεγονός	144
	6.2.1.2	Εφαρμογή του Dynamic Bayesian Model στο υπο μελέτη ατύχημα.	146
	6.2.1.3	Ανάλυση πιθανοτήτων βύθισης	146
	6.2.1.4	Ανάλυση πιθανοτήτων κατασκευαστικών στοιχείων	151
	6.2.1.5	Έλεγχος εναλλακτικού σεναρίου	
6.3		Συμπεράσματα	153
6.4		Προτάσεις	154
		ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	156
		ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'	162
		ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'	176

Λίστα Πινάκων

	Σελίδα
<i>Πίνακας 1.1: Κατηγορίες Επιθεωρήσεων</i>	8
<i>Πίνακας 1.2: Απαιτήσεις Πλοιοκλήτη</i>	10
<i>Πίνακας 4.1 Παράδειγμα</i>	83
<i>Πίνακας 4.2 Παράδειγμα</i>	83
<i>Πίνακας 6.1: Οι μεταγενέστερες πιθανότητες του κόμβου «Corrosion», ανάλογα το πλάνο επιθεωρήσεων.</i>	128
<i>Πίνακας 6.2: Μεταγενέστερες πιθανότητες του κόμβου «Fatigue», ανάλογα το πλάνο επιθεωρήσεων</i>	132
<i>Πίνακας 6.3: Μεταγενέστερες πιθανότητες του κόμβου «Extensive_Deformation», ανάλογα το πλάνο επιθεωρήσεων</i>	134
<i>Πίνακας 6.4: Πιθανότητες ανα πλάνο επιθεωρήσεων</i>	136
<i>Πίνακας 6.5: High_Prop_Damage – Συγκριτικός πίνακας</i>	136
<i>Πίνακας 6.6: Loss_Of_Life – Συγκριτικός πίνακας</i>	137
<i>Πίνακας 6.7: High_Env_Impact – Συγκριτικός πίνακας</i>	137
<i>Πίνακας 6.8: CPD του «Property_Damage»</i>	138
<i>Πίνακας 6.9: CPD του «Huma_Casualty»</i>	138
<i>Πίνακας 6.10: CPD του «Enviromental_Impact»</i>	138
<i>Πίνακας 6.11: CPD του «Inspection_Cost»</i>	139
<i>Πίνακας 6.12: CPD του «Cost_Of_Property_Damage»</i>	139
<i>Πίνακας 6.13: CPD του «Cost_Of_Huma_Casualty»</i>	139
<i>Πίνακας 6.14: CPD του «Cost_Of_Enviromental_Impact»</i>	139
<i>Πίνακας 6.15: Συνολικό Ρίσκο ανα πλάνο επιθεωρήσεων</i>	140
<i>Πίνακας 6.16: Ανάλυση ρίσκου ανα πλάνο επιθεωρήσεων</i>	140
<i>Πίνακας 6.18: Βαρύτητα Γεγονότων</i>	146
<i>Πίνακας 6.19: Μεταγενέστερες πιθανότητες με όλα τα δεδομένα για τον κόμβο «Hull_Damage_State_Structure».</i>	148
<i>Πίνακας 6.20: Μεταγενέστερες πιθανότητες με όλα τα δεδομένα για τον κόμβο «Property_Damage».</i>	148
<i>Πίνακας 6.21: Μεταγενέστερες πιθανότητες με όλα τα δεδομένα για τον κόμβο «Human_Casualty».</i>	148
<i>Πίνακας 6.22: Μεταγενέστερες πιθανότητες με όλα τα δεδομένα για τον κόμβο «Enviromental_Impact».</i>	148
<i>Πίνακας 6.23: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετα το ατύχημα για τον κόμβο «Shell_Cracking»</i>	149
<i>Πίνακας 6.24: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετα το ατύχημα για τον κόμβο «Ship_Side_Collapse».</i>	149
<i>Πίνακας 6.25: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετα το ατύχημα για τον κόμβο «FwP_Flooding».</i>	149
<i>Πίνακας 6.26: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετα το ατύχημα για τον κόμβο «Collision_Bulkhead_Collapse».</i>	150
<i>Πίνακας 6.27: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετα το ατύχημα για τον κόμβο «Cargo1_Flood».</i>	150
<i>Πίνακας 6.28: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετα το ατύχημα για τον κόμβο «Property_Of_Damage».</i>	150
<i>Πίνακας 6.29: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετα το ατύχημα για τον κόμβο «Human_Casualty».</i>	150
<i>Πίνακας 6.30: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετα το ατύχημα για τον κόμβο «Enviromental_Impact».</i>	151

<i>Πίνακας 6.31: Μεταγενέστερες πιθανότητες βελτιστοποιημένου εναλλακτικού σεναρίου για τον κόμβο «HULL_DAMAGE_STATE_STRUCTURE».</i>	151
<i>Πίνακας 6.32: Μεταγενέστερες πιθανότητες βελτιστοποιημένου εναλλακτικού σεναρίου για τον κόμβο «Human_Casualty».</i>	152
<i>Πίνακας 6.33: Μεταγενέστερες πιθανότητες βελτιστοποιημένου εναλλακτικού σεναρίου για τον κόμβο «Property_Damage».</i>	152
<i>Πίνακας 6.34: Μεταγενέστερες πιθανότητες βελτιστοποιημένου εναλλακτικού σεναρίου για τον κόμβο «Enviromental_Impact».</i>	152

Λίστα Σχημάτων

	Σελίδα
Σχήμα 1.1: Διαδικασία Διατήρησης Κλάσης Πηγή: (ClassNK , 2012)	28
Σχήμα 3.1: Το συνεχές των RBI προσεγγίσεων	45
Σχήμα 3.2: Διαδικασία σχεδιασμού επιθεωρήσεως κατά RBI	46
Σχήμα 3.3: Παράδειγμα Ποιοτικού Πίνακα Ρίσκου, όπου γίνεται χρησιμοποίηση των πιθανοτήτων φθοράς και των συνεπειών για την απεικόνιση των ρίσκων. (API , 1999)	48
Σχήμα 3.4: Αναπαράσταση του ρίσκου χρησιμοποιώντας ποσοτικές τιμές. Η γραμμή αναπαριστά το ISO-risk. (API ,1999)	54
Σχήμα 4.1	68
Σχήμα 4.2	68
Σχήμα 4.3 : Ένα Bayesian Δίκτυο το οποίο απεικονίζει την ίδια κοινή πιθανότητα με αυτή στο Σχήμα 4.2. Η ακμή (B,A) έχει αναστραφεί και έχει γίνει (A,B).	71
Σχήμα 4.4 : Ο Γράφος A και ο Γράφος B έχουν τις ίδιες συνδέσεις μεταξύ των κόμβων τους, αλλά δεν είναι ίδιοι. Ο Γράφος A είναι κατευθυνόμενος, ενώ ο Γράφος B είναι μη κατευθυνόμενος.	71
Σχήμα 4.5: Αλυσίδες και Μονοπάτια. Η ακολουθία των κόμβων A-B-C-D είναι μία αλυσίδα μήκους 3. Η ακολουθία A-B-C-B είναι ένα μονοπάτι μήκους 4. Η ακολουθία A-B-C είναι ένα απλό μονοπάτι μήκους 2. Η ακολουθία A-B-C-A-BC- A είναι ένας κύκλος μήκους 6.	72
Σχήμα 4.2 Σχήμα 4.6 : Ένα πιθανό αρχικό δίκτυο DBN με τρεις στατικές μεταβλητές A,B, και C.	74
Σχήμα 4.7 : Ένα πιθανό μεταβατικό δίκτυο για ένα DBN με τρεις στατικές μεταβλητές A,B και C.	74
Σχήμα 4.8: Ένα Dynamic Bayesian Network για 5 χρονικές στιγμές. Οι συνδέσεις για τον χρόνο 0 είναι οι ίδιες που απεικονίζονται στο προγενέστερο δίκτυο του Σχήματος 4.6, ενώ οι συνδέσεις των χρονικών στιγμών $t=1,2,3,4$ είναι όπως απεικονίζονται στο μεταβατικό δίκτυο του σχήματος 4.7.	75
Σχήμα 4.9: Πρώτο παράδειγμα γράφου με κόμβους A, B και C. Όταν δεν έχουμε και όταν έχουμε παρατηρήσει την τιμή C.	76
Σχήμα 4.10: Το δεύτερο παράδειγμα γράφου πάνω στις A,B και C, όταν δεν έχουμε και όταν έχουμε παρατηρήσει την τιμή της C.	77
Σχήμα 4.11: Το τρίτο παράδειγμα πάνω στις A,B και C, όταν δεν έχουμε και όταν έχουμε παρατηρήσει την τιμή της C.	78
Σχήμα 4.12	80
Σχήμα 4.13: Ένα Bayesian Network από το Heckerman (1999) το οποίο απεικονίζει την πιστωτική απάτη. Έχουμε 5 μεταβλητές σε αυτό το δίκτυο. Η αλληλοεξάρτηση τους φαίνεται στο συγκεκριμένο σχήμα.	82
Σχήμα 5.1: Κατηγορίες Τάσεων (Σαμουηλίδης, 2007)	93
Σχήμα 5.2: Τμηματοποίηση πλοίου (http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/tipos-buques/tiposbuques.shtml)	93
Σχήμα 5.3: Πρύμνη (DNV, 2005)	94
Σχήμα 5.4: Αμπάρι (DNV, 2005)	96
Σχήμα 5.5: Πρώρα	703
Σχήμα 5.6: Καμπτικές ροπές	104
Σχήμα 5.7: Το τελικό Dynamic Bayesian Network. Φαίνονται οι χρωματικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κόμβοι που τις αποτελούν.	108
Σχήμα 5.8: Το τελικό μοντέλο επιρροής – Influenced Diagram	121
Σχήμα 6.1: «Corrosion» στο B πλάνο επιθεωρήσεων	129
Σχήμα 6.2: «Corrosion» στο C πλάνο επιθεωρήσεων	129
Σχήμα 6.3: «Corrosion» στο Plan C επιθεωρήσεων	130

Σχήμα 6.4: Συγκριτικό σχήμα του κόμβου «Corrosion» ανα πλάνο επιθεωρήσεων	131
Σχήμα 6.5: Συγκριτικό σχήμα του κόμβου «Fatigue» ανα πλάνο επιθεωρήσεων	133
Σχήμα 6.5: Συγκριτικό σχήμα του κόμβου «Extensive_Deformation» ανα πλάνο επιθεωρήσεων	135
Σχήμα 6.6: Συνολικό Ρίσκο ανα πλάνο επιθεωρήσεων	141
Σχήμα 6.7: Η βαρύτητα των γεγονότων στις συνέπειες «Total_Loss», «High_Prop_Damage», «Loss_Of_Life» και «High_Env_Impact»	147
Σχήμα 6.8.: Η βαρύτητα των γεγονότων στις συνέπειες «High_Prop_Damage», «Loss_Of_Life» και «High_Env_Impact»	147

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα τέλη της δεκαετίας του 60, μία σειρά από σοβαρά ατυχήματα στον χώρο της βιομηχανία, οδήγησε την επιστημονική κοινότητα προς την υιοθέτηση πρακτικών που να διασφαλίζουν με αξιόπιστο τρόπο την ασφάλεια που σχετίζεται με τον πληθυσμό και το περιβάλλον σε περίπτωση ατυχήματος. Τα χρόνια που ακολούθησαν, αυτή η αντίληψη αποτέλεσε αντικείμενο ευρείας επιστημονικής έρευνα που οδήγησε σε σημαντικό αριθμό μεθοδολογιών και πρακτικών που σχετίζονται γενικότερα με την ασφάλεια και ειδικότερα με το ρίσκο. Η μεγάλη ανάπτυξη των τελευταίων χρόνων οφείλεται εν μέρει και στην ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, που αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την εφαρμογή τους.

Το ρίσκο μπορεί να γίνει διαχειρίσιμο μέσω των επιθεωρήσεων. Φυσικά, η επιθεώρηση δεν κατακρατάει ή μετριάζει τους μηχανισμούς φθοράς. Ο ρόλος των επιθεωρήσεων είναι ο εντοπισμός, η παρακολούθηση και η μέτρηση των μηχανισμών φθοράς. Επίσης, παράγει ανεκτίμητα δεδομένα για την πρόβλεψη του πότε η φθορά θα φτάσει σε κρίσιμο σημείο. Σωστή εφαρμογή επιθεωρήσεων θα βελτιώσει την δυνατότητα του χρήστη να προβλέψει τους μηχανισμούς φθοράς που θα λάβουν χώρα, καθώς και των αντίστοιχων ρυθμών επέκτασης. Όσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη, τόσο λιγότερη είναι η αβεβαιότητα όσον αφορά το πότε θα συμβεί μία βλάβη. Ενέργειες μετριασμού των μηχανισμών φθοράς όπως επιδιορθώσεις, αντικαταστάσεις, άλλες αλλαγές κτλ. μπορούν να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν πριν η προβλεπόμενη φθορά συμβεί. Είναι σαφές λοιπόν ότι η επιθεώρηση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι ελέγχου και διαχείρισης του ρίσκου.

Την δεκαετία του 90 εκτεταμένη έρευνα οδήγησε στο σχηματισμό του σκελετού της Risk Based Inspection (RBI) μεθοδολογίας, η οποία χρησιμοποιεί το ρίσκο ως τη βάση για την ιεράρχηση και την διαχείριση των προγραμμάτων επιθεώρησης. Το RBI πρόγραμμα θεωρητικά πρέπει ως επί το πλείστον να προσδιορίζει και να μετράει το ρίσκο, να δίνει την δυνατότητα στην διαχείριση να αναθεωρεί τα ρίσκα που σχετίζονται με την ασφάλεια, το περιβάλλον και την διακοπή της επιχειρηματικής δραστηριότητας με πλήρως ολοκληρωμένο και οικονομικό τρόπο και τέλος να παρέχει μία διαδικασία για να επιτύχει την συστηματική μείωση της πιθανότητα βλάβης ιεραρχώντας την χρήση/αποτελεσματικότητα των διαθέσιμων πόρων επιθεώρησης.

Το ρίσκο δεν επικεντρώνεται πλέον μόνο στο χώρο των εγκαταστάσεων που εδρεύει η επιχείρηση (μηχανήματα, κτηριακές υποδομές, τραυματισμού προσωπικού κτλ.) αλλά επεκτείνεται και σε ζητήματα όπως την παρεμπόδιση της επιχειρηματικής δραστηριότητα, την επίπτωση στην φήμη της επιχείρησης, την μόλυνση του περιβάλλοντος κτλ.

Η μεθοδολογία RBI ξεκίνησε από την Χημική Βιομηχανία και τις τελευταίες δεκαετίες επεκτάθηκε και στους υπόλοιπους τομείς της βιομηχανίας. Στην ναυτιλία όλοι οι μεγάλοι νηογνώμονες έχουν ερευνητικές ομάδες που ασχολούνται εκτενώς με το συγκεκριμένο θέμα.

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζεται ένα δυναμικό πιθανολογικό μοντέλο βασισμένο στην θεωρία του Bayes. Κατασκευασμένο υπο την μορφή ενός δικτύου πίστεως το οποίο εκτιμά τις πιθανότητες που σχετίζονται με την

ασφάλεια του προσωπικού του πλοίου, την κατάσταση της περιουσία και την προστασία του περιβάλλοντος. Μερικοί από τους βασικούς παράγοντες που επιδρούν στο μοντέλο μας είναι οι μηχανισμοί φθοράς που επιδρούν στην γάστρα του πλοίου, ο χρόνος εκτέλεσης κάποιας επιθεώρησης, η αποτελεσματικότητα της επιθεώρησης, τα καιρικά φαινόμενα και η συνολική κατάσταση της μεταλλικής κατασκευής της γάστρας. Στόχος είναι το εργαλείο αυτό να παρέχει στο χρήστη την δυνατότητα να αξιολογεί το εκάστοτε πλάνο επιθεωρήσεων στο χρονικό πλαίσιο που θα ορίσει.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένα δίκτυο επιρροής, το οποίο θα υπολογίζει τα τελικά ρίσκα, η αξιολόγηση των οποίων θα βοηθήσει τον χρήστη να πάρει την τελική απόφαση, επιλογής του βέλτιστους πλάνου επιθεωρήσεων.

Το 1^ο κεφάλαιο αυτής της εργασίας αποτελεί ένα εισαγωγικό κεφάλαιο όπου φαίνονται οι λόγοι που μας οδήγησαν στο να ασχοληθούμε με το συγκεκριμένο αντικείμενο καθώς και το τι επιδιώκουμε να βγάλουμε ως τελικό αποτέλεσμα. Ως το βασικό αντικείμενο ενδιαφέροντος, δεν θα μπορούσε να μην περιληφθεί περιληπτικά στην εισαγωγή, η κατάσταση που επικρατεί στον τομέα των επιθεωρήσεων, στο ναυτιλιακό κλάδο.

Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εκτεταμένη βιβλιογραφική επισκόπηση που αφορά την θεωρία Risk Based Inspection (RBI) καθώς και τα Bayesian Networks (BNs). Η εξέλιξη τους στην πάροδο του χρόνου και οι εφαρμογές τους στην βιομηχανία.

Το 3^ο κεφάλαιο αφορά εξολοκλήρου την μεθοδολογίας Risk Based Inspection. Γίνεται παρουσίαση των βασικών εννοιών που αποτελούν την βάση της θεωρίας, καθώς και όλων των εκφάνσεων και μελλοντικών προοπτικών της μεθοδολογίας.

Το 4^ο κεφάλαιο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο που θα χρησιμοποιηθεί για την μετέπειτα κατασκευή του μοντέλου Dynamic Bayesian Network (DBN). Τα δίκτυα πίστεως ή παρέχουν ένα σύγχρονο εργαλείο για την εκτίμηση πιθανοτήτων πολύπλοκων συστημάτων σε περιβάλλον αβεβαιότητας. Αποτελούν ένα συνδυασμό της κλασσικής θεωρίας πιθανοτήτων του Bayes και της θεωρίας των γράφων, αντλώντας πλεονεκτήματα και δυνατότητες και από τους δύο χώρους

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα μέρη των μοντέλων DBN και Influenced Diagram (ID) που κατασκευάστηκαν. Στον Παράρτημα Β, φαίνονται και οι προγενέστερες πιθανότητες που χρησιμοποιήθηκαν για την συμπλήρωση των καταστάσεων των κόμβων.

Στο 6^ο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των υπο μελέτη πλάνων επιθεωρήσεων, ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπεράσματα. Στο τέλος γίνεται μια σύντομη παρουσίαση προτάσεων για περαιτέρω μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1

Σκοπός διπλωματικής εργασίας

1.1.1

Υπόβαθρο

Τα πλοία σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να διασφαλίζεται μία οικονομικά προσοδοφόρα λειτουργία καθ' όλη την προσδοκώμενη ζωή τους, πάντα σε αρμονία με τις απαραίτητες προϋποθέσεις και τα αποδεκτά κριτήρια που θέτουν οι αρμόδιοι παράγοντες. Με σκοπό να διασφαλιστεί η ικανοποίηση των αποδεκτών κριτηρίων κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του πλοίου, είναι απαραίτητος ο έλεγχος των διάφορων φθορών καθώς και των απαραίτητων διορθωτικών μέτρων συντήρησης στην περίπτωση που θεωρηθούν αναγκαίες. Οι επιθεωρήσεις είναι η απαραίτητη πρακτική ελέγχου των εκάστοτε μηχανισμών υποβάθμισης του εξοπλισμού.

Ο σχεδιασμός των επιθεωρήσεων έχει σκοπό τον εντοπισμό του τι πρέπει να επιθεωρηθεί, πώς να επιθεωρηθεί, που να λάβει χώρα η επιθεώρηση και πόσο συχνά πρέπει να επαναλαμβάνεται και είναι ένα πεδίο που αποτελεί αντικείμενο εκτενής μελέτης τις τελευταίες δεκαετίες σε όλους τους κλάδους της βιομηχανίας.

1.1.2

Βασικός σκοπός

Ο βασικός στόχος της διπλωματικής εργασίας, είναι η προσαρμογή και η εφαρμογή της θεωρίας Risk Based Inspection (RBI) στον θαλάσσιο τομέα. Αυτή η θεωρία αποτελεί μία πρωτοπόρα προσέγγιση των επιθεωρήσεων καθώς και του προγραμματισμού των απαραίτητων διαστημάτων επιθεωρήσεως/συντήρησης και έχει ως γνώμονα το ρίσκο που σχετίζεται με την ασφάλεια και την αξιοπιστία της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, την ασφάλεια του προσωπικού και την προστασία περιβάλλοντος.

Αρχικά έγινε μία ενδελεχή παρουσίαση και ανάλυση της παραπάνω θεωρίας, ενώ στην συνέχεια προσαρμόστηκε στο περιβάλλον της ναυτιλίας, που είναι και το αντικείμενο μας. Για να το πετύχουμε αυτό χρησιμοποιήθηκε η θεωρία των Dynamic Bayesian Networks (DBN), η θεωρία αντοχής της μεταλλικής κατασκευής καθώς και το επιστημονικό πρόγραμμα GeNie και κατασκευάστηκε ένα δυναμικό πιθανοθεωρητικό μοντέλο. Αυτό το μοντέλο προσομοιάζει σε πιο απλοποιημένη μορφή την γήρανση της γάστρας του πλοίου στην πάροδο του χρόνου, υπο την επίδραση των μηχανισμών φθοράς στους οποίους ανθίστανται η μεταλλική κατασκευή και των ενδεχόμενων βλαβών που μπορεί να προκύψουν.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στο πρωταίο τμήμα της γάστρας αλλά για θεωρητική πληρότητα παρέχεται η απαραίτητη θεωρητική

προεργασία που απαιτείται για την κατασκευή των αντίστοιχων DBN μοντέλων για το πυρναίο τμήμα της γάστρας και για το τμήμα του πλοίου με τα αμπάρια. Αυτό ενδεχόμενος να αποτελέσει και αντικείμενο άλλων διπλωματικών εργασιών.

Στην συνέχεια, το DBN μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να τρέξουμε διάφορα ενδεχόμενα πλάνα επιθεωρήσεων, τα οποία όπως θα δούμε και στο ανάλογο κεφάλαιο, διαφοροποιούνται ως προς την αποτελεσματικότητα της επιθεώρησης και τα χρονικά διαστήματα. Για την τελική λήψη των αποφάσεων, κατασκευάστηκε ένα μοντέλο επιρροής (Influenced Diagram), που αποτελεί ένα επιπλέον βοηθητικό εργαλείο, στο οποίο εισάγοντας τις εξαγόμενες μεταγενέστερες πιθανότητες του DBN, υπολογίζονται τα ρίσκα των συνεπειών για την χρονική στιγμή ενδιαφέροντος.

Το συνολικό τελικό ρίσκο, σε συνδυασμό με τα επιμέρους ρίσκα των συνεπειών, θα συντελέσουν οδηγό για την τελική απόφαση επιλογής του βέλτιστου στρατηγικού σχεδιασμού επιθεωρήσεων.

1.2

Εισαγωγή στην επιθεώρηση

Με σκοπό να διασφαλιστεί η ικανοποίηση των αποδεκτών κριτηρίων κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του εκάστοτε μηχανολογικού συστήματος (στην περίπτωση μας του πλοίου), είναι απαραίτητος ο έλεγχος των διάφορων φθορών καθώς και τον προγραμματισμό των απαραίτητων διορθωτικών μέτρων συντήρησης στην περίπτωση που θεωρηθούν αναγκαίες. Οι επιθεωρήσεις είναι η συνηθέστερη πρακτική ελέγχου των εκάστοτε μηχανισμών υποβάθμισης του εξοπλισμού. Οι ναυτικές επιθεωρήσεις είναι πλέον, ένα βαθιά καθιερωμένο και ουσιώδες κομμάτι των πλοίων και γενικότερα των θαλασσίων μεταφορών.

Οι κύριοι εταίροι στην όλη διαδικασία είναι οι νηογνώμονες και οι επιθεωρητές αυτών που διενεργούν την εκάστοτε επιθεώρηση. Από τις πιο σημαντικές επιθεωρήσεις που επιβάλλεται να περάσει ένα πλοίο, είναι η ειδική πενταετής επιθεώρηση. Ο λόγος που την κάνει σημαντική είναι ο ρόλος που διαδραματίζει στην εμπορική εκμετάλλευση του πλοίου, η οποία επαναλαμβάνεται τουλάχιστον 4-5 φορές καθ' όλη την διάρκεια του συνολικού χρόνου εκμετάλλευσής του πλοίου.

Το μεγαλύτερο μέρος των επιθεωρήσεων, αν εξαιρέσουμε τους κρατικούς επιθεωρητές, πραγματοποιείται από τους επιθεωρητές των νηογνωμόνων (Classification Society Surveyors), τους επιθεωρητές των Salvage Association και από τους εμπειρογνώμονες που είτε δουλεύουν μόνοι τους (independent), είτε για λογαριασμό εταιρειών προσφοράς υπηρεσιών.

1.2.1

Τύποι επιθεωρήσεων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι λόγοι που προκαλούν τις ναυτικές επιθεωρήσεις ποικίλουν και εκτείνονται σε ένα μεγάλο πεδίο θεμάτων. Προκειμένου να οριστεί μία ναυτική επιθεώρηση δεν είναι απαραίτητη μόνο η αιτία που την προκαλεί αλλά και πολλές άλλες παράμετροι όπως, οι οργανισμοί ή και τα μέρη που την εκτελούν και ενδιαφέρονται άμεσα για τα αποτελέσματά της, ο επιθεωρητής που την εκτελεί, ο τύπος επιθεώρησης (εν ορμώ ή εν πλώ), το επίπεδο εμβάθυνσής της κ.ά.

Η ταξινόμηση των επιθεωρήσεων σε τύπους/κατηγορίες μπορεί να ποικίλει κάθε φορά ανάλογα με την παράμετρο στην οποία θα δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα. Είναι προφανές ότι μέσα από τις διαφορετικές ταξινομήσεις, θα υπάρχουν τύποι επιθεωρήσεων (σε μία ταξινόμηση) που θα υπερκαλύπτονται από άλλους, σε άλλη ταξινόμηση.

Ξεκινώντας μια απλουστευμένη ταξινόμηση των επιθεωρήσεων μπορούμε να πούμε ότι η πλειονότητά τους προκαλείται από τους παρακάτω λόγους.

- Κάλυψη θεσπισμένων κανονισμών, ειδικότερα αυτούς που αφορούν την συντήρηση, τον εξοπλισμό και την λειτουργική κατάσταση των πλοίων.
- Για ασφαλιστικούς σκοπούς, νηογνώμονες, επιθεωρήσεις ζημιών και εξακρίβωσης κατάστασης (Condition & Damage Survey).
- Επιθεωρήσεις φορτίων και φορτώ-εκφορτωτικών μέσων.

Αν ταξινομούσαμε τις επιθεωρήσεις με τον απώτερο σκοπό τους και όχι με το αντικείμενο της επιθεώρησης, θα μπορούσαμε να μιλήσουμε για επιθεωρήσεις με σκοπό:

- την πρόληψη
- την πιστοποίηση και
- την πραγματογνωμοσύνη

Κάνοντας σαφέστερη μία τέτοια ταξινόμηση μπορούμε να πούμε ότι μία επιθεώρηση που θα κρίνει αν ένα πλοίο είναι κατάλληλο για ένα συγκεκριμένο ταξίδι ή ένα συγκεκριμένο φορτίο (Voyage Approval), έχει καθαρά προληπτικό χαρακτήρα.

Επιθεωρήσεις που ανήκουν σε κάποια από τις τρεις προαναφερόμενες κατηγορίες είναι:

Πίνακας 1.1: Κατηγορίες Επιθεωρήσεων

Πρόληψης (Prevention)	<ul style="list-style-type: none"> • Επιθεώρηση πριν τη φόρτωση • Επίβλεψη φορτοεκφόρτωσης • Επιθεώρηση εξασφάλισης του φορτίου • Επιθεώρηση πριν τη ρυμούλκηση • Επιθεώρηση πριν το ταξίδι ή τον παροπλισμό (προσωρινό ή μόνιμο)
Πιστοποίησης (Certification)	<ul style="list-style-type: none"> • Επιβεβαίωση ποσότητας και ποιότητας • Επιθεώρηση καταλληλότητας • Επιθεώρηση για έλεγχο συμβατότητας με τα κατασκευαστικά πρότυπα • Επιθεώρηση κατάστασης (pre-purchase, on hire/off hire)
Πραγματογνωμοσύνης	<ul style="list-style-type: none"> • Επιθεώρηση βλαβών/αβαριών (Investigation) • Επιθεώρηση απωλειών • Επιθεώρηση συγκρούσεων

Τα όρια αυτής της ταξινόμησης, πολλές φορές, δεν είναι καθαρά και αυτό έρχεται σαν φυσική απόρεια της υπερκάλυψης που νωρίτερα αναφέρθηκε. Για παράδειγμα, αν και η πρόληψη είναι ο βασικός σκοπός μιας επιθεώρησης πριν από κάποιο ταξίδι, πιθανό αποτέλεσμα της επιθεώρησης είναι η πιστοποίηση της κατάστασης και καταλληλότητας του πλοίου. Ο μη σαφής διαχωρισμός μεταξύ των επιθεωρήσεων πρόληψης και πιστοποίησης προέρχεται από μία ομοιότητα που τους προσδίδουν τα πολλά κοινά τους χαρακτηριστικά.

Ειδικότερα, η έκθεση/πόρισμα που συντάσσεται στο πέρας της επιθεώρησης, έχει και στις δύο περιπτώσεις τη μορφή ενός πιστοποιητικού στο οποίο ο επιθεωρητής πιστοποιεί ακριβή δεδομένα (καταστάσεις, συμβάντα κ.ά.) και σε μερικές περιπτώσεις συμπεριλαμβάνει την άποψή του.

Σε αντίθεση με τις επιθεωρήσεις πρόληψης και πιστοποίησης που προτρέχουν, κατά κάποιο τρόπο των γεγονότων, οι επιθεωρήσεις πραγματογνωμοσύνης ή εξακρίβωσης, απαιτούνται αφού κάποιο συμβάν λάβει χώρα. Σκοπός αυτού του είδους των επιθεωρήσεων είναι ο καθορισμός της φύσης, της έκτασης και της αιτίας μιας απώλειας, μιας βλάβης ή μιας σύγκρουσης. Είναι προφανές ότι τέτοιας φύσης επιθεωρήσεις θα προκαλούν το μεγάλο ενδιαφέρον ασφαλιστικών φορέων ή και θα διενεργούνται από αυτούς.

Έτσι βλέπουμε επιθεωρήσεις συγκεκριμένου αντικειμένου να ταυτίζονται με κάποιον φορέα, χωρίς βέβαια να απασχολούν μόνο αυτόν. Θα ήταν εύλογο λοιπόν να ενδιαφερθούμε για τον τρόπο που οι επιθεωρήσεις εμπλέκονται με τους ναυτιλιακούς «φορείς» που τις διεξάγουν ή ενδιαφέρονται για τα αποτελέσματά τους με οποιοδήποτε τρόπο.

Η σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για τη Νομοθεσία στη Θάλασσα (United Nations Convention on the Law of the Sea) απαιτεί κάθε πλοίο να ταξιδεύει κάτω από μία σημαία και ταυτόχρονα παρέχει το δικαίωμα σε κάθε κράτος, ασχέτως αν είναι αιγιαλό ή ηπειρωτικό, να παρέχει σε πλοία τη σημαία του. Βεβαίως, κάθε κράτος που εξασκεί αυτό το δικαίωμα αναλαμβάνει και κάποιες υποχρεώσεις που όμως θα αναφερθούν αργότερα.

Συναντήσαμε λοιπόν ένα «είδος» ναυτικών «φορέων» που δεν είναι άλλο από τα κράτη που διατηρούν νηολόγια πλοίων (Flag States).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα πλοία και η εργασία πάνω σε αυτά, βρίσκονται σε υψηλό βαθμό επικινδυνότητας γίνεται κατανοητό ότι προσφέρουν ένα πολύ μεγάλο πεδίο ασφαλιστικών συμβάσεων. Οι ασφαλιστικές καλύψεις προσφέρονται, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους, από τους ναυτασφαλιστές (underwriters) και τα P&I Club (Protection & Indemnity – εδώ σημαίνει Διασφάλιση & Εξασφάλιση εναντίων ζημιών ιδίων ή τρίτων).

Γίνεται λοιπόν κατανοητό, ότι και αυτοί οι ασφαλιστικοί οργανισμοί έχουν ενδιαφέρον για την κατάσταση ενός πλοίου και τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτό.

Αν οι οργανισμοί διατηρούν ένα δικό τους δίκτυο επιθεωρήσεων η ανάγκη για τον πιο αντικειμενικό και ανεξάρτητο έλεγχο των πλοίων, ιδιαίτερα πριν την ασφάλισή τους, καλύπτεται από τους Νηογνώμονες.

Οι πιο γνωστοί νηογνώμονες παγκοσμίως είναι:

- ABS
- BV
- C.C.S.
- DNV
- GL
- INSB
- KRS
- LR
- NK
- RS
- RINA και
- HRS

Το φάσμα των λειτουργιών των Νηογνωμόνων είναι πολύ μεγάλο. Λειτουργούν υπό την διεύθυνση αντιπροσώπων, μέσα στους οποίους συγκαταλέγονται και οι πλοιοκτήτες.

Το ενδιαφέρον των πλοιοκτητών για αντικειμενικό και ανεξάρτητο έλεγχο των πλοίων τους, είναι αναμενόμενο, όμως σε πολλές περιπτώσεις οι πλοιοκτήτες ωθούνται κυρίως λόγω της κατάστασης που βρίσκεται το πλοίο τους ή η αγορά στην οποία εμπλέκεται (ύψος ναύλων), να διενεργήσουν επιθεωρήσεις από μόνοι τους, προκειμένου να καταστρώσουν την περαιτέρω πολιτική τους.

Εμάς στην προκειμένη περίπτωση το ενδιαφέρον μας περιστρέφεται γύρω από τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη. Επιγραμματικά μπορούμε να αναφέρουμε τύπους επιθεωρήσεων.

Πίνακας 1.2: Απαιτήσεις Πλοιοκτήτη

Απαιτήσεις Πλοιοκτήτη (Condition Surveys)	<ul style="list-style-type: none"> • Επιθεώρηση Γενικής Κατάστασης (General Condition Survey) • Επιθεώρηση Λεπτομερούς Κατάστασης (Detailed Condition Survey) • Επιθεώρηση Επιπέδου Διάβρωσης (Corrosion Trend Survey) • Επιθεώρηση Προσδιορισμού Επισκευών (Repair Specification Survey)
---	---

1.2.2

Σχεδιασμός επιθεωρήσεων

Ο σχεδιασμός των επιθεωρήσεων έχει σκοπό τον εντοπισμό του τι πρέπει να επιθεωρηθεί, πώς να επιθεωρηθεί, που να λάβει χώρα η επιθεώρηση και πόσο συχνά πρέπει να επαναλαμβάνεται. Παρα το ότι οι επιθεωρήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του πόσο έχει προχωρήσει η υποβάθμιση του εξοπλισμού του συστήματος, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συνεχή λειτουργία του συστήματος και συνοδεύονται και από διάφορες οικονομικές προεκτάσεις. Για αυτούς τους λόγους ο σχεδιασμός πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μία ισορροπία μεταξύ του αναμενόμενου οφέλους της επιθεωρήσεως και των άμεσα σχετιζόμενων με αυτές εξόδων.

Ο καλός σχεδιασμός επιθεωρήσεων είναι ζωτικής σημασίας, έτσι ώστε να εντοπιστούν κατασκευαστικά ελαττώματα και αλλοιώσεις εγκαίρως και να ληφθούν οι αποφάσεις για το πόσο γρήγορα πρέπει να επισκευαστούν.

Ο σχεδιασμός επιθεωρήσεων μπορεί να βασίζεται σε συσσωρευμένες εμπειρικές γνώσεις (που καθορίζονται από τους κανόνες διατήρησης της κλάσης του πλοίου) ή να βασίζονται σε μεθόδους που περιστρέφονται γύρω από την αξιοπιστία ή επίσης γύρω από το ρίσκο. Στην πρώτη περίπτωση μόνο ένα μέρος της γνώσης (συγκεντρωμένων δεδομένων) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό κατασκευαστικών προβλημάτων λόγω των διαφοροποιήσεων μεταξύ των πλοίων. Στην δεύτερη περίπτωση, οι μέθοδοι που βασίζονται στην αξιοπιστία ανταποκρίνονται καλά στα ξεχωριστά μέρη του συστήματος αλλά δεν δίνουν καλά

αποτελέσματα για την αξιοπιστία του συνόλου. Υπολείπονται επίσης όσον αφορά την εμπειρία και πολλά μοντέλα αξιοπιστίας δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Τέλος στην Τρίτη περίπτωση γίνεται προσπάθεια ώστε να εξαιρεθούν οι αδυναμίες των δύο προηγούμενων.

Η αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων επιθεώρησης ποικίλει σημαντικά, κυμαίνεται από καθαρά αντιδραστικά προγράμματα, τα οποία επικεντρώνονται στα κλασσικά σημεία ενδιαφέροντος, μέχρι ευρέως προληπτικά προγράμματα που καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του εξοπλισμού.

1.2.3

Επιθεώρηση μετά από βλάβη

Στα προγράμματα «Επιδιόρθωση μετά από βλάβη» (Κατασταλτική Συντήρηση - Breakdown Maintenance) ουσιαστικά δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη μεθοδολογία σχεδιασμού επιθεωρήσεων. Δίνεται λιγότερη προσοχή στην λειτουργική κατάσταση του κρίσιμου εξοπλισμού και συστημάτων της μονάδας από τη στιγμή που οι περισσότερες εργασίες συντήρησης είναι αντιδραστικές στις βλάβες του εξοπλισμού και στα σταματήματα της παραγωγής.

Ο μόνος στόχος των εργασιών αυτών είναι το πόσο γρήγορα το μηχάνημα ή το σύστημα θα επιστρέψει σε λειτουργία. Εφόσον η μηχανή δουλεύει σε ένα ελάχιστο επίπεδο απόδοσης η συντήρηση της κρίνεται πως έγινε αποδοτικά. Αυτή η προσέγγιση στη Διοίκηση Συντήρησης είναι τόσο αναποτελεσματική όσο και εξαιρετικά δαπανηρή.

Η «Κατασταλτική Συντήρηση» έχει δύο παράγοντες που την κατατάσσουν ως συντήρηση με υψηλό κόστος:

- φτωχός προγραμματισμός
- μη ολοκληρωμένη επιδιόρθωση

Ο πρώτος περιορισμός της Κατασταλτικής Συντήρησης είναι πως οι περισσότερες εργασίες επιδιόρθωσης είναι εκτός προγραμματισμού εξαιτίας των χρονικών περιορισμών που επιβάλλει ο προγραμματισμός παραγωγής και η Διοίκηση του εργοστασίου. Σαν αποτέλεσμα αυτού η χρήση του ανθρώπινου δυναμικού όσο και η αποδοτική χρήση του εξοπλισμού συντήρησης είναι ελλιπείς. Κανονικά η Κατασταλτική ή Αντιδραστική Συντήρηση κοστίζει τρεις με τέσσερις φορές παραπάνω από την ίδια επιδιόρθωση, όταν αυτή έχει προγραμματιστεί σωστά.

Ο δεύτερος περιορισμός της κατασταλτικής συντήρησης είναι το ότι επικεντρώνει τις επιδιορθώσεις στα εμφανή συμπτώματα της βλάβης κι όχι στις πραγματικές αιτίες. Καμία προσπάθεια δε γίνεται να εντοπιστούν οι αιτίες της αστοχίας ή να αποτρέψουν την επανεμφάνιση της βλάβης.

Σαν αποτέλεσμα αυτού η αξιοπιστία της μηχανής ή του συστήματος είναι σοβαρά μειωμένη. Αυτό το τυπικό γεγονός για την Κατασταλτική Συντήρηση οδηγεί στην αύξηση της συχνότητας των επιδιορθώσεων και μια αξιοπρόσεκτη αύξηση στο κόστος συντήρησης.

1.2.4

Επιθεωρήσεις και προληπτική συντήρηση

Στην ανάγκη για ελαχιστοποίηση των εξόδων, με ταυτόχρονη αύξηση της αξιοπιστίας και της ασφάλεια, μεθοδολογίες σχεδιασμού «Προληπτικής Συντήρησης» έκαναν την εμφάνισή τους και με την πάροδο του χρόνου εξελίχθηκαν σημαντικά. Ο σχεδιασμός προληπτικής συντήρησης για τεχνικά συστήματα είναι ένας τομέας πρόκληση. Μία ισορροπία πρέπει να επιτευχθεί μεταξύ της συχνότητας και της έκτασης των συντηρήσεων από την μία και του κόστους από την άλλη.

Η αρχή, ο ορισμός της Προληπτικής Συντήρησης έχει ένα μεγάλο αριθμό εκφράσεων. Η κατά γράμμα ερμηνεία του όρου «προληπτική συντήρηση», είναι ένα πρόγραμμα συντήρησης που είναι επιφορτισμένο με την εξάλειψη ή την παρεμπόδιση των κατασταλτικών ενεργειών συντήρησης.

Ένα ευρύ πρόγραμμα «προληπτικής συντήρησης» χρησιμοποιεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα την αξιολόγηση του κρίσιμου εξοπλισμού του εργοστασίου, των μηχανημάτων και των συστημάτων προκειμένου να ανιχνευτούν πιθανά προβλήματα και να προγραμματιστούν άμεσα οι εργασίες συντήρησης που θα αποτρέψουν την οποιαδήποτε εκτροπή τους από την λειτουργική τους κατάσταση.

Πολύ συχνά όμως συναντάμε εφαρμογές Προληπτικής Συντήρησης να περιορίζονται σε περιοδικές λιπάνσεις και ρυθμίσεις και άλλες εργασίες συντήρησης σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Αυτά τα προγράμματα δεν είναι πραγματικά προγράμματα Προληπτικής Συντήρησης. Στην πραγματικότητα τα περισσότερα συνεχίζουν να βασίζονται στις βλάβες, σαν το κύριο έναυσμα για τις εργασίες συντήρησης, όπως για παράδειγμα τις επιθεωρήσεις διατήρησης κλάσης.

1.2.4.1

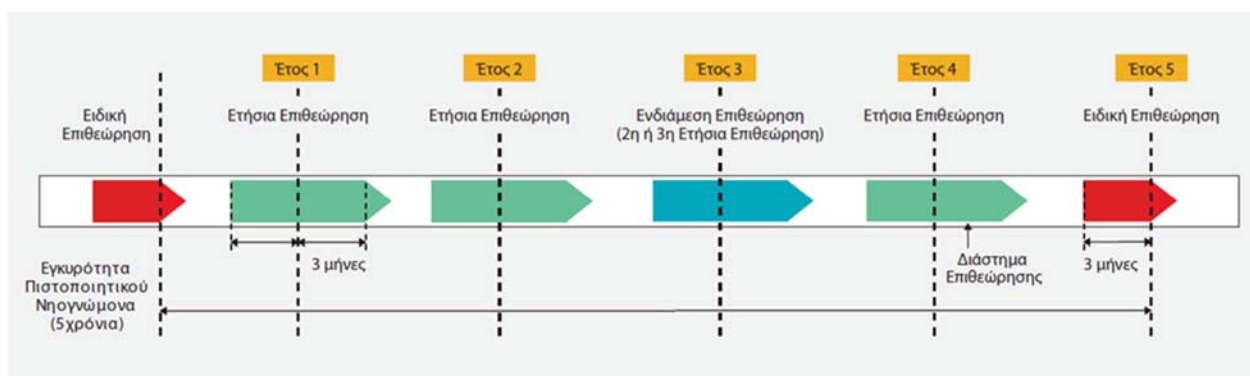
Επιθεωρήσεις διατήρησης κλάσης

Ο καθορισμός των διαστημάτων μεταξύ των επιθεωρήσεων, είναι ένας τομέας που έχει εξελιχθεί αρκετά με την πάροδο του χρόνου. Με την ανάγκη για περιοδική αξιολόγηση την αξιοπιστίας του εξοπλισμού, οι διάφοροι οργανισμοί αρχικά

κατέληξαν σε χρονικά εξαρτημένα ή «ημερολογιακά» διαστήματα. Παρακάτω θα παραθέσουμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου τύπου σχεδιασμού (διατήρησης κλάσης) όπως αναφέρεται στο εγχειρίδιο του νηογνώμονα ClassNK (ClassNK, 2012).

Μετά από την επιτυχή εγγραφή και ταξινόμηση στην Εταιρεία, τα πλοία εφοδιάζονται με ένα πιστοποιητικό ταξινόμησης που ισχύει για 5 χρόνια. Για να εξασφαλιστεί ότι τα πλοία, που είναι εγγεγραμμένα στην Εταιρεία, συντηρούνται και λειτουργούν σύμφωνα με τους κανόνες της Εταιρείας, αυτά τα πλοία πρέπει να επιθεωρούνται περιοδικά και περιστασιακά, ανάλογα με τις ανάγκες, και αυτό αποτελεί όρο για τη διατήρηση της πιστοποίησής τους.

Στη συνέχεια παρέχεται μια σύντομη περιγραφή όλων των απαιτούμενων τύπων επιθεωρήσεων.



Ετήσια Επιθεώρηση

Σχήμα 1.1: Διαδικασία Διατήρησης Κλάσης Πηγή: (ClassNK, 2012)

Τα εν ενεργεία πλοία πρέπει να υποβάλλονται σε μια Ετήσια Επιθεώρηση του κύτους και των σημαντικών μηχανημάτων και εξοπλισμού μία φορά το χρόνο. Οι Ετήσιες Επιθεωρήσεις πρέπει να πραγματοποιούνται εντός ενός εξάμηνου διαστήματος επιθεώρησης, δηλαδή εντός περιόδου τριών μηνών πριν ή μετά από την επέτειο της ημερομηνίας κατασκευής του πλοίου.

Ενδιάμεση Επιθεώρηση

Εκτός από τις Ετήσιες Επιθεωρήσεις, το πλοίο πρέπει να υποβάλλεται σε μια πιο ολοκληρωμένη Ενδιάμεση Επιθεώρηση, μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου έτους λειτουργίας του. Οι Ενδιάμεσες Επιθεωρήσεις διεξάγονται αντί για τη δεύτερη ή την τρίτη Ετήσια Επιθεώρηση.

Ειδική Επιθεώρηση

Όταν χρειαστεί να γίνει η ανανέωση του πιστοποιητικού κλάσης και η διατήρηση της εγγραφής ενός πλοίου, αυτό πρέπει να υποβληθεί σε μια Ειδική Επιθεώρηση εντός πέντε ετών από την επέτειο της ημερομηνίας κατασκευής του

πλοίου. Οι Ειδικές Επιθεωρήσεις αντικαθιστούν την πέμπτη ετήσια επιθεώρηση και είναι οι πιο ολοκληρωμένες επιθεωρήσεις ταξινόμησης, επειδή καλύπτουν σχεδόν όλες τις περιοχές του πλοίου. Εφόσον ένα πλοίο περάσει επιτυχώς μια ειδική επιθεώρηση, η πιστοποίησή του ανανεώνεται για επιπλέον πέντε χρόνια. Αντίθετα από τις Ετήσιες Επιθεωρήσεις, που έχουν διάστημα επιθεώρησης τριών μηνών μετά από την επέτειο της ημερομηνίας κατασκευής, οι Ειδικές επιθεωρήσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν εντός του τριμήνου πριν από την πέμπτη επέτειο της ημερομηνίας κατασκευής του πλοίου.

Επιθεώρηση Δεξαμενισμού

Για να διασφαλιστεί ότι το κάτω μέρος του πλοίου δεν παρουσιάζει ζημιές, όλα τα πλοία, που είναι εγγεγραμμένα στην Εταιρεία, πρέπει να υποβάλλονται σε Επιθεώρηση Δεξαμενισμού (dry dock) κάθε 36 μήνες. Ενώ ο χρόνος και η τοποθεσία της επιθεώρησης δεξαμενισμού εναπόκεινται στη διακριτική ευχέρεια του πλοιοκτήτη/διαχειριστή, η Επιθεώρηση Δεξαμενισμού συνήθως διεξάγεται ταυτόχρονα με την Ειδική Επιθεώρηση ή την Ενδιάμεση Επιθεώρηση. Τα πλοία που πληρούν ορισμένες απαιτήσεις μπορεί να υποβληθούν σε υποθαλάσσιο έλεγχο αντί για Επιθεώρηση Δεξαμενισμού.» [1]

1.2.4.2

Reliable Centered Maintenance (RCM)

Ένα ευρύ και ορθώς εφαρμοσμένο σύστημα Προληπτικής Συντήρησης θα περιλαμβάνει Προγνωστική Συντήρηση (όπως θα δούμε παρακάτω), χρονικώς καθορισμένες εργασίες συντήρησης καθώς και Επιδιορθωτική Συντήρηση.

Μία γνωστή εφαρμογή σχεδιασμού προληπτικής συντήρησης είναι η Reliable Centered Maintenance (RCM). Η λειτουργικότητα του συστήματος καθώς και η αξιοπιστία είναι οι τομείς που επικεντρώνεται η μεθοδολογία, όπως αντιλαμβάνεται κανείς και από το όνομα.

Σε γενικές γραμμές, μία διαδικασία δύο βημάτων ακολουθείται:

1. Επαγωγική ανάλυση των πιθανών βλαβών, όπου λαμβάνονται υπόψη τυπικά είδη βλαβών και οι επιδράσεις τους ενώ ακολουθεί μία ανάλυση κρισιμότητα, για το προσδιορισμό των κρίσιμων μερών του συστήματος
2. Χρησιμοποίηση λογικών διαγραμμάτων απόφασης: τα λεγόμενα RCM logic, για τον καθορισμό κατηγοριών PMs (προληπτικής συντήρησης, επιδιόρθωσης, αντικατάστασης κτλ.)

1.2.4.3

Risk Based Inspection and Maintenance (RBIM)

Ενώ μία άλλη εφαρμογή είναι ο σχεδιασμός επιθεωρήσεων που βασίζεται στην επικινδυνότητα/ρίσκο (Risk Based Inspection and Maintenance).

Οι διαδικασίες φθοράς που λαμβάνουν χώρα στα διάφορα μέρη των μηχανολογικών εγκαταστάσεις χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα και ο καλύτερος τρόπος για να περιγράψουν είναι με πιθανοθεωρητικούς όρους. Βάση αυτής αβεβαιότητας, θα υπάρχει πάντα μία συγκεκριμένη πιθανότητα, ένα συγκεκριμένο μέρος της εγκατάστασης να υποστεί βλάβη κατά την διάρκεια της λειτουργίας.

Οι συνέπειες αυτήν της βλάβης πχ. Όπως στην περίπτωση απώλειας ζωής ή εξόδων που αφορούν το ίδιο το αντικείμενο καθώς και τον ρόλο του στην λειτουργία του συνόλου της εγκατάστασης.

Το ρίσκο που σχετίζεται με το εκάστοτε μέρος των εγκαταστάσεων είναι το προϊόν της πιθανότητα βλάβης και των συνεπειών. Η προσέγγιση RBI ασχολείται όχι μόνο με την κάθε μονάδα του συστήματος, αλλά και με το σύνολο της εγκατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Βιβλιογραφική επισκόπηση

2.1

Risk Based Inspection

Στα τέλη της δεκαετίας του 60 και στις αρχές του 70 ήταν μία εποχή με μαζικά και τραγικά ατυχήματα που συμπεριελάμβαναν επικίνδυνα υλικά, εκ των οποίων τα πιο γνωστά είναι, η τραγωδία στο χωριό της Αγγλίας Flixborough το 1974 και στο Seveso στην Ιταλία το 1976. Ενώ στην Ολλανδία έλαβαν χώρα εκρήξεις από σύννεφα ατμού στο Pernis το 1968 και Beek το 1975, ατυχήματα που θεωρούνται από τα πιο επικίνδυνα και καταστροφικά στην βιομηχανία των χημικών. Εκείνη την εποχή ο καθηγητής Ben Ale, που δούλευε για την μεγάλη εταιρεία χημικών DSM, ανέπτυξε ένα συγκεκριμένο σκεπτικό με σκοπό την αντιμετώπιση προβλημάτων που αφορούν την ασφάλεια του πληθυσμού και του περιβάλλοντος απέναντι στα σοβαρά αποτελέσματα ανεπιθύμητων δυστυχημάτων, όσον αφορά την επιστήμη και τους κανονισμούς.

Από την ίδρυση της διεύθυνσης περιβάλλοντος τους Ολλανδικού υπουργείου στέγασης και αγροτικής ανάπτυξης (VROM) το 1982, τα καθήκοντα του υπουργείου κοινωνικών υποθέσεων (SZW) και του VROM εστιάζονταν στην ασφάλεια των εργατών και των πολιτών. Αυτός ο στόχος, εκείνη την εποχή, συνεπαγόταν μία εντελώς διαφορετική προσέγγιση, όπου το SZW προσπαθούσε να προωθήσει την ασφάλεια στην βιομηχανία μεταποίησης, προτείνοντας μεθόδους εντοπισμού των κινδύνων και μέτρων πρόληψης με ντετερμινιστικό τρόπο, το VROM αξιολογούσε τα ρίσκα έξω από τις εγκαταστάσεις πιθανολογικά.

Οι υπάλληλοι του SZW έδιναν έμφαση στον εντοπισμό των κινδύνων και στα προληπτικά μέτρα, ενώ οι υπάλληλοι του VROM εστίαζαν στην ποσοτικοποίηση της συχνότητας των βλαβών, στις αντίστοιχες συνέπειες και στα αποδεκτά κριτήρια ρίσκου στο επίπεδο ανοχής του ευρύτερου κοινού. Ο καθηγητής Ben Alle, από το 1980 εργαζόταν για το VROM, και κατάφερε να συμπεριλάβει σε νόμο τα κριτήρια αποδοχής ρίσκου καθώς και να βρει χρηματοδότηση για την ανάπτυξη του εργαλείου «Ποσοτικής αξιολόγησης με γνώμονα το Ρίσκο» ή «Quantitative Risk Assessment (QRA)» προσλαμβάνοντας συμβουλευτικά γραφεία όπως τον Det Norske Veritas (DNV) και τον ολλανδικό οργανισμό εφαρμοσμένης επιστημονικής έρευνας (TNO).

Η QRA είναι μία πολύ δυνατή τεχνική, με ευρύ πεδίο εφαρμογής. Η επίσημη αρχή της QRA ήταν το έγγραφο που συνέβαλε και ο Norman Rasmussen (U. S. Nuclear Regulatory Commission, 1975) από την ρυθμιστική επιτροπή πυρηνικής ενέργειας. Ο καθηγητής Norman Rasmussen έγινε παγκοσμίως γνωστός στην κοινότητα της μηχανικής ασφαλείας με την εφαρμογή πιθανολογικής προσέγγισης στην αξιολόγηση με γνώμονα το ρίσκο στην πυρηνική βιομηχανία για πρώτη φορά. Κάτω από την καθοδήγηση του καθηγητή η μελέτη Reactor Safety Study η οποία μελέτησε τα δημόσια ρίσκα όσον αφορά τα πυρηνικά ατυχήματα, επηρέασε σε τεράστιο βαθμό της ασφάλεια στα πυρηνικά εργοστάσια και στην έκδοση αδειών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η πιθανολογική

αξιολόγηση με γνώμονα το ρίσκο που μας εισήγαγε η παραπάνω μελέτη χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα στην πυρηνική βιομηχανία καθώς και σε άλλους κλάδους.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η Canvey Island Study εκπονήθηκε το 1978 (HSE, 1978). Αυτή η μελέτη ασχολήθηκε κυρίως με μία πρόταση για επέκταση της QRM στο τομέα χημικής επεξεργασίας στις βιομηχανικές περιοχές στις εκβολές του Τάμεση. Σε αυτήν την μελέτη, προσδιορίστηκαν τα κριτήρια αποδοχή των ρίσκων.

Στην Ολλανδία, υποκινούμενη από την Επιτροπή για Πρόληψη καταστροφών (Committee for Prevention of Disaster - CPR) και επιφορτισμένη από το συμβούλιο του Rijnmond, το 1978 μία πιλοτική μελέτη εκτελέστηκε για τα ρίσκα που αφορούν έξι επικίνδυνα σημεία στην περιοχή του Rijnmond (COVO, 1982) (αναφέρθηκε το 1979 από τους Cremer και Warner αλλά δημοσιεύτηκε τρία χρόνια . Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι ένας αριθμός αδυναμιών της QRA μεθοδολογίας που γνωρίζαμε, όπως τα μεγάλα περιθώρια αβεβαιότητα και το πρόβλημα ότι λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν το ανθρώπινο λάθος και άλλες αιτίες αποτυχίας, έχουν ήδη εντοπιστεί σε αυτήν την μελέτη. Επίσης, ένας αριθμός κενών γνώσης πχ. οι υπολογισμοί των συνεπειών έχουν ήδη αναπτυχθεί. Αυτή η μελέτη έχει περιλάβει, μεταξύ άλλων, ότι η ενδεχόμενη καταστροφή αυτών των αντικειμένων είναι σημαντική και ότι θα είναι σωστό η ανάπτυξη μίας πιο αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας για να εκτελεστούν οι πολλοί τεχνικοί και επιστημονικοί υπολογισμοί που περιλαμβάνει μια τέτοια ανάλυση.

Σε γενικές γραμμές η προσέγγιση της QRA σήμερα είναι ακριβώς η ίδια όπως αναπτύχθηκε της δεκαετία του 80. Απλά οι μεθοδολογίες QRA τελειοποιήθηκαν. Εξελίχθηκαν σε μεγάλο βαθμό και έγιναν πιο λεπτομερή και ολοκληρωμένες και χάρη στην πρόσβαση σε μεγαλύτερο όγκο δεδομένων, χρησιμοποιούν καλύτερα και μεγαλύτερης ακρίβειας μοντέλα.

Αυτές είναι οι βάσεις της αξιολόγησης με γνώμονα το ρίσκο. Ένα θεμελιώδη στοιχείο της Risk Based Inspection (RBI) μεθοδολογίας.

Ο στόχος να τεθεί ειδική νομοθεσία για την ασφάλεια που να αφορά συστήματα υψηλής πίεσης πρωτοεμφανίστηκε το 1989 (HSE, 1989) και συνεχίστηκε 2000 (HSE, 2000) από το The Stationary Office. Αυτοί οι κανονισμοί ενεργοποίησαν ένα ρεύμα στρατηγικών επιθεωρήσεων με κατεύθυνση το ρίσκο βλάβης. Η νομοθεσία αυτή αφήνει τον ιδιοκτήτη, μαζί με όσους εμπλέκονται στην εκάστοτε λειτουργία, να επιλέξουν ένα οποιοδήποτε κατάλληλο υλοποιημένο σχεδιάγραμμα που θα επιτρέπει με κατάλληλο έλεγχο να αποφύγει βλάβες (που θα έθετα την λειτουργία ή εμπλεκόμενους σε κίνδυνο). Αυτός ο έλεγχος θα πρέπει να βασίζεται στην υπάρχουσα γνώση και τις καλύτερες πρακτικές μηχανικής.

Η δυνατότητα να παίρνεις σωστές αποφάσεις είναι βασική παράμετρος για την σωστή λειτουργία. Στον σύγχρονο πολύπλοκο κόσμο, οι επιχειρηματικές αποφάσεις σπάνια είναι απλές και εύκολα διαχειρίσιμες. Η ταυτοποίηση ενός ευρύ φάσματος πιθανών επιλογών, η αποτελεσματική αξιολόγηση της αξίας της κάθε μίας, ο κατάλληλος αριθμός / ποιότητα δεδομένων, η κατάλληλες (χρονικά και οικονομικά) μεθοδολογίες λήψης αποφάσεων και η αποτελεσματική

κατανόηση και υλοποίηση της ληφθείσας απόφασης, είναι μερικές από τις παραμέτρους που κάνουν μία διαδικασία λήψης αποφάσεων καλή.

Η αξιολόγηση με βάση το ρίσκο χρησιμοποιείται επιπρόσθετα στην διαδικασία λήψης αποφάσεων. Καθώς οι επιλογές αξιολογούνται, είναι κρίσιμο να γίνει ανάλυση του κινδύνου που συνοδεύει η κάθε επιλογή. Αυτή η ανάλυση μπορεί να συμπεριλάβει επιχειρησιακά ρίσκα που αφορούν την οικονομία, την υγεία των εργαζομένων, την ασφάλεια, την περιβαλλοντολογική μέριμνα καθώς και άλλου τύπου κινδύνους.

Μία ενδεδειγμένη ανάλυση αυτών των ρίσκων θα διαλευκάνει το ποια απόφαση πρέπει να παρθεί στην εκάστοτε περίπτωση.

Το ρόλο του πρωτοπόρου στον χώρο της λειτουργίας και σχεδιασμού συντήρησης με γνώμονα το ρίσκο- Risk-Based Inspection (RBI) έχει η βιομηχανία της μεταποίησης (δυλιστήρια, χημικές/πετροχημικές εγκαταστάσεις, υπεράκτιες κατασκευές). Από μία σειρά ενεργειών καθοδηγούμενες από μεγάλες επιχειρήσεις ή οργανισμούς όπως το American Petroleum Institution (API), η προσέγγιση RBI, εξελίχθηκε από μία “ενδιαφέρον εναλλακτική” σε μία επίσημη επιχειρησιακή πολιτική, και σε ορισμένες περιπτώσεις εθνική πολιτική.

Στο ενδιάμεσο, μεταξύ των “πλούσιων” πετρελαϊκών και της δημοσίου ενδιαφέροντος πυρηνικής βιομηχανίας, συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας διενεργούσαν δικές τους έρευνες για να βρουν τις δικές τους ισορροπίες στις αρχές αυτής της μεθοδολογίας, για αρκετό καιρό. Παρότι η ιδέα του να λαμβάνεται το ρίσκο ως μέτρο για την βελτιστοποίηση της επιθεώρησης εν ώρα λειτουργίας είχε αποδεκτή αρχή από πολλούς, το πρώτο απότέλεσμα εμφανίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 80 με την συμμετοχή των ΗΠΑ και η πρώτη δημοσίευση έγινε στις αρχές της δεκαετίας του 90 από την American Society of Mechanical Engineers (ASME) (ASME, 1991)

Ένας άλλος οργανισμός που με τις προσπάθειες του συνέβαλε στο τότε επίπεδο που επιτευχθεί όσον αφορά την οργάνωση της RBI είναι και το Electric Power Research Institution (EPRI) με τα έγγραφα (EPRI, 1998a) και (EPRI, 1998b)

Αναλύσεις αξιοπιστίας και ρίσκου είναι επίσης σημαντικά ζητήματα και στον τομέα των πληροφοριακών συστημάτων τεχνολογίας (Information Technology - IT) ελέγχου. Ένα παράδειγμα είναι το πρότυπο IEC 61508 (International Electrotechnical Commission 2000), το οποίο καλύπτει όλο τον κύκλο ζωής των μερών/συστημάτων. Το IEC 61508 είναι ένα πρότυπο για την ασφάλεια συστημάτων που βρίσκονται σε κρίσιμη φάση. Εφαρμόζεται σε μία ευρεία κατηγορία συστημάτων ασφαλείας, σε πολλαπλούς τομείς της βιομηχανίας όπως της πετροχημικής, ιατρικής, σιδηροδρομικής, αεροπλοΐας και αυτοκίνησης. Έχει επίσης λάβει διεθνής αναγνώριση και μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές χώρες. Συνδυάζει την ασφάλεια λειτουργίας, της διαδικασίας, του εξοπλισμού και του λογισμικού και αφορά τόσο την βραχυπρόθεσμη όσο και την μακροπρόθεσμη ασφάλεια. Ενδείκνυται για προέγκριση ανεξάρτητων μερών και ενεργοποιεί την επαναλειτουργία πιστοποιημένων μερών για νέα συστήματα. Το πρότυπο ορίζει 4 Επίπεδα Ασφαλούς Ακεραιότητα ή Safety Integrity Levels (SIL). Το SIL 1 και 2 εφαρμόζεται σε συστήματα που σχετίζονται με την ασφάλεια (συστήματα που

η δυσλειτουργία τους μπορεί να θέσει έμμεσα ή άμεσα σε κάποιον κίνδυνο), ενώ το SIL 3 και 4 σε κρίσιμα συστήματα ασφάλεια (συστήματα που μόνα τους κάνουν τις απαραίτητες κινήσεις έτσι ώστε να επιτυγχάνεται πάντα απαραίτητο επίπεδο ασφαλείας).

Επιπρόσθετα, η Nuclear Regulatory Commission (NRC), διεξήγαγε ασκήσεις επαλήθευσης και επικύρωσης που εφαρμόζουν αρχές που περιλαμβάνουν το ρίσκο, καθώς και μία ομάδα εργασίας στην Ευρώπη πάνω σε αυτόν τον τομέα έστησε το European Network on Inspection Qualification (ENIQ, 1997).

Την δεκαετία του 90, εκτός από την ASME, κατευθυντήριες γραμμές δημοσιεύτηκαν και από το American Petroleum Institution (API). Μία συνεργασία που ξεκίνησε από τον Det Norske Veritas (DNV) και συμπεριέλαβε μία μεγάλη ομάδα χρηματοδότησης μέσα από την βιομηχανία (όπως οι Amoco, Dow, Exxon, Fina, Shell, Texaco κτλ.). Η έρευνα οδήγησε σε μία μεγάλη δημοσίευση η οποία είναι κοινώς γνωστή ως Base Resource Document, αλλά αργότερα δημοσιεύτηκε ως API 581 και εφαρμόστηκε αρχικά από τον DNV στο Houston της HOA.

Ο πυρήνας των προσπαθειών των Ηνωμένων πολιτειών είναι τα εξής έγγραφα: «API 581» Risk-Based Inspection Resource Document» (API, 2000a), «API 580» Risk-Based Inspection, draft May 2000 (API, 2000b) και API 580 Lite Version Risk-Based Inspection, draft May 2000 (API, 2000c).

Τα παραπάνω έγγραφα συνοδεύονται/συμπληρώνονται από τα ακόλουθα:

- API Standard 510 Pressure Vessel Inspection Code: maintenance, inspection, rating, repair, and alteration
- API Standard 570 Inspection, repair, alteration, and rerating of in-service piping systems
- API Standard 653 Tank inspection, repair, alteration and reconstruction
- API RP 521 Guide for pressure-relieving and depressuring systems
- API RP 530 Calculation of heater tube thickness in petroleum refineries (υπολογισμοί λέπτυνσης των σωληνώσεων θέρμανσης στα διυλιστήρια πετρελαίου)
- API RP 579 Fitness-for-service
- API RP 941 Steels for hydrogen service at elevated temperatures and pressures in petroleum refineries and petrochemical plants
- API 750 Management of process hazards
- ASME “Risk-Based Inspection Guidelines, Handbook for Fossil Fuel-Fired Power Plants,” 1996
- ASME “Risk-Based In-Service Testing—Development of Guidelines, Volume 2—Part 2,” 1996
- ASME “Risk-Based In-Service Testing—Development of Guidelines, Volume 2: Light Water Reactor Nuclear Power Plant Components,” 1996
- ASME “Risk-Based In-Service Testing—Development of Guidelines, Volume 1: General Document,” 1996
- ASME “Risk-Based Inspection Development of Guidelines: Volume 2—Part 2, 1996

- ASME “Risk-Based Inspection Development of Guidelines: Volume 2—Part 2, 1996
- ASME “Risk-Based Inspection Development of Guidelines: Volume 3, Fossil Fuel-Fired Electric Power Plants,” 1995
- ASME “Risk-Based Inspection Development of Guidelines: Volume 2—Part 1, Light Water Reactor Nuclear Power Plant Components,” 1993
- ASME “Risk-Based Inspection Development of Guidelines: Volume 1, General Document,” 1991
- EPA Risk Management Programs for Chemical Accident Release Prevention, 40 CFR Part 68, Propose Rule, Docket A-91-73
- OSHA Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals Standard, Title 29, Code of Federal Regulations (CFR) Part 1910.119 (FR 57(36))

Τα τρία έγγραφα API 580/581 παρέχουν τον σκελετό της RBI μεθοδολογίας, η οποία χρησιμοποιεί το ρίσκο ως τη βάση για την ιεράρχηση και την διαχείριση των προγραμμάτων επιθεώρησης. Το RBI πρόγραμμα θεωρητικά πρέπει ως επι το πλείστον να προσδιορίζει και να μετράει το ρίσκο, να δίνει την δυνατότητα στην διαχείριση, να αναθεωρεί τα ρίσκα που σχετίζονται με την ασφάλεια, το περιβάλλον και την διακοπή της επιχειρηματικής δραστηριότητας με πλήρη, ολοκληρωμένο και οικονομικό τρόπο και τέλος να παρέχει μία διαδικασία για να επιτύχει την συστηματική μείωση της πιθανότητα βλάβης ιεραρχώντας την χρήση/αποτελεσματικότητα των διαθέσιμων πόρων επιθεώρησης.

Στο παρελθόν οι αξιολογήσεις ρίσκου επικεντρώνοντας σε θέματα που προέκυπταν μέσα στις εγκαταστάσεις (εσωτερικά ζητήματα), αλλά το έγγραφο API 581 επεκτείνει το αντικείμενο τους και σε άλλα ζητήματα, όπως οι συνέπειες ρίσκων που θα μπορούσαν να παρεμποδίσουν την επιχειρηματική δραστηριότητα καθώς και τα ρίσκα που αφορούν την καταστροφής του περιβάλλοντος ή την έκθεση σε κίνδυνο κοινοτήτων εκτός αλλά κοντά των εγκαταστάσεων.

Η RBI όπως ορίζεται από το έγγραφο API 581, αποτελεί μία πρωτοπόρα προσέγγιση επιθεωρήσεων και προγραμματισμού των απαραίτητων διαστημάτων επιθεωρήσεως/συντήρησης, που θέτει ως κύριο στόχο την ασφάλεια και την αξιοπιστία των εγκαταστάσεων λειτουργίας/εξοπλισμού. Το ρίσκο ορίζεται ως ο συνδυασμός της πιθανότητας να συμβεί ένα γεγονός κατά την διάρκεια της περιόδου ενδιαφέροντος και των συνεπειών, (συνήθως αρνητικών) που σχετίζονται με το γεγονός.

Η RBI επικεντρώνει ειδικότερα την προσοχή της στον εξοπλισμό, καθώς και στους αντίστοιχους μηχανισμούς φθοράς, εκείνων που έχουν επιτύχει το μεγαλύτερο ρίσκο μέσα στην εγκατάσταση. Στοχεύοντας στα ρίσκα τους και στον μετριασμό τους, η RBI παρέχει μία σύνδεση μεταξύ του μηχανισμού που οδηγεί το στοιχείο στην αστοχία/βλάβη και των προσεγγίσεων της επιθεώρησης που με επιτυχία θα μειώσει τα αντίστοιχα ρίσκα.

Το ρίσκο λειτουργίας θα καθοριστεί συνδυάζοντας την πιθανότητα ενός ή περισσοτέρων γεγονότων με τις συνέπειες τους. Μερικές βλάβες μπορεί να συμβαίνουν σχετικά συχνά χωρίς να προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις στην

ασφάλεια, το περιβάλλον ή το κεφάλαιο. Παρόμοια, ενώ κάποιες βλάβες μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις, η πιθανότητα μπορεί να είναι τόσο μικρή ώστε το ρίσκο να μην δικαιολογεί άμεσες ενέργειες. Ωστόσο, εάν ο συνδυασμός της πιθανότητας και των συνεπειών (ρίσκο) είναι αρκετά μεγάλος ώστε να θεωρηθεί μη αποδεκτός, προτείνεται να εκτελεστούν ενέργειες μετριασμού ώστε να προβλεφθεί ή να αποτραπεί το συγκεκριμένο γεγονός.

Αφότου ο DNV έθεσε τις βάσεις για την εφαρμογή της RBI, τελικά αποχώρησε από την ερευνητική ομάδα και τον API για να δουλέψει μία δικιά του εφαρμογή που ονομάζεται ORBIT και η οποία αφορά εγκαταστάσεις στον τομέα της μεταποιητικής βιομηχανίας (δυλιστήρια πετρελαίου, φυσικού αερίου, εγκαταστάσεις πετροχημικών και LNG κτλ) και υπεράκτιες κατασκευές (Η προτεινόμενη πρακτική περιγράφεται αναλυτικά και στα έγγραφα που δημοσίευσε το 2002 και 2010 (DNV, 2002 ;DNV, 2010). Σε σύγκριση με την μεθοδολογία API, η ORBIT είναι ένα πακέτο καλύτερα συντονισμένο, που εκμεταλλεύεται στο έπακρον την εκτενή γνώση και εμπειρία του οργανισμού DNV. Έχουν προστεθεί αρκετά χαρακτηριστικά που το πρόγραμμα API δεν επεκτάθηκε.

Το λογισμικό είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί λόγω των διαθέσιμων επιλογών διαφόρων επιπέδων ανάλυσης ανάλογα με την λεπτομέρεια και έκταση που επιθυμεί ο χρήστης. Το τελευταίο εργαλείο παρέχει στον χρήστη με την επιλογή να εκτελέσει μία αρχική εκτίμηση όλων των αντικειμένων, έτσι ώστε η λεπτομερής ανάλυση να επικεντρωθεί στα αντικείμενα υψηλού ρίσκου μόνο.

Ο DNV δεν είναι ο μόνος νηογνώμονας που ασχολήθηκε με το ζήτημα. Ο American Bureau of Shipping (ABS) το 2000 (**ABS, 2000**) δημιουργεί ένα συγκεντρωτικό αρχείο που περιλαμβάνει επίσης μια ολοκληρωμένη διαδικασία αξιολόγησης του ρίσκου.

Στο συγκεκριμένο έγγραφο ο ABS παρέχει αρκετές λεπτομέρειες, εργαλεία και μεθοδολογίες διαθέσιμες για τη διεξαγωγή τέτοιων αξιολογήσεων, εκτιμήσεων για την οργάνωση μίας αξιολόγησης, πληροφορίες για τις προϋποθέσεις σχετικών κανονισμών και διάφορα παραδείγματα εφαρμογών στον τομέα της ναυτιλίας και των υπεράκτιων πλατφόρμων εξόρυξης πετρελαίου.

Καθώς οι οργανισμοί εξοικειώνονται με αυτές τις τεχνικές αξιολόγησης, αρχίζουν να εφαρμόζονται συχνότερα, με σκοπό να βελτιώσουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, ακόμα και στις περιπτώσεις όπου δεν το υποβάλουν οι κανονισμοί. Καθώς η πρόσβαση σε δεδομένα γίνεται ευκολότερη και οι τεχνικές ανάλυσης εξελίσσονται, η εφαρμογή της αξιολόγησης του ρίσκου γίνεται όλο και πιο εύκολη. Για τον λόγο αυτό, περισσότερες εφαρμογές, είτε υποχρεωτικά, είτε εθελοντικά, κάνουν την εμφάνισή τους σε όλες τις βιομηχανίες.

Μία έρευνα, με στόχο να δημιουργήσει ανάγκες στην ευρωπαϊκή βιομηχανία στον τομέα του RBI/Risk Based Life Management (RBLM), εκτελέστηκε από το MPA Stuttgart το 1999 και στις αρχές του 2000 στο πλαίσιο του EPERC (European Pressure Equipment Research Council and PLAN—Plant Life Assessment Network). Επιπρόσθετα, η έρευνα χρησιμοποίησε άμεσες επαφές και συνεντεύξεις για να δημιουργήσει μία συλλογή διατριβών και βασικών αρχών.

Από την κάθε επιχείρηση συλλέχθηκαν οι παρακάτω πληροφορίες:

- Βάση κανονισμών: κώδικες, κανόνες, πρότυπα, οδηγοί
- Εταιρικές πολιτικές: παραδοχές και προσδοκίες
- Πρακτικές εφαρμογές
- Μέλλον: σχέδια

Οι συμμετέχοντες είχαν την υποχρέωση να προμηθεύσουν με δεδομένα είτε πάνω στην δική τους εφαρμογή, είτε δεδομένα από άλλες εφαρμογές που πήραν ως αναφορά όταν έπαιρναν τις αποφάσεις για να εισάγουν τις RBI/ RBLM προσεγγίσεις. Η έρευνα συνοψίζεται παρακάτω.

43 συμμετέχοντες απάντησαν στο ερωτηματολόγιο, οι οποίοι προέρχονταν από την Αυστρία, Βέλγιο, Φιλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ισραήλ, Ιταλία, Ολλανδία, Νορβηγία, Σλοβενία, Σουηδία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ουκρανία και Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής. Πιθανότατα λόγω της προέλευσης του βασικού διοργανωτή (MPA Stuttgart), οι περισσότερες από τις απαντήσεις προήλθαν από την Γερμανία.

Το 60% της δουλειάς των συμμετεχόντων, σχετιζόταν με σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και το 40% με εγκαταστάσεις μεταποίησης και παρόμοιες δραστηριότητες

Από όσους χρησιμοποιούν οποιοδήποτε τύπο RBI/RBLM προσέγγισης , περίπου το 25% παίρνει σαν αναφορά την American Society of Mechanical Engineers (ASME), περίπου το 25% την American Petroleum Institution (API), περίπου το 10% τον Det Norske Veritas (DNV) και το υπόλοιπο 40% άλλα έγγραφα.

Οι κύριοι λόγοι που προκάλεσαν ενδιαφέρον στην RBI μεθοδολογία ήταν η επίτευξη περισσότερη ασφάλεια και τα προβλεπόμενα (Περίπου το 60%). Ο τρίτος κυριότερος παράγοντας μπορεί να χαρακτηριστεί ως απλά “γενικό ενδιαφέρον”

Μόνο 15% των συμμετεχόντων ανέφερε την επιβολή υποχρεωτικής χρήσης RBI/RBLM ή σχετικές με ρίσκο κατευθυντήριες γραμμές και άλλων παρόμοιων κανόνων στην επιχείρησή τους.

Τέλος, περισσότεροι από τους μισούς συμμετέχοντες, εξέφρασαν την υποστήριξη τους για «προτεινόμενες εργασίες σχετικές με RBI/RBLM όπως το RIMAP ή παρεμφερή» και επιβεβαίωσαν ότι οι «ευρωπαϊκές RBI/RBLM κατευθυντήριες γραμμές χρειάζονται επείγοντως». Πάνω από 70% πίστευε ότι πρέπει να αναπτυχθεί ένα RBI/RNML εργαλείο. Λιγότερο από 10%, πίστευε ότι με τις κατευθυντήριες γραμμές που ανέπτυξαν το API και η ASME, δεν υπάρχει λόγος ανάπτυξης κάποιας αντίστοιχης ευρωπαϊκής.

Επιπρόσθετα της ανοιχτής, internet-based έρευνας που περιεγράφηκε παραπάνω, 10 μελέτες επιλέχθηκαν για περαιτέρω πιο ποιοτική ανάλυση. Στόχος της έρευνας είναι η «Ευρωπαϊκή κατάσταση» και καθώς η έρευνα ήταν ανώνυμη, οι επιχειρήσεις και οι οργανισμοί κατηγοριοποιήθηκαν με γενικούς όρους όπως «Κατασκευαστικές», «Κοινωνικές επιχειρήσεις» κτλ.

Αυτό ωστόσο δεν είναι πάντα ενδεδειγμένο, οι κατασκευαστές στην εποχή μας επιθεωρούν, οι επιθεωρητές συμβουλεύουν, οι κοινωφελής επιχειρήσεις συντηρούν όχι μόνο τις δικές τους εγκαταστάσεις, αλλά και άλλων κτλ.

Η έρευνα και οι συνεντεύξεις επιβεβαίωσαν τις παρακάτω ανάγκες σε όλα τα επίπεδα:

- Η επιθεώρηση, η συντήρηση και ο σχεδιασμός των στρατηγικών που θα ακολουθούν όλα τα μέρη της επιχειρήσεως, πρέπει να αξιολογούνται συνυπολογίζοντας το κόστος, την ασφάλεια και άλλων κριτηρίων στο πλαίσιο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσα από την επιθεώρηση/δοκιμές, παρακολούθηση, και προσπάθεια συντήρησης που είναι επικεντρώνονται στα σημαντικά μέρη και στις διαδικασίες φθοράς οι οποίες συμβάλουν στην αύξηση του ρίσκου που σχετίζεται με την ασφάλεια, το περιβάλλον και το κεφάλαιο της εγκατάστασης.
- Το βασικό στοιχείο της RBI – Η ιεράρχηση των δραστηριοτήτων επιθεώρησης και συντήρησης της για όλη την εγκατάσταση, πρέπει να γίνει με συνέπεια διατηρώντας μία επισκόπηση των κινδύνων που παρουσιάζονται καθ' όλη την ζωή της εγκατάστασης.
- Υπάρχει ανάγκη για την δημιουργία μίας καθαρά ευρωπαϊκής προσέγγισης, η οποία θα οδηγήσει στο καθορισμό κάποιου κώδικα και κάποιων προτύπων. Τα μικρότερα παρακλάδια της εκάστοτε βιομηχανίας, με ενδεχομένως μικρότερες προοπτικές ασφαλείας, χρειάζονται επειγόντως κάτι τέτοιο με σκοπό να βελτιστοποιήσουν την διαχείριση των πόρων τους, κάτι που θα ενισχύσει την ανταγωνιστικότητά τους.
- Η συντήρηση και η επιθεώρηση ήταν παραδοσιακά δύο διαφορετικές δραστηριότητες. Μία σύγχρονη αντίληψη της διαχείρισης θέλει αυτούς τους δύο κλάδους ενοποιημένους καθώς και των επιμέρους ενεργειών, με σκοπό την μείωση του χρόνου παύσης λειτουργίας των εγκαταστάσεων και την μείωση των σχετικών εξόδων. Οι προσεγγίσεις που λήφθηκαν υπόψιν για τον σχεδιασμό των επιθεωρήσεων ονομάστηκαν Risk-Based Inspection (RBI) – Επιθεωρήσεις βασιζόμενες στο ρίσκο - ή Risk-Informed Inspection που αφορά μία πιο ποιοτική προσέγγιση. Στο τομέα της συντήρησης, η Reliable Centered Maintenance (RCM) – Συντήρηση που περιστρέφεται γύρω από την αξιοπιστία – έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως εργαλείο για τον προσδιορισμό των κατάλληλων τύπων επιθεώρησης για τα μέρη της εγκατάστασης, όπου μία εναλλακτική θα μπορούσε να είναι και η ίδια επιθεώρηση, που θεωρείται στην RBI. Αυτές οι δύο προσεγγίσεις πολύ συχνά απευθύνονται στα ίδια συστήματα/εξοπλισμό και η ανάγκη για μία ενοποιημένη προσέγγιση γίνεται εμφανής, όπως επίσης και ο καθορισμός των προϋποθέσεων του περιεχόμενου της ανάλυσης.

Όταν συγκρίνουμε την ευρωπαϊκή κατάσταση στις αρχές του 2000 με αυτήν των ΗΠΑ, στην βάση των RBI κανονισμών, παρατηρούμε ότι, τα έγγραφα που

καλύπτουν μεμονωμένα ζητήματα είναι συνήθως σε πανομοιότυπο τεχνικό επίπεδο και λεπτομέρεια. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το PED 97/23 (EC, 1997) και το Seveso II (EC, 1996) τα οποία μπορούν να θεωρηθούν και το ευρωπαϊκό προβάδισμα. Αλλά γενικότερα, υπάρχει σε μικρότερο βαθμό συνοχή μεταξύ των διαφόρων μεμονωμένων εγγράφων. Για παράδειγμα η ορολογία ενός εγγράφου μπορεί να μην συμβαδίζει με αυτή άλλων. Ενώ η συνολική κάλυψη των ζητημάτων της RBI μεθοδολογίας είναι λιγότερο πλήρης σε σχέση με την αμερικανική. Σε κάποια ζητήματα υπήρχαν κενά, ενώ άλλα δεν αναλύονταν καθόλου.

Επίσης υπήρχε έλλειψη εγγράφων όπως τα API 581/580. Δηλαδή δεν υπήρχε ένα κεντρικό έγγραφο που να συνδέει τα υπάρχουσα κομμάτια σχηματίζοντας ένα συνεπές και ολοκληρωμένο RBI σύστημα. Και όσον αφορά την αποβολή των κυβερνητικών ρυθμιστικών ελέγχων, η Ευρώπη είχε μεγάλο δρόμο μπροστά της, σε αντίθεση με την Αμερική, όπου οργανισμοί της όπως οι PVRC, ASME, API και παρόμοιοι, είχαν την δυνατότητα να αντιδράσουν πολύ πιο ευέλικτα και πολλές φορές πιο αποτελεσματικά σε σχέση με τους αντίστοιχους ευρωπαϊκούς πχ. (EPERC, 1999).

Έτσι στην Ευρώπη ξεκίνησε μία μεγάλη προσπάθεια για την ανάπτυξη μία μεθοδολογίας επιθεωρήσεων και συντήρησης με βάση το ρίσκο, η οποία όμως να είναι ανεξάρτητη από την εκάστοτε βιομηχανία. Και όπως είδαμε και παραπάνω, υπήρχε μεγάλη ανάγκη να καθοριστεί τεχνικό περιεχόμενο, που να την συνδέει με την ευρωπαϊκή νομοθεσία και που να την ενσωματώνει στην καθημερινή λειτουργία των εκάστοτε εγκαταστάσεων σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Αυτό είναι το υπόβαθρο του Risk Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry (RIMAP), όπου ένας συνεταιρισμός 16 ευρωπαϊκών εταιριών που εκπροσωπεί μία ευρεία βιομηχανική βάση ένωσε τις δυνάμεις του για να αναπτύξει την καλύτερη ευρωπαϊκή πρακτική και για να επιδείξει την εφαρμοσιμότητα της σε αρκετές περιπτώσεις.

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα απευθύνεται στην πετροχημική, χημική, παραγωγής ενέργεια και βαριά βιομηχανία αλλά οι τεχνικές μπορούν πολύ εύκολα να προσαρμοστούν σε οποιοσδήποτε τομέα.

Αυτό που επιδιώκει το συγκεκριμένο πρόγραμμα, συνοπτικά είναι, να γίνετε καλύτερη διαχείριση του κόστους λειτουργίας των εγκαταστάσεων, η λειτουργία να διέπτε από ασφάλεια και αξιοπιστία, να επιτευχθεί επέκταση του κύκλου ζωής των εγκαταστάσεων και να ενισχυθεί ο ανταγωνισμός και η ομοιομορφία στην ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Τα μέσα για να επιτύχει κάτι τέτοιο είναι, η δημιουργία μία διαδικασία λήψης αποφάσεων που να βασίζεται στο ρίσκο, η χρησιμοποίηση σύγχρονων εργαλείων ανάλυσης, η τυποποίηση της RBI μεθοδολογίας, η ανάπτυξη της καλύτερης δυνατής πρακτικής, η καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των τομέων της βιομηχανίας για την καλύτερη πρόσβαση στην πληροφορία που σχετίζεται με την εμπειρία του εκάστοτε τομέα και φυσικά η ανάπτυξη μοντέλων φθοράς.

Το πρόγραμμα διαχωρίστηκε σε τρία υπο-προγράμματα:

- RTD (Έρευνα και Τεχνολογική Ανάπτυξη)
- DEMO (επίδειξη στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας)
- TN (Θεματικό Δίκτυο)

Αυτό το πρόγραμμα ξεκίνησε το 2001, ενώ εκπονήθηκε το 2005.

Το RIMAP RTD πρόγραμμα έχει διαιρεθεί σε 5 κύρια τεχνικά πακέτα εργασίας ή technical Work Package (WP). Αυτά τα WP είναι δομημένα με καθαρά ορισμένη αλληλοσυσχέτιση με σκοπό να πετύχουν μία αποδοτική εκτέλεση του προγράμματος. Το WP1 αφορά της τωρινή πρακτική που εφαρμόζει η βιομηχανία. Το WP2 αφορά την ανάπτυξη μίας γενικής RBMI μεθοδολογίας, η οποία βασίζεται σε μία πολυπαραγοντική διαδικασία λήψης αποφάσεων. Το WP3 αφορά την ανάπτυξη λεπτομερών μεθόδων αξιολόγησης που θα βασίζονται στο ρίσκο, μοντέλα φθοράς για τους αντίστοιχους κλάδους της βιομηχανίας που έλαβαν μέρος και προσδιορισμός του τρόπου χρήσης των δεδομένων που απορρέουν από τις επιθεωρήσεις. Το WP4 που αφορά την ανάπτυξη ενός RIMAP βιβλίου εργασίας για το κάθε κλάδο βιομηχανίας που θα περιλαμβάνει κατευθυντήριες γραμμές για επιθεωρήσεις και συντήρησης με γνώμονα το ρίσκο. Και τέλος το WP5 που αφορά την επικύρωση της RIMAP μεθοδολογίας.

Το RIMAP DEMO πρόγραμμα αποτελείται από 4 περιπτώσεις επίδειξης, μία για κάθε τομέα της βιομηχανίας, για να γίνει επιβεβαίωση της εφαρμοσιμότητας της μεθοδολογίας.

Το RIMAP TN πρόγραμμα συνοδεύει το σύνολο του εγχειρήματος με το να διαχέει τις πληροφορίες και τα αποτελέσματα των RTD και DEMO προγραμμάτων στην ευρύτερη επιχειρηματική κοινότητα για να αξιολογήσουν αυτό που έχει αναπτυχθεί και για να το αποδεχτούν ως πρακτική.

Τα βασικά απτά αποτελέσματα του προγράμματος RIMAP RTD είναι η περιγραφή μίας ενοποιημένης προσέγγισης για τον σχεδιασμό της συντήρησης και της επιθεώρησης που θα βασίζεται σε κριτήρια επιλογής ρίσκου και στην βελτιστοποίηση του κόστους, κατευθυντήριες γραμμές, σε μορφή «Workbook» για τον κάθε τομέα της βιομηχανίας και η φυσικά η επίτευξη καλύτερης επικοινωνίας μεταξύ των διάφορων τομέων της βιομηχανίας με σκοπό την διάδοση της γνώσης. Γεγονός που θα διευκολύνει την περαιτέρω ανάπτυξη της μεθοδολογίας.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές εφαρμογές στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας όπως πχ. σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Τα κύρια και σημαντικότερα επιτεύγματα της ανάλυσης που έγινε ήταν βελτιωμένη διαρατικότητα της κατάστασης των εγκαταστάσεων ελάχιστα έως μηδενικά απρογραμμάτιστα γεγονότος στο σύνολο των εγκαταστάσεων καθ' όλη την λειτουργία τους και το γεγονός ότι περαιτέρω υποστηρικτικές συμβουλευτικές RBI υπηρεσίες δεν χρειάζονταν για την συνέχιση του προγράμματος.

Στον τομέα της ναυτιλίας ,πλέον σχεδόν όλοι οι νηογνώμονες έχουν ολοκληρώσει ή τρέχουν κάποια ερευνητικά προγράμματα (SSC, 2000 ;Lanquetin, 2007 ; Goyet, 2010 ; Ku, 2012).

2.2

Bayesian Networks

2.2.1

Εφαρμογές στο περιβάλλον

Τα Bayesian Networks είναι μια διάσημη μέθοδος κατασκευής σύνθετων μοντέλων, όπως είναι τα οικοσυστήματα και η διαχείριση του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με την Uusitalo (Uusitalo, 2006), τα δίκτυα αυτά στην καλύτερη περίπτωση παρέχουν ένα ακμαίο και μαθηματικά λογικό πλαίσιο για την ανάλυση αυτού του είδους των προβλημάτων. Υπάρχουν, βέβαια, και κίνδυνοι στη χρησιμοποίησή τους. Στην δημοσίευση του Marcot (Marcot, 2001) ασχολήθηκαν με τη σύνδεση ειδικών γνώσεων με δεδομένα σχετικά με μεταβλητές που δεν είχαν εμφανείς πληροφορίες. Η ανάλυση των δεδομένων που έχουμε συλλέξει παρουσιάζονται με Bayesian Networks αρκετά συχνά στο πεδίο των περιβαλλοντικών επιστημών.

Δημιουργήθηκαν από τους ειδικούς Lee και Rieman δίκτυα για την εκτίμηση της βιωσιμότητας των πληθυσμών των ψαριών. Ακόμη, καταγράφηκαν στατιστικές μελέτες για τις παραμέτρους του συγκεκριμένου προβλήματος και χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του δικτύου. Αυτό το μοντέλο δημιουργήθηκε για την πρόβλεψη των αποκρίσεων του οικοσυστήματος όταν υποβάλλεται σε διαφορετικά σενάρια. Αναφορές σε δίκτυα για το περιβάλλον συχνά περιλαμβάνουν ανάλυση αποφάσεων και κωδικοποιημένες γνώσεις. Οι Kuikka και Varis (Kuikka, 1997) έπαιρναν συνέντευξη από ειδικούς για να εκτιμήσουν την επιρροή των κλιματικών αλλαγών στη γραμμή διαχωρισμού των υδάτων ενώ σε άλλο έγγραφο (Marcot, 2001) συνδύαζαν μερικές πληροφορίες με τη μέγιστη δυνατή ανάλυση, βασισμένη σε εξειδικευμένες γνώμες, της πληθυσμιακής βιωσιμότητας.

Οι υπεύθυνοι για τον έλεγχο του υδροφόρου ορίζοντα αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις σε ό,τι αφορά τη διαχείριση των πλεονεκτημάτων της οικολογίας. Η σημαντική αβεβαιότητα έγκειται στο ότι ποικίλοι κίνδυνοι και απειλές επιδρούν στο οικολογικό σύστημα. Οι κοινωνίες των ψαριών στο ποτάμι Goulburn έχουν εξασθενήσει εκατό χρόνια πριν, από τις αρδεύσεις που λάμβαναν χώρα στην περιοχή (Pollino, 2006). Ειδικοί συνεργάζονται με σκοπό την ανάπτυξη ενός εννοιολογικού μοντέλου το οποίο θα συσχετίζει τους φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες στη συγκεκριμένη περίπτωση καθώς και τα τελικά σημεία της μελέτης. Αυτό το μοντέλο διαμορφώνει τη βάση της κατασκευής ενός Bayesian Network αναφορικά με τις γηγενείς κοινωνίες ψαριών στο προαναφερθέν ποτάμι. Σε περιβαλλοντικές αναφορές, οι πληροφορίες που υπάρχουν είναι συχνά περιορισμένες για παραμετροποίηση ενός Bayesian Network. Σε περιβαλλοντική διαχείριση, αποφάσεις συχνά βασίζονται είτε σε εξειδικευμένη κρίση ή σε πολύπλοκα ποσοτικοποιημένα μοντέλα, που επικεντρώνονται σε διαδικασίες για το περιβάλλον, παρά σε οικολογικές αξίες.

Προς το παρόν τα εγχειρίδια για μοντελοποίηση που είναι διαθέσιμα για εκτίμηση οικολογικού ρίσκου είναι περιορισμένα.

Οι Pollino και Hart χρησιμοποίησαν μοντέλα για εκτιμήσεις οικολογικού ρίσκου. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι τα Bayesian Networks που είναι επιστημονικά αξιόπιστα σχετικά με προσεγγίσεις μοντελοποίησης πολύπλοκων οικολογικών συστημάτων. Σε πολλά τέτοια δίκτυα οι μεταβλητές λειτουργούν ως παράμετροι για γνώση ή πληροφορία, αλλά σπάνια μαζί αυτές οι πηγές πληροφοριών συνδυάζονται έτσι ώστε να γίνει παραμετροποίηση μιας μεταβλητής. Τα Bayesian Networks εμφανίζονται σαν μια βάσιμη προσέγγιση για τη μοντελοποίηση και υποστήριξη λήψης αποφάσεων στο πεδίο της διαχείρισης πηγών υδάτων. Βασίζονται στη σύνδεση ενός γραφήματος αλληλεπίδρασης με ένα μοντέλο πιθανοτήτων, κι έτσι έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τη συμμετοχή των πιθανοτήτων και επιτρέπουν την ενσωμάτωση με άλλα μοντέλα.

Οι Castelleti και Soncini-Sessa (2006) στην έρευνα τους χρησιμοποίησαν δεδομένα προερχόμενα από χαρακτηριστικά συστημάτων περιβαλλοντικών πηγών. Σημειώνεται ωστόσο ότι τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι «φτωχά» σε γνώση και θεωρούνται περισσότερο εμπειρικά. Στον περιβαλλοντικό τομέα, πολλοί συγγραφείς έχουν διευκρινίσει τη χρήση των Bayesian Networks.

Στην μελέτη του Varis (Varis , 1995) γίνεται η αρχή γενικεύοντας και τακτοποιώντας εκ νέου τη μαθηματική δομή με την προϋπόθεση να προσαρμόσει τα χαρακτηριστικά των περιβαλλοντικών πηγών υδάτων. Οι εφαρμογές κυμαίνονται από οικολογικά θέματα μέχρι την εκτίμηση των αποτελεσμάτων των κλιματικών αλλαγών στην παραγωγή σοδειάς. Έχουν χρησιμοποιηθεί τέτοιες εφαρμογές από τους Varis και Kuikka (Kuikka, 1997) για τη μοντελοποίηση συστημάτων καλλιέργειας και από τους Batchelor και Cain (Cain, 1999) για άρδευση με σκοπό τη διερεύνηση του αποτελέσματος της κλιματικής αλλαγής στην επιφάνεια των υδάτων.

Στην πλειοψηφία τους οι εργασίες που κάνουν χρήση των Bayesian Networks, διαμορφώνουν το όλο σύστημα για να μελετηθεί, θεωρώντας αρχικά τη διαμόρφωση αυτή σαν μία γενική άποψη και έπειτα ακολουθεί η επεξεργασία του μοντέλου. Τα δίκτυα αυτά χρησιμεύουν σαν ένα εργαλείο νοερής απεικόνισης, συνοψίζοντας τα αποτελέσματα περίπλοκων μοντέλων. Μόλις προσδιοριστούν οι αρχικές πιθανότητες των μεταβλητών, υπολογίζονται όλες οι πιθανότητες για όλους τους κόμβους του δικτύου καταλήγοντας στην κατασκευή ενός δικτύου με κόμβους, οι οποίοι είναι διαφορετικών σχημάτων, ανάλογα με τη χρησιμότητά τους. Στην μελέτη του Dormer (Dormer, 2005) προτείνουν μια μεθοδολογία για τη δημιουργία ενός πολλαπλών στόχων μοντελοποιημένου συστήματος χρησιμοποιώντας Bayesian Networks έχοντας ως σκοπό να συναγωνιστούν και να ξεπεράσουν τη συμπεριφορά από ένα περιβαλλοντικό πρότυπο που προορίστηκε αρχικά με σκοπό την ανάλυση ενός προβλήματος ρύπανσης. Η διάβρωση και τα στοιχεία ιζημάτων λήφθηκαν από την πειραματική εργασία στον Καναδά. Λίγες πληροφορίες ήταν διαθέσιμες από τα ιστορικά στοιχεία σε ό,τι αφορά περιοχές σχετικά με τις διανομές εισαγωγής των διάφορων παραμέτρων εισαγωγής. Μόνο οι τιμές που μπορούν να υποτεθούν

ήταν διαθέσιμες. Τα δεδομένα των τιμών αυτών ήταν διαθέσιμα από τη χρήση του προγράμματος της FORTRAN, κάνοντας χρήση λογισμικού με το όνομα GAMES.

Τα Bayesian networks αποτελούν γραφική απεικόνιση όλων των στοιχείων και δείχνουν την εξάρτηση μεταξύ των εκάστοτε μεταβλητών. Αποτελούν ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την επικοινωνία μεταξύ του αρμόδιου αναλυτή και του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η διαμόρφωση των συστημάτων αναφέρεται συχνά σε μια ενιαία περιοχή (φυσική ή χημική διαμόρφωση διαδικασίας, υδρολογία ή συνδυασμοί) που μιμείται μια διαδικασία στη φύση όπως η μεταφορά ρύπανσης ή η παραγωγή των τροφίμων ή των κατασκευασμένων αγαθών. Τα οικονομικά ή άλλα αποτελέσματα αντιμετωπίζονται χωριστά. Τέτοιες επεξεργασίες έχουν ως σκοπό να συνδέσουν τα συστήματα παραγωγής και αποβλήτων, για να ποσοτικοποιήσουν το οικονομικό κόστος της επανόρθωσης.

2.2.2

Εφαρμογές στην ιατρική

Τα Bayesian Networks βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στο πεδίο της ιατρικής. Συγκεκριμένα, για τα συστήματα πληροφοριών που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ιατρικής φροντίδας και αφορούν την ανθρώπινη ζωή, θεωρείται απαραίτητη η ανάλυση του ρίσκου (risk analysis). Οι Μαγκλογιάννης και Ζαφειρόπουλος (Maglogiannis, 2005) προτείνουν μία νέα μέθοδο για την εφαρμογή της μελέτης ανάλυσης ρίσκου βασισμένη στα συστήματα πληροφοριών υγείας. Η διαδικασία που ακολουθείται, καλείται Risk Analysis and Management Methodology (CRAMM) και έχει ως σκοπό την αναγνώριση και εκτίμηση των πλεονεκτημάτων, των απειλών και των τρωτών σημείων του συστήματος πληροφοριών. Η συγκεκριμένη διαδικασία συνοδεύεται από τη γραφική μοντελοποίηση που απεικονίζει τον τρόπο αλληλεπίδρασης των παραπάνω παραγόντων χρησιμοποιώντας τα Bayesian Networks.

Στο άρθρο επιχειρείται από τους συγγραφείς μια σύγκριση δύο μεθόδων για την πρόληψη και αντιμετώπιση της αποτυχίας των συστημάτων που αφορούν την ιατρική παρακολούθηση ασθενών που αναρρώνουν σπίτι τους και όχι στα νοσοκομεία. Πρόκειται για βασισμένα σε υπολογιστές συστήματα τα οποία δίνουν τη δυνατότητα στους γιατρούς να επιβλέπουν την υγεία των συγκεκριμένων ασθενών από απόσταση καθώς και να έχουν πρόσβαση στο ιατρικό παρελθόν για κάθε έναν από αυτούς. Οι δύο μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να αντιμετωπιστεί τυχόν αστοχία του συστήματος είναι:

- a) Τα Fault Trees (δένδρα σφαλμάτων)
- b) Τα Bayesian Networks (δίκτυα πίστης)

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα δίκτυα του Bayes σε σχέση με τα Fault Trees σύμφωνα με το άρθρο είναι αφενός μεν το γεγονός ότι εμφανίζουν

μεγαλύτερη ευελιξία στην αναπαράσταση αβέβαιων δεδομένων αφετέρου η δυνατότητα που μας προσφέρουν για τη διερεύνηση πολλών διαφορετικών σεναρίων λειτουργίας του συστήματος. Επιπροσθέτως, τα Bayesian Networks παρέχουν ένα εξαιρετικό περιβάλλον για εκμετάλλευση όλων των διαθέσιμων στατιστικών δεδομένων ή ενδείξεων που αφορούν τη διάγνωση της αποτυχίας του συστήματος ή την αξιολόγηση της σειράς προτεραιότητας των παραγόντων που αφορούν το ρίσκο. Τα προγνωστικά Bayesian Networks (PBN) μπορούν να αποτελέσουν ένα δυναμικό εργαλείο στη διαδικασία της πρόγνωσης σε ό,τι αφορά την ιατρική αντιμετώπιση ασθενειών καθώς και τα κλινικά αποτελέσματα που ενδέχεται να προκύψουν κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Οι Verduijn και Peek (Verduijn, 2007) παρουσιάζουν τη διαδικασία που ακολούθησαν ώστε να ενσωματωθούν τα διαθέσιμα ιατρικά δεδομένα στα προγνωστικά δίκτυα πίστης. Σε αυτήν τη διαδικασία το δίκτυο που κατασκευάστηκε, βασίστηκε στη διαθέσιμη συλλογή τοπικών και ελεγχόμενων γνωστικών μοντέλων τα οποία με τη σειρά τους έχουν προκύψει από παλαιότερα δεδομένα. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στο δίκτυο σχετίζονται με την αρχική διάγνωση των γιατρών, τη φάση της παρέμβασής τους στον ασθενή καθώς και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο ασθενής κατά τη διάρκεια κάθε φάσης. Επίσης, το δίκτυο εξετάζει και την περίπτωση που ο ασθενής καταλήξει προτού ολοκληρωθεί η διαδικασία της νοσηλείας του κάτι το οποίο απεικονίζεται με δευτερεύοντες μεταβλητές αποτελέσματος, οι οποίες θεωρούνται από διάφορες ιστορικές αναφορές και είναι δευτερεύοντες μεταβλητές που συγκαταλέγονται σε ένα υποσύνολο μεταβλητών και χρησιμοποιούνται αν αυτό κριθεί απαραίτητο.

Τέλος, σημειώνεται πως η χρήση των δικτύων αυτού του τύπου μπορεί να εφαρμοστεί σε έξι διαφορετικές περιπτώσεις ιατρικής πρόγνωσης: στη γενική πρόγνωση, στη γρήγορη εκτίμηση πρόγνωσης, στην αναβάθμιση πρόγνωσης, στην ανάλυση σεναρίων πρόγνωσης, στην ανάλυση σεναρίων what-if και στην ανάλυση παράγοντα ρίσκου.

Τα δίκτυα πίστης βρίσκουν ευρεία εφαρμογή και στον τομέα της καρδιολογικής χειρουργικής (Verduijn, 2007). Τα δεδομένα εξάγονται από την πληθυσμιακή μελέτη που περιλαμβάνει 10147 ασθενείς, οι οποίοι υφίστανται εγχείρηση καρδιάς στο νοσοκομείο Amphia στην Ολλανδία (1998 έως 2004). Το σύνολο των δεδομένων περιέχει χαρακτηριστικά που εφαρμόζονται αρχικά σε έναν ασθενή, λεπτομέρειες της διαδικασίας εφαρμογής και μεταβλητές που γίνονται δεκτές από επιστημονικό εργαστήριο και οι οποίες μετρούνται κατά τη διάρκεια του πρώτου εικοσιτετράωρου σχετικά με την εντατική φροντίδα των θεραπόντων γιατρών. Υπάρχουν δεδομένα που σχετίζονται με τη φάση στην οποία απεβίωσαν κάποιοι ασθενείς. Τα δεδομένα των μεταβλητών συμπεριλαμβάνονται στις εξής αναφορές: APACHIE III (Wagner, 1991), SAPS II (Lemeshow, 1993), EuroSCORE (Nashef, 1999).

Εισάγουν, λοιπόν, τα PBN σαν εργαλεία πρόγνωσης που εφαρμόζουν μία δυναμική και προσανατολισμένη διαδικασία πρόβλεψης, όταν έχουμε στην κατοχή μας περισσότερες διαθέσιμες πληροφορίες. Εξηγούν τα σεναρία που

οδηγούν σε διαφορετικά κλινικά αποτελέσματα και καταλήγουμε σε αναβαθμισμένες προβλέψεις. Ένα πρωτότυπο σύστημα βασισμένο στα PBN είναι το ProCarSur, το οποίο ήταν αποδεκτό ως ένα μέσο υποστήριξης των εργασιών που διεξάγονταν για πρόγνωση σχετικά με τη μέριμνα των ασθενών και τις εκτιμήσεις της μέριμνας αυτής, από καρδιοχειρουργούς, παθολόγους και προσωπικό διαχείρισης διαφορετικών ιατρικών κέντρων. Οι προβλέψεις κατηγοριοποιούν τα επίπεδα του ρίσκου και καταλήγουμε στο ότι η διαφοροποίησή του είναι πιο σημαντικό από τη διαβάθμισή του.

Στο χώρο της ιατρικής μπορεί να γίνει διάγνωση του καρκίνου του μαστού με χρήση Bayesian networks (Nicandro, 2007). Δύο βάσεις δεδομένων προέρχονται από το πεδίο της παθολογίας, σχετικά με τη διάγνωση αυτού του είδους καρκίνου, κάνοντας χρήση μίας τεχνικής που καλείται FNAB (fine-needle aspiration of the breast lesion), η οποία είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο για αυτό το σκοπό (S.S. Cross, 2000). Τα πρώτα δεδομένα συγκεντρώθηκαν από ένα μοναδικό παρατηρητή βασισμένα στην εμπειρία δέκα ετών σχετικά με το FNAB και περιείχαν 692 συνεχόμενα επαρκή δείγματα που υιοθετήθηκαν από το τμήμα παθολογίας του νοσοκομείου Royal Hallamshire στο Σέφιλντ (1992-1993). Το δεύτερο σύνολο δεδομένων δημιουργήθηκε από δεκαεννέα παρατηρητές βασισμένα στην εμπειρία 5-20 ετών, εμπεριέχοντας 322 δείγματα του FNAB που ήταν αποδεκτά από το προαναφερθέν νοσοκομείο (1996-1997). Αυτές οι βάσεις δεδομένων περιέχουν έντεκα ανεξάρτητες μεταβλητές και μία εξαρτημένη. Η εξαρτημένη μεταβλητή έχει δύο τιμές: καλοήθης ή κακοήθης όγκος. Όλες οι μεταβλητές εξηγούνται διεξοδικά με τους πίνακες που επισυνάπτονται στο παρών άρθρο. Οι διαδικασίες των εργασιών αυτών για να διεξαχθούν με ορθότητα οι μελέτες που παρουσιάζονται είναι χρονοβόρες και ταυτόχρονα σωστές, με μία ελάχιστη πιθανότητα σφαλμάτων. Η ταξινόμηση αναφέρεται σε εργασία της παροχής «ετικετών» σε ακαθόριστες περιπτώσεις. Η διαδικασία έχει να κάνει με το να ταιριάξουν μία μη προσδιορισμένη κατάσταση με μία αντίστοιχη «ετικέτα» προσδιορισμού της κατάστασης.

Έτσι υπάρχει η ανάγκη κατασκευής αυτόματων ταξινομητών, οι οποίοι εκτιμούν αυτή τη λειτουργία βασισμένοι στα εκάστοτε δεδομένα. Τέτοια αυτοματισμοί επιτυγχάνονται με τα Bayesian Networks. Περιγράφονται στο συγκεκριμένο δημοσίευμα επτά τέτοια δίκτυα. Θα ήταν αναγκαίο να επιτραπούν στους παθολόγους να κωδικοποιούν τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας ένα μεγαλύτερο εύρος από πιθανές τιμές για κάθε μεταβλητή.

2.2.3

Εφαρμογές σε συστήματα ρίσκου

Σύμφωνα με τον Langseth (Langseth, 2005) ένα στατιστικό μοντέλο που να περιγράφει ένα σύνολο από τυχαίες μεταβλητές και να είναι εύκολο στην κατανόηση και εύρωστο ως προς τους μαθηματικούς υπολογισμούς, απαιτεί

πλήρως προσδιορισμένη συλλογή παραμέτρων και πρέπει να χρησιμοποιούνται είτε στατιστικά δεδομένα ή ειδικευμένες κρίσεις για την εκτίμηση τους.

Σε ό,τι αφορά τη στατιστική, οι αριθμοί που θα πρέπει να προσδιοριστούν είναι δεσμευμένες πιθανότητες (π.χ. η πιθανότητα ότι ένα συστατικό μέρος κάποιου συνόλου θα επιζήσει περισσότερο από ένα χρόνο, βάσει των συνθηκών του περιβάλλοντος που επικρατούν) ή συμπεράσματα από αυτούς τους αριθμούς (π.χ. η αναμενόμενη διάρκεια ζωής ενός εξαρτήματος). Όλες αυτές οι απαιτήσεις έχουν οδηγήσει στη μείωση χρήσης παραδοσιακών δομών μοντέλων, όπως είναι τα fault trees.

Τέτοιες δομές δικτύων είναι τα Bayesian Networks, τα οποία την τελευταία δεκαετία έγιναν ένα διάσημο εργαλείο για μοντελοποίηση πολλών ειδών στατιστικών προβλημάτων, όπως οι αξιόπιστες αναλύσεις. Χαρακτηριστικό που κάνει πιο σημαντική τη χρήση αυτών των δικτύων είναι η δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών πηγών πληροφοριών σε μία συνολική εκτίμηση της ασφάλειας.

Οι Cooper και Herskovits (Cooper, 1992) έδειξαν πως μία μεταγενέστερη κατανομή γύρω από τα γραφήματα μπορεί να αποκτήσει αποτελεσματικούς υπολογισμούς. Εδώ δίνεται προσοχή στην κατεύθυνση της έρευνας σχετικά με τη σαφή επιρροή της εφαρμογής τέτοιων δικτύων στην ανάλυση της αξιοπιστίας. Στο συγκεκριμένο άρθρο έχει δοθεί μία αιτιολογική ερμηνεία του Bayesian Network, όταν αυτό δημιουργείται βασισμένο σε εξειδικευμένες κρίσεις.

Επίσης, αρκετοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να υπερκαλύψουν την ανεπάρκεια της αμοιβαίας συσχέτισης μεταξύ των διαρκειών ζωής των εκάστοτε στοιχείων, τα οποία σχετίζονται με το υπάρχον περιβάλλον. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα δύο στοιχείων σε παράλληλο σύστημα, το οποίο δείχνει τη σημαντικότητα της δημιουργίας μαθηματικών μοντέλων, όπως τα Bayesian Networks που χρησιμεύουν έτσι για την ανάλυση της αξιοπιστίας.

Κατά τον Kannan (Kannan, 2006) η αρτιότητα της ασφάλειας εξαρτάται από αποτυχίες ποικίλων μερών της εκάστοτε λειτουργίας. Οι αποτυχίες αυτές στηρίζονται σε πολλούς παράγοντες. Για να βρούμε το ρίσκο που απομένει εξαιτίας κάποιου κινδύνου, πρέπει να γνωρίζουμε τον απαιτούμενο ρυθμό του κινδύνου, το ρυθμό αποτυχίας των επιπέδων προστασίας και τους παράγοντες που επηρεάζουν αυτές τις αποτυχίες. Το ρίσκο εκφράζεται από έναν κίνδυνο βασισμένο σε συνέπειες και συχνότητες ποικίλων σεναρίων που σχετίζονται με την επικινδυνότητα. Υπάρχουν πολλές αιτίες που μπορεί να οδηγήσουν σε αποτυχίες πολλαπλών υποσυστημάτων.

Υπάρχουν πολλά εργαλεία διαθέσιμα για να χτιστεί ένα μοντέλο σχέσεων μεταξύ του κινδύνου, των αιτιών και όλων των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων, ώστε να εξακριβωθεί αν οι κίνδυνοι είναι σε ικανοποιητικό επίπεδο. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι τα Bayesian Networks, τα οποία παρέχουν ένα μαθηματικό πλαίσιο σχετικό με την επεξεργασία νέων δεδομένων. Ο καθορισμός του αρχικού διαχωρισμού των δεδομένων είναι συνήθως βασισμένος σε γενικά δεδομένα, ενώ επιπρόσθετες πληροφορίες εμπεριέχουν σαφή σύστημα δοκιμών.

Περιλαμβάνουν ένα κατάλληλο μοντέλο, καθορίζοντας τις αρχικές πιθανότητες και παρουσιάζοντας τους τελικούς υπολογισμούς.

Στη συγκεκριμένη δημοσίευση αναλύεται μία λειτουργία ασφαλείας χρησιμοποιώντας αρχικές πιθανότητες αποτυχίας σύμφωνα με οδηγίες και δεδομένα τα οποία βρίσκουμε στη διεθνή βιβλιογραφία. Το MSBNX είναι ένα εργαλείο των δικτύων πίστης, το οποίο λειτουργεί σε πλατφόρμα των Windows και υποστηρίζει τον επιδέξιο χειρισμό και την αξιολόγηση των μοντέλων πιθανοτήτων σύμφωνα με τη θεωρία του Bayes. Δίδεται προσοχή στο να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο προσεγγίζεται το ρίσκο ενός κινδύνου, έχοντας δεδομένες τις αρχικές πιθανότητες και κάνοντας χρήση του δικτύου ως ένα «ζωντανό» μοντέλο, το οποίο παρέχει τρόπους για να προστεθούν μεταβλητές που ενδεχομένως να επηρεάσουν τα τελικά αποτελέσματα. Εξαιρώντας την πιθανή αναβάθμιση του μοντέλου, τα Bayesian Networks μας επιτρέπουν να επεξεργαστούμε το ποσοστό κινδύνου που παρέμεινε σε ένα μοναδικό και απλό μοντέλο υπολογιστικών διαδικασιών.

Τα Bayesian networks βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στην εκτίμηση ρίσκου των επιχειρήσεων και αποφάσεων αυτών (Bonafede, 2007). Αναφορικά με τους διαφορετικούς τύπους δραστηριοτήτων και προτεραιοτήτων των ρίσκων, μπορούν να θεωρηθούν διαφορετικές σημασίες και αυτό βεβαιώνεται με διαφορετικούς τρόπους. Γενικά, το ρίσκο υπολογίζεται σχετικά με το συνδυασμό μιας μεταβλητής ενός γεγονότος (συχνότητα) με τις συνέπειες αυτού (επίδραση). Για την εκτίμηση της συχνότητας κάποιων συμβάντων και της επίδρασης αυτών, χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα και εξειδικευμένες κριτικές (ποιοτικά ή ποσοτικά δεδομένα). Τα ποιοτικά δεδομένα επιβάλλεται να μετατραπούν σε αριθμητικές τιμές ή όρια, ώστε να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο που θα κατασκευαστεί.

Στην περίπτωση των επιχειρηματικών ρίσκων και κατ'επέκταση των εκτιμήσεων αυτών, συμπεριλαμβάνονται τα στρατηγικά, λειτουργικά και νομικά ρίσκα, τα οποία πολλές φορές είναι δύσκολο να προσδιοριστούν ποσοτικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις εξειδικευμένες πληροφορίες συγκεντρώνονται από κάρτες αποτελεσμάτων που διατίθενται για την ανάλυση του ρίσκου. Αρκετές φορές, τα δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα γιατί τα εξεταζόμενα περιστατικά μπορεί να είναι πρόσφατα, σπάνια, περίπλοκα ή δυσνόητα. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι γνώμες των ειδικών, σύμφωνα με τις εμπειρίες και γνώσεις που έχουν, παίζουν σημαντικό ρόλο στη συγκέντρωση πληροφοριών, οι οποίες θα είναι μεταφρασμένες σε τιμές δεσμευμένων πιθανοτήτων.

Τα Bayesian Networks αποτελούν ένα πολύ αξιόλογο εγχειρίδιο για να ενσωματωθούν διαφορετικές πληροφορίες και συγκεκριμένα για να μελετηθούν οι κατανομές του ρίσκου από τη χρήση δεδομένων που αποκτήθηκαν από ειδικούς (Druzdel, 1995). Η μέθοδος της χρήσης συστημάτων εξισώσεων για δεσμευμένες πιθανότητες και τομές (κοινά στοιχεία) αυτών, μπορεί να γενικευθεί σε περιπτώσεις περισσότερων από τρεις «γονείς», με κάποια λειτουργικά προβλήματα να είναι εμφανή. Αν προστεθεί ή διαγραφεί ένας κόμβος στο δίκτυο,

υπάρχει δυνατότητα χρήσης κατάλληλου συστήματος, ανάλογα αν είναι parent ή child.

2.2.4

Εφαρμογές στην θαλάσσια βιομηχανία

Ο Trucco και ο Cagno (Trucco, 2007) επιχείρησαν να εντάξουν τους ανθρώπινους και τους οργανωτικούς παράγοντες (HOF) στην ανάλυση του ρίσκου. Η προσέγγιση τους αναπτύχθηκε και απευθύνθηκε στον τομέα της ναυτικής βιομηχανίας, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλους τομείς.

Κατασκευάστηκε ένα Bayesian Network με σκοπό τη μοντελοποίηση του συστήματος ναυτικών μεταφορών (MTS), λαμβάνοντας υπόψη τους διάφορους παράγοντες που εμπλέκονται καθώς και την αμοιβαία αλληλεξάρτησή τους. Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε σε μια περίπτωση μελέτης για την ποσοτικοποίηση των HOF στην ανάλυση ρίσκου που έλαβε χώρα κατά τα πρωταρχικά στάδια σχεδίασης του High Speed Craft (HSC). Η μελέτη επικεντρώθηκε σε μια σύγκρουση στην ανοιχτή θάλασσα εφαρμοσμένης μέσω μιας αυθεντικής μεθόδου ενοποίησης της Fault Trees Analysis (FTA) για τα τεχνικά στοιχεία με ένα Bayesian Belief Network για τις επιρροές των οργανωτικών λειτουργιών και κανονισμών, όπως ορίζονται από τον IMO και την FSA.

Η προσέγγιση επέτρεψε την αναγνώριση της συσχέτισης των πιθανοτήτων μεταξύ των βασικών γεγονότων στην περίπτωση ενός ατυχήματος σύγκρουσης καθώς και το δίκτυο πίστης των λειτουργικών και οργανωτικών συνθηκών. Η ένωση μπορεί να αξιοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους, ειδικά για την υποστήριξη αναγνώρισης και εκτίμησης των επιλογών ελέγχου ρίσκου καθώς και σε οργανωτικό επίπεδο. Οι δεσμευμένες πιθανότητες για το Bayesian Belief Network εκτιμήθηκαν μέσω της κρίσης ειδικών και συγκεντρώθηκαν από διεθνές συνέδριο στο οποίο συμμετείχαν ευρωπαϊκές χώρες.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας στο μοντέλο για την αναγνώριση των ρυθμίσεων του MTS που οδηγούν σε σημαντική μείωση της πιθανότητας ατυχήματος κατά τη λειτουργία του HSC. Η προτεινόμενη προσέγγιση είναι συνεπής και θα πρέπει να χρησιμοποιείται προσεκτικά ως τεχνική ανάλυσης ανθρώπινου λάθους όταν η διαδικασία εκμαίευσης του ειδικού είναι κρίσιμη για την εκτέλεση ποσοτικοποιημένων αναλύσεων στην περίπτωση έλλειψης δεδομένων και στατιστικών στοιχείων.

Στην εργασία του Norrington (Norrington, 2007) παρουσιάζεται μία μεθοδολογία μοντελοποίησης αξιοπιστίας έρευνας και λειτουργιών διάσωσης σχετικά με τα συντονιστικά κέντρα ακτοφυλακής. Ποικίλες πηγές βρίσκονται από κυβερνητικές αναφορές και συνεντεύξεις από το προσωπικό επίβλεψης. Η διευκόλυνση της ενσωμάτωσης των πληροφοριών γίνεται με την προσέγγιση μέσω δικτύων πίστης. Υπάρχουν περιστατικά ναυσιπλοΐας που έχουν υπάρξει με

το πέρασμα των χρόνων, όπως από το πασίγνωστο ατύχημα του Τιτανικού, τα οποία είχαν σαν αποτέλεσμα μεγάλες και καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον λόγω των πετρελαίων που διασκορπίστηκαν στη θάλασσα. Τέτοια μεγάλης κλίμακας περιστατικά έχουν την τάση να αυξήσουν τη δημόσια επίγνωση της ασφάλειας της ναυτιλίας και να οδηγήσουν σε σημαντικές ερευνησεις των βελτιώσεών τους. Διαθέσιμα δεδομένα είναι εγκατεστημένα στο διαδίκτυο.

Η έρευνα ρίσκου στη ναυσιπλοΐα έχει την τάση να επικεντρώνεται στην εκτίμηση ρίσκου προσάραξης και σύγκρουσης και να ανακαλυφθούν μέθοδοι μείωσης αυτών. Η μελέτη του Vab der Meer (Van der Meer, 2005) έχει να κάνει με την έρευνα μεταβλητών, οι οποίες συνεισφέρουν σε μία επιτυχημένη λειτουργία ναυτιλιακών ερευνών. Τα δεδομένα αυτής της έρευνας βασίζονταν στην περίοδο 1995-1999, ενώ η μελέτη του Norrington (Norrington, 2007) κάνει χρήση δεδομένων από το 1995 έως το 2004. Η διαδικασία κατασκευής ενός Bayesian Belief Network έχει σαν αποτέλεσμα ένα βαθύτερο νόημα εγκυρότητας των μετρήσεων που χρησιμοποιούνται με την ανάλυση των δευτερευόντων δεδομένων.

Αποκτάται πιο αξιόπιστο συμπέρασμα με την εξερεύνηση λύσεων ανάμεσα σε πλήρεις μεθόδους μέσω της θεωρίας του Bayes και σε εμπειρικές μεθόδους. Εν συνεχεία, γίνεται συλλογή και έρευνα των λεπτομερών στατιστικών στοιχείων για τη δημιουργία τέτοιων δικτύων. Γενικά, τα Bayesian Belief Networks παρέχουν επεξηγηματικές λεπτομέρειες ώστε να υποστηρίξουν περισσότερες αποτελεσματικές βελτιώσεις λειτουργίας, έχοντας ως θέμα την εγκυρότητα του μοντέλου που καταλήξαμε.

Ο William H. Moore (Moore, 1992) αναφέρει στο δημοσίευσμά του μία εμπειρισταωμένη ανάλυση σχετικά με την προσάραξη του δεξαμενοπλοίου Exxon Valdez σε ακτή της Αλάσκας (Prince William Sound), επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον στην εξέταση των ανθρώπινων και οργανωτικών παραγόντων. Το πλοίο αυτό είχε στη διάθεσή του την πιο εξελιγμένη τεχνολογία των tankers και οι καταστροφικές συνέπειες της χρήσης αυτών οδήγησαν στο να ληφθεί και να αναλυθεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο της ναυσιπλοΐας, ο ανθρώπινος παράγοντας. Γίνεται αναφορά αναλυτικής κατασκευής δικτύου (influence diagrams) του ατυχήματος σχετικά με τις αιτίες και τα αποτελέσματα, μεθόδων για ανάλυση των πιθανοτήτων ρίσκου των ανθρώπινων σφαλμάτων (Human and Organizational Errors). Σύμφωνα με το VTS (Vessel Traffic System), το οποίο αποτελεί ένα σύστημα που σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο διανέμονται οι εργασίες και οι διάφορες ευθύνες στους εκάστοτε αρμόδιους υπαλλήλους, ώστε να επέλθει η μείωση των ατυχημάτων στο χώρο των θαλάσσιων μεταφορών.

Συμπεριλαμβάνει ένα σύστημα επιτήρησης με ραντάρ, σύστημα επικοινωνίας του εσωτερικού των πλοίων με τους εξωγενείς παράγοντες και ένα κέντρο διαχείρισης του όλου συστήματος λειτουργίας. Δεν υπήρχαν εμφανή δεδομένα για τις διαδρομές που ακολουθούσαν τα πλοία. Σχετικά με τις υπάρχουσες πληροφορίες του U.S. Coast Guard, έχουν παρατηρηθεί τρεις παράγοντες (HOE factors) που οδηγούν στα ναυτικά ατυχήματα (η μείωση του

εργατικού δυναμικού, η υποτίμηση και η έλλειψη επάρκειας του VTS, η χρήση άπειρου προσωπικού για την ανάθεση καθηκόντων).

Λαμβάνοντας υπόψη τα κύρια γεγονότα και αποφάσεις που οδήγησαν στην προσάραξη και κάνοντας χρήση μιας ταξινομημένης ακολουθίας ανθρώπινων λαθών, ώστε να εντοπιστούν οι αιτίες, προχωρούν στην κατασκευή διαγραμμάτων επιρροής (influence diagrams) για τον καθορισμό της εξάρτησης των συμβάντων μεταξύ τους και το πώς αυτά λειτουργούν καταλήγοντας στο ανεπιθύμητο γεγονός. Έπειτα, παράγονται κατανομές δεσμευμένων πιθανοτήτων κάνοντας χρήση στατιστικών τεχνικών βασισμένες στη θεωρία του Bayes και τελικά εξάγονται εκτιμήσεις για να καθοριστούν πιθανότητες αποτυχίας και αναμενόμενα οφέλη αυτής της μεθόδου. Χρησιμοποιούνται, εκτός από αξιόπιστες διαθέσιμες πληροφορίες, εξειδικευμένες γνώμες ειδικών, αν αυτό κριθεί αναγκαίο.

Τα Bayesian Networks έχουν πρόσφατα χρησιμοποιηθεί από τη νορβηγική FSA για την εκτίμηση της ασφάλειας των επιβατηγών πλοίων (2005). Η συγκεκριμένη μελέτη είχε ως βασικό στόχο την εκτίμηση των επιλογών ελέγχου ρίσκου (RCOs) στον τομέα της θαλάσσιας πλοήγησης. Για την αποφυγή συγκρούσεων και προσaráξεων, η μελέτη υποδεικνύει ότι τα παρακάτω RCOs παρέχουν σημαντικά βελτιωμένη ασφάλεια θαλάσσιας πλοήγησης με έναν επικερδή τρόπο:

- Το σύστημα ηλεκτρονικής απεικόνισης χαρτών και το σύστημα πληροφοριών (ECDIS).
- Το σύστημα ελέγχου πορείας (track control).
- Το σύστημα αυτόματης αναγνώρισης (AIS) συνδυασμένο με τη λειτουργία ραντάρ.
- Ο βελτιωμένος σχεδιασμός γεφυρών.
- Η βελτιωμένη εκμάθηση του πλοηγού.

Αυτά τα πέντε επικερδή RCOs με αξιοσημείωτη προοπτική εκμετάλλευσης για τη μείωση της απώλειας ζώων προωθούνται ως προϋποθέσεις του IMO. Μερικά από αυτά έχουν ήδη τεθεί σε εφαρμογή στα περισσότερα κρουαζιερόπλοια. Τα μέτρα, ωστόσο, δεν λαμβάνονται από τον IMO. Η εκτίμηση των οικονομικών ωφελειών βασίζεται στην εφαρμογή ενός μόνο RCO κάθε φορά. Επιπροσθέτως, υπήρξαν και κάποια άλλα RCOs τα οποία αποδείχτηκαν επικερδή.

Ωστόσο, το κόστος αυτών σε συνδυασμό με τη συνεισφορά τους στη διάσωση ζώων κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα:

- Το σύστημα αυτόματης καταχώρησης πληροφοριών
- Η εφαρμογή των γραμμών καθοδήγησης του BRM
- Το σύστημα αξιοπιστίας βελτιωμένης πλοήγησης.

Επίσης, στη συγκεκριμένη μελέτη έγινε εκτίμηση και των παρακάτω RCOs:

- Η ασφάλεια επάνω στο πλοίο και το κέντρο ασφάλειας.

- Η παρεύρεση δύο αξιωματικών στη γέφυρα.

Οι δύο τελευταίοι παράγοντες αποδείχτηκε στην πορεία της μελέτης ότι δεν είναι επικερδείς. Παρ' όλα αυτά απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να καταλήξουμε σε ένα τελικό συμπέρασμα που θα ενισχύσει τη συγκεκριμένη άποψη.

Σε ένα ακόμη έγγραφο του IMO γίνεται εκτίμηση της επίδρασης του συστήματος ECDIS, του ENC και του συστήματος ελέγχου πορείας (track control) με χρήση των δικτύων πίστης. Αποδείχτηκε ότι τα Bayesian Networks αποτελούν ένα εξαιρετικό εργαλείο για την εξέταση της επίδρασης ενός θέματος σύνθετα συσχετισμένου με διάφορα άλλα στοιχεία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της πιθανότητας προσάραξης καθώς και για το ποσοστό θνησιμότητας ανά άτομο. Ένα από τα πλεονεκτήματα των δικτύων είναι, επίσης, η δυνατότητα αξιολόγησης των διαφόρων RCOs.

Δεν μπορεί να αποφευχθεί το γεγονός ότι η αβεβαιότητα των εκτιμήσεων με χρήση των δικτύων είναι μεγάλη λόγω του ότι σε πολλές περιπτώσεις, τα στατιστικά δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα όταν ορίζονται οι δεσμευμένες πιθανότητες διαφόρων στοιχείων και έτσι η κρίση των ειδικών παίζει πρωτεύοντα ρόλο στη διαμόρφωσή τους. Η εκτίμηση της μείωσης του ρίσκου στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο το σύστημα ελέγχου πορείας δείχνει ότι αν το σύστημα ECDIS δεν χρησιμοποιείται, μία μέθοδος ελέγχου πορείας που επιτρέπει εύκολη ρύθμιση δρομολογίου είναι αποτελεσματική ως προς τη μείωση του ρίσκου. Η επίδραση του ENC εξετάστηκε υποβάλλοντας το μοντέλο της προσάραξης ενός επιβατηγού πλοίου στις πορείες τεσσάρων πλοίων φορτίου των οποίων οι τοποθεσίες αναχώρησης είναι τέσσερα διεθνή λιμάνια στην Ιαπωνία.

Σαν αποτέλεσμα για τη βελτίωση του ποσοστού επιτυχίας αναγνώρισης του χάρτη από το σύστημα ECDIS, το ENC είναι σημαντικό και καθίσταται προφανές ότι η κάλυψη του ENC πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη όταν εξετάζουμε την επίδραση του ECDIS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

RISK BASED INPECTION

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Risk Based Inspection (RBI)

3.1

Βασικές Έννοιες

Ρίσκο (κίνδυνος):

Το ρίσκο είναι κάτι που ο καθένας μας ζει μαζί σε καθημερινή βάση. Γνωρίζοντας ή όχι, οι άνθρωποι συνέχεια παίρνουν αποφάσεις βασιζόμενοι στο ρίσκο. Απλές αποφάσεις, όπως τα να πας στην δουλειά με τα μέσα μεταφοράς ή με το αμάξι περιλαμβάνουν ρίσκο. Πιο σημαντικές αποφάσεις, όπως η αγορά ενός σπιτιού, η επένδυση χρημάτων και το να περάσουμε τα σκαλιά της εκκλησίας συνεπάγονται την αποδοχή κάποιου ρίσκου. Η ζωή δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς ρίσκο και ακόμα και οι προσεχτικοί και παθητικοί άνθρωποι αναγκαστικά κάποια στιγμή παίρνουν κάποιο ρίσκο.

Για παράδειγμα, στην οδήγηση ενός αυτοκινήτου, ο κόσμος αποδέχεται την πιθανότητα ότι μπορεί να σκοτωθεί ή να τραυματιστεί σοβαρά. Ο λόγος που αυτό το ρίσκο γίνεται αποδεχτό είναι γιατί ο κόσμος θεωρεί ότι η πιθανότητα να σκοτωθεί ή να τραυματιστεί σοβαρά κατά την διάρκεια της οδήγησης είναι επαρκώς μικρή. Στοιχεία που επηρεάζουν την αποδοχή του ρίσκου είναι ο τύπος του αυτοκινήτου, το πόσο ασφαλές είναι (αν έχει αερόσακους, πιστοποιημένη ασφάλεια κτλ.), η κίνηση στους δρόμους, η ταχύτητα, οι ικανότητες του οδηγού και άλλοι παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα, τα ρίσκα και η ύπαρξη εναλλακτικών επιλογών.

Ρίσκο είναι ο συνδυασμός της πιθανότητας να συμβεί ένα γεγονός κατά την διάρκεια της περιόδου ενδιαφέροντος και των συνεπειών, (συνήθως αρνητικών) που σχετίζονται με το γεγονός. Σε μαθηματικούς όρους, το ρίσκο μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση:

$$\text{Ρίσκο} = \text{Πιθανότητα} \times \text{Συνέπεια}$$

Απόλυτο ρίσκο:

Μία ιδανική και ακριβής περιγραφή και ποσοτικοποίηση του ρίσκου.

Συνέπεια:

Η έκβαση ενός γεγονότος. Μπορεί να είναι παραπάνω από ένα τα αποτελέσματα ενός γεγονότος. Οι συνέπειες διακρίνονται σε θετικές και αρνητικές. Ωστόσο, από την οπτική της ασφάλειας, οι συνέπειες θεωρούνται

πάντα αρνητικές. Οι συνέπειες μπορούν να εκφραστούν τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά.

Ανοχή βλάβης/αστοχία:

Το ποσοστό αλλοίωσης που μπορεί να επέλθει σε ένα στοιχείο χωρίς αστοχήσει.

Αστοχία:

Τερματισμός της ικανότητας ενός συστήματος, εγκαταστάσεως ή ενός στοιχείου να εκτελέσει τις απαιτούμενες λειτουργίες. Αστοχίες μπορεί να μην δηλωθούν ή εντοπιστούν μέχρι και την επόμενη επιθεώρηση ή μπορεί να να δηλωθούν, αφού εντοπιστούν, μέσω διάφορων μεθόδων, την στιγμή της εμφάνισης.

3.2

Εισαγωγή στην μεθοδολογία Risk Based Inspection (RBI)

Η επιθεώρηση με γνώμονα το ρίσκο (Risk Based Inspection - RBI) όπως ορίζεται από το έγγραφο API 581, αποτελεί μία πρωτοπόρα προσέγγιση επιθεωρήσεων και προγραμματισμού των απαραίτητων διαστημάτων επιθεωρήσεως/συντήρησης, που θέτει ως κύριο στόχο την ασφάλεια και την αξιοπιστία των εγκαταστάσεων λειτουργίας/εξοπλισμού. Η RBI όπως λέει και ο τίτλος της, βασίζεται στο ρίσκο και επικεντρώνει ειδικότερα την προσοχή της στον εξοπλισμό, καθώς και στους αντίστοιχους μηχανισμούς φθοράς, εκείνων που έχουν επιτύχει το μεγαλύτερο ρίσκο μέσα στην εγκατάσταση. Στοχεύοντας στα ρίσκα τους και στον μετριασμό τους, η RBI παρέχει μία σύνδεση μεταξύ του μηχανισμού που οδηγεί το στοιχείο στην αστοχία/βλάβη και των προσεγγίσεων της επιθεώρησης που με επιτυχία θα μειώσει τα αντίστοιχα ρίσκα.

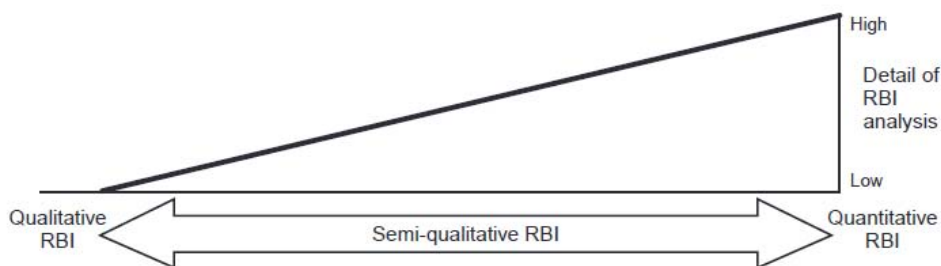
Το ρίσκο λειτουργίας θα καθοριστεί συνδυάζοντας την πιθανότητα ενός ή περισσοτέρων γεγονότων με τις συνέπειες τους. Μερικές βλάβες μπορεί να συμβαίνουν σχετικά συχνά χωρίς να προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις στην ασφάλεια, το περιβάλλον ή το κεφάλαιο. Παρόμοια, ενώ κάποιες βλάβες μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις, η πιθανότητα μπορεί να είναι τόσο μικρή ώστε το ρίσκο να μην δικαιολογεί άμεσες ενέργειες. Ωστόσο, εάν ο συνδυασμός της πιθανότητας και των συνεπειών (ρίσκο) είναι αρκετά μεγάλος ώστε να θεωρηθεί μη αποδεκτός, προτείνεται να εκτελεστούν ενέργειες μετριασμού ώστε να προβλεφθεί ή να αποτραπεί το συγκεκριμένο γεγονός.

Αρκετοί **τύποι RBI εκτιμήσεων** μπορούν να εφαρμοστούν στα διάφορα επίπεδα. Η επιλογή της προσέγγισης εξαρτάται από διάφορες παράμετρους:

1. Το αντικείμενο της μελέτης
2. Τον αριθμό των εγκαταστάσεων και των στοιχείων του εξοπλισμού
3. Οι διαθέσιμοι πόροι
4. Το χρονικό πλαίσιο της μελέτης
5. Η πολυπλοκότητα των εγκαταστάσεων και των διαδικασιών
6. Η φύση και η ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων

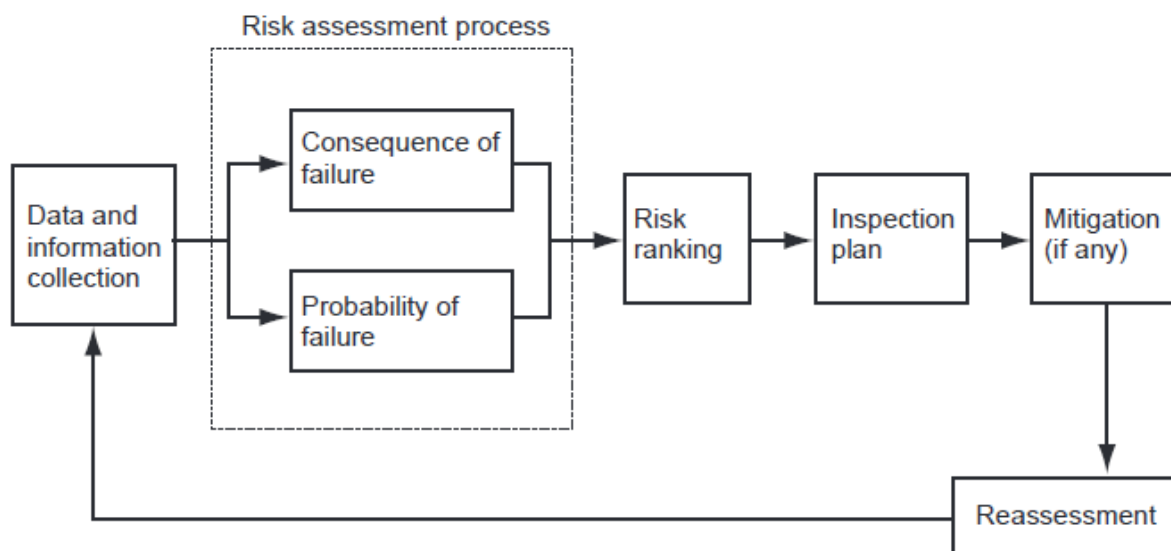
Η RBI διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί ποιοτικά, ποσοτικά ή χρησιμοποιώντας πτυχές και των δύο (ημι-ποσοτική). Κάθε προσέγγιση παρέχει έναν συστηματικό τρόπο για να παρουσιάσει το ρίσκο, να προσδιορίσει τους τομείς που συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον και να αναπτύξει μία λίστα προτεραιοτήτων για περαιτέρω και πληρέστερη επιθεώρηση ή ανάλυση. Κάθε μία παράγει μία ταξινόμηση με βάση το ρίσκο για να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει ξεχωριστά τις πιθανότητες βλάβης και των πιθανών επιπτώσεων της. Η χρησιμοποίηση γνώσεων ειδικών, τυπικά περιλαμβάνεται σε κάθε αξιολόγηση ρίσκου ανεξάρτητα από το επίπεδο.

Πρακτικά, η RBI μελέτη χρησιμοποιεί πτυχές από ποιοτικές, ποσοτικές και ημι-ποσοτικές προσεγγίσεις. **Αυτές οι προσεγγίσεις δεν ανταγωνίζονται η μία την άλλη αλλά είναι συμπληρωματικές.** Για παράδειγμα, μία υψηλού επιπέδου ποιοτική προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρει την μονάδα μέσα στην εγκατάσταση που έχει το μεγαλύτερο ρίσκο. Τα συστήματα και ο εξοπλισμός μέσα στην μονάδα με το μικρότερο ρίσκο μπορούν αν εξεταστούν χρησιμοποιώντας μία ποιοτική προσέγγιση, ενώ αυτά με το μεγαλύτερο με μια πιο ποσοτική προσέγγιση. Ένα άλλο παράδειγμα είναι να χρησιμοποιήσεις ποιοτική ανάλυση των συνεπειών, σε συνδυασμό με ποσοτική ανάλυση των πιθανοτήτων, το οποίο το συναντάμε και συχνότερα.



Σχήμα 3.1: Το συνεχές των RBI προσεγγίσεων

Στο παρακάτω απλοποιημένο σχήμα 2 φαίνεται η διαδικασία RBI, όπου απεικονίζονται τα ουσιώδη στοιχεία του σχεδιασμού της επιθεώρησης με βάση την ανάλυση ρίσκου. Όλα τα στοιχεία είναι απαραίτητα για να ολοκληρωθεί ένα RBI πρόγραμμα ανεξάρτητα από ποια προσέγγιση χρησιμοποιήσαμε.



Σχήμα 3.2: Διαδικασία σχεδιασμού επιθεώρησης κατά RBI

Στην συνέχεια θα γίνει περιληπτική παράθεση των βημάτων σχεδιασμού μίας RBI αξιολόγησης βάση του των υποδείξεων του American Petroleum Institution.

Αντικείμενα και Στόχοι μιας RBI αξιολόγησης

Μία RBI αξιολόγηση πρέπει να επιχειρείτε με καθαρά αντικείμενα κριτήρια και στόχους που να είναι πλήρως κατανοητοί από το εμπλεκόμενο προσωπικό καθώς και από την διοίκηση.

Το πρωταρχικό αντικείμενο της RBI αξιολόγησης μπορεί να είναι η καλύτερη και **πληρέστερη κατανόηση των ρίσκων** που περιλαμβάνονται στην λειτουργία της εγκατάστασης ή ενός μέρους της. Καθώς και η κατανόηση των επιπτώσεων που μπορούν να έχουν σε αυτούς, η επιθεώρηση, η συντήρηση και οι ενέργειες μετριασμού του ρίσκου. Κατέχοντας τα παραπάνω, μπορεί να σχεδιαστεί ένα πρόγραμμα επιθεώρησης που να βελτιστοποιεί την χρήση της καθώς και τον προγραμματισμό για ύπαρξη των ανάλογων πόρων συντήρησης. Στην συνέχεια θα πρέπει να γίνει ένας ακριβής **προσδιορισμός των κριτηρίων ρίσκου**.

Όταν τα ρίσκα έχουν προσδιοριστεί, εκτελούνται ενέργειες επιθεώρησης και/ή άλλες ενέργειες μετριασμού του ρίσκου οι οποίες θα έχουν θετική επίδραση στην μείωση του ρίσκου στα αποδεκτά όρια. Αυτές οι ενέργειες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από αυτές που εκτελούνται κατά την διάρκεια της

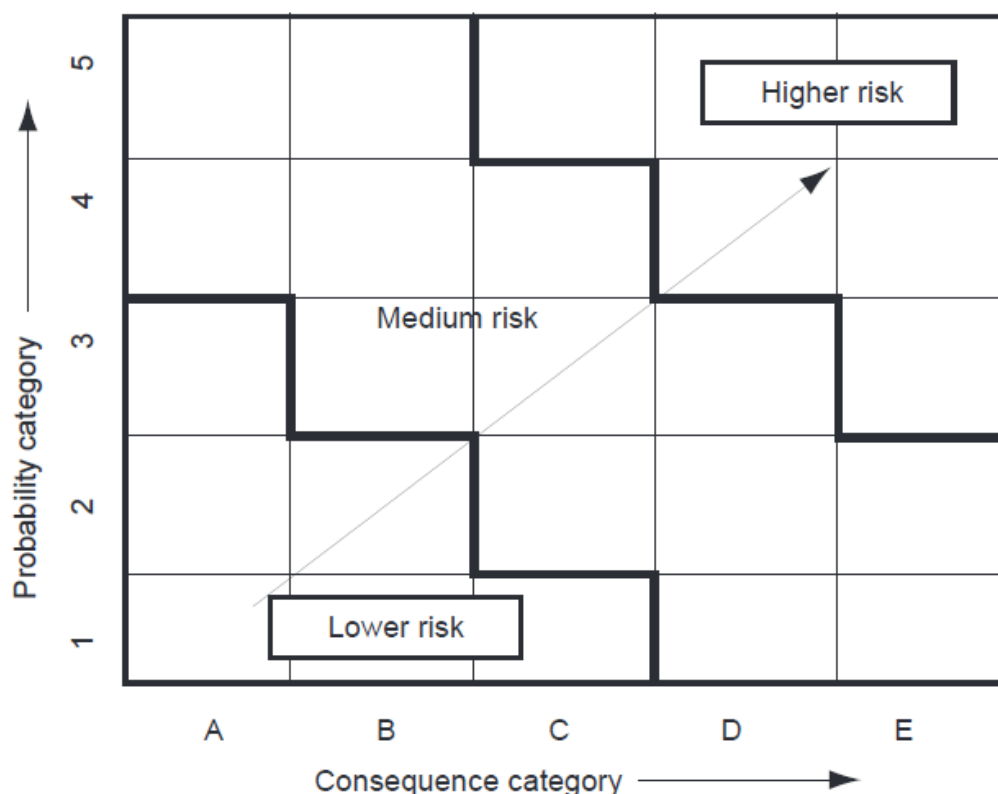
πιστοποίησης. Τα αποτελέσματα της διαχείρισης και του μειωμένου ρίσκου, είναι η βελτιωμένη ασφάλεια, η αποφυγή διαφυγόντων κερδών λόγω απώλειας εξοπλισμού κτλ. και η αποφυγή εμπορικών απωλειών.

Η **μείωση των εξόδων** επιθεώρησης δεν είναι συνήθως το βασικό αντικείμενο της RBI αξιολόγησης, αλλά είναι ένα παράπλευρο φαινόμενο κατά την βελτιστοποίηση της. Όταν το πρόγραμμα επιθεώρησης βελτιστοποιείτε εκμεταλλευόμενο την πλήρη κατανόηση των ρίσκων, μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες προνομακές μειώσεις εξόδων μπορεί να πραγματοποιηθεί:

1. Αναποτελεσματικές, αχρείαστες ή ακατάλληλες ενέργειες επιθεώρησης είναι δυνατόν να μην λάβουν εξαρχής χώρα.
2. Επιθεωρήσεις εξοπλισμού χαμηλού ρίσκου μπορούν να μειθούν ή να εξαλειφθούν εντελώς.
3. Εν ώρα λειτουργίας ή μη-επεμβατικές μέθοδοι επιθεώρησης μπορούν να αντικαταστήσουν επεμβατικές μεθόδους που απαιτούν παύση λειτουργίας του εξοπλισμού.
4. Πιο αποτελεσματικές σπάνιες επιθεωρήσεις μπορούν να αντικαταστήσουν λιγότερο αποτελεσματικές συχνές επιθεωρήσεις.

Η **ικανοποίηση των περιβαλλοντολογικών** απαιτήσεων και απαιτήσεων ασφαλείας μέσω της κατάλληλης διαχείρισης του ρίσκου.

Τα **τελευταία βήματα** είναι η ταξινόμηση των εναλλακτικών ενεργειών μετριασμού, η εξαρχής αξιολόγηση ρίσκου του νέου εξοπλισμού πριν την τοποθέτηση και η διεξοδική ανάλυση για τις στρατηγικές που αφορούν το τέλος ζωής των εγκαταστάσεων.



Σχήμα 3.3: Παράδειγμα Ποιοτικού Πίνακα Ρίσκου, όπου γίνεται χρησιμοποίηση των πιθανοτήτων φθοράς και των συνεπειών για την απεικόνιση των ρίσκων. (API, 1999)

3.3

Διαχείριση του ρίσκου, μειώνοντας την αβεβαιότητα μέσω των επιθεωρήσεων.

Το ρίσκο μπορεί να γίνει διαχειρίσιμο μέσω των επιθεωρήσεων. Φυσικά, η επιθεώρηση δεν κατακρατάει ή μετριάξει τους μηχανισμούς φθοράς. Ο ρόλος των επιθεωρήσεων είναι ο εντοπισμός, η παρακολούθηση και η μέτρηση των μηχανισμών φθοράς. Επίσης, παράγει ανεκτίμητα δεδομένα για την πρόβλεψη του πότε η φθορά θα φτάσει σε κρίσιμο σημείο. Σωστή εφαρμογή επιθεωρήσεων θα βελτιώσει την δυνατότητα του χρήστη να προβλέψει τους μηχανισμούς φθοράς που θα λάβουν χώρα, καθώς και των αντίστοιχων ρυθμών επέκτασης.

Όσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη, τόσο λιγότερη είναι η αβεβαιότητα όσον αφορά το ποτε θα συμβεί μία βλάβη. Ενέργειες μετριασμού των μηχανισμών

φθοράς όπως επιδιορθώσεις, αντικαταστάσεις, άλλες αλλαγές κτλ. Μπορούν να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν πριν η προβλεπόμενη φθορά συμβεί.

Η μείωση της αβεβαιότητας και η αύξηση της προβλεψιμότητας μέσω των επιθεωρήσεων μεταφράζεται σε **άμεση μείωση της πιθανότητας φθοράς και κατ' επέκταση σε μείωση του ρίσκου**. Ωστόσο, οι χρήστες πρέπει να είναι επιμελής και βέβαιοι ότι προσωρινές επιθεωρήσεις αποτελούν στην εκάστοτε περίπτωση αποτελεσματικές εναλλακτικές λύσεις αντί άλλων πιο μόνιμων λύσεων.

Η επίτευξη μετριασμού του ρίσκου μέσω επιθεωρήσεων προϋποθέτει ότι ο οργανισμός θα ενεργήσει βάση των αποτελεσμάτων της επιθεώρησης σε εύθετο χρόνο. Καμία μείωση ρίσκου δεν θα επιτευχθεί αν τα δεδομένα της επιθεώρησης δεν αναλυθούν σωστά και δεν λάβουν χώρα οι κατάλληλες ενέργειες όπου χρειάζονται.

Πρέπει να αναπτυχθεί μία λίστα προτεραιότητας που να βασίζεται στο ρίσκο. Μέσω της RBI μεθοδολογίας θα εντοπιστεί αν οι συνέπειες ή οι πιθανότητες φθοράς είναι ο κύριος παράγοντας που μεγεθύνει το ρίσκο. **Στην περίπτωση όπου το ρίσκο μεταβάλλεται κυρίως από την πιθανότητα φθοράς, υπάρχουν προοπτικές για διαχείριση του ρίσκου μέσω των επιθεωρήσεων.**

Αφότου η RBI αξιολόγηση θα έχει ολοκληρωθεί, τα αντικείμενα με το υψηλότερο ή μη αποδεκτό ρίσκο πρέπει να αξιολογηθούν για πιθανή διαχείριση του ρίσκου του μέσω επιθεωρήσεων. Το αν οι επιθεωρήσεις θα είναι αποτελεσματικές ή όχι, εξαρτάται από:

- Το τύπο του εξοπλισμού.
- Οι ενεργοί και αξιόπιστοι μηχανισμοί φθοράς.
- Ο ρυθμός φθοράς ή ευαισθησίας.
- Οι μέθοδοι επιθεώρησης, η έκταση τους και η συχνότητα.
- Ευαισθησία στους αναμενόμενου μηχανισμούς φθοράς
- Προϋποθέσεις αναβολής της λειτουργίας
- Το ποσοστό μείωσης που μπορεί να επιτευχθεί στην πιθανότητα φθοράς (Probability Of Failure - POF).

Βασίζομενη σε παράγοντες όπως ο υπολειπόμενος χρόνος ζωής του εξοπλισμού και ο τύπος του μηχανισμού φθοράς, η διαχείριση του ρίσκου μπορεί να έχει μικρή ή και καθόλου δράση.

Κάποια παραδείγματα είναι τα παρακάτω:

- Καθιερωμένοι ρυθμοί διάβρωσης και εξοπλισμός που φτάσει στο τέλος της εμπορικής του ζωής.

- Στιγμαϊκές βλάβες που σχετίζονται με τις συνθήκες λειτουργίας όπως η ψαθυρή θραύση.
- Τεχνολογία επιθεώρησης η οποία δεν έχει την δυνατότητα να εντοπίσει πλήρως ή να ποσοτικοποίηση την φθορά επαρκώς.
- Πολύ μικρό χρονικό περιθώριο από την εμφάνιση της φθοράς και την τελική βλάβη, ώστε να είναι αποτελεσματικές οι περιοδικές επιθεωρήσεις. (υψηλού-κύκλου ρωγμάτωση λόγω κόπωσης)
- Βλάβες που προκαλούνται λόγω κάποιων γεγονότων (περιστάσεις που δεν μπορούν εύκολα να προβλεφθούν)

Σε τέτοιες περιπτώσεις , απαιτούνται εναλλακτικοί τρόποι μετριασμού του ρίσκου.

Η πιο πρακτική και οικονομική στρατηγική θα πρέπει να εφαρμοστεί για κάθε ένα αντικείμενο. **Συνήθως, οι επιθεωρήσεις αποτελούν ένα τεράστιο μέρος της συνολικής στρατηγική μείωσης του ρίσκου.**

3.4

Θεσπίζοντας μία στρατηγική επιθεωρήσεων βασιζόμενη στην αξιολόγηση του ρίσκου.

Τα αποτελέσματα μίας RBI αξιολόγησης και οι συνιστάμενες της αξιολόγησης της διαχείρισης του ρίσκου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως η βάση για την ανάπτυξη μία **ολοκληρωμένη στρατηγική επιθεωρήσεων.**

Οι χρήστες πρέπει να λάβουν υπόψιν τους στην ανάπτυξη της στρατηγικής επιθεωρήσεων:

- το επίπεδο του ρίσκου,
- τους βασικούς του παράγοντες,
- το ιστορικό των αντικειμένων,
- τον αριθμό και τα αποτελέσματα των επιθεωρήσεων,
- τον τύπο και την αποτελεσματικότητά τους,
- τον εξοπλισμός σε πανομοιότυπη λειτουργία και
- την εναπομένουσα εμπορική ζωή

Η επιθεώρηση είναι αποτελεσματική μόνο εάν η τεχνική επιθεώρησης που έχει επιλεγεί είναι κατάλληλη για τον εντοπισμό του μηχανισμού φθοράς και της σημαντικότητας του. Για παράδειγμα, ο εντοπισμός της λέπτυνσης πάχους σε ένα σημείο (point reading) σε ένα δίκτυο σωληνώσεων θα έχει μικρό ή καθόλου όφελος εάν ο μηχανισμός φθοράς προκαλεί απρόβλεπτη τοπική διάβρωση. Σε αυτήν την περίπτωση, σάρωση με υπέρηχους, ακτινογραφία κτλ. θα είναι πιο αποτελεσματική.

Το επίπεδο μείωσης του ρίσκου που επιτυγχάνεται είναι ανάλογο:

- του τρόπος βλάβης του εκάστοτε μηχανισμού φθοράς
- Των χρονικών διαλειμμάτων μεταξύ της εμφάνισης της φθοράς και την πρόκλησης της βλάβης. (ταχύτητα φθοράς)
- της δυνατότητα εντοπισμού της εκάστοτε τεχνικής επιθεωρήσεως.
- του σκοπού της επιθεωρήσεως και
- της συχνότητα των επιθεωρήσεων.

Από τους οργανισμούς πρέπει να έχει μελετηθεί σε βάθος και να έχει συστηματοποιηθεί ο βαθμός διαχείρισης του ρίσκου που προβλέπεται να επιτευχθεί μέσω των επιθεωρήσεων και πρέπει να είναι προσεκτικοί να μην θεωρήσουν ότι υπάρχουν ατέλειωτες δυνατότητες διαχείρισης του ρίσκου μέσω των επιθεωρήσεων.

Η στρατηγική επιθεωρήσεων θα πρέπει να είναι τεκμηριωμένη, επαναλαμβανόμενη διαδικασία που θα διασφαλίζει ότι οι δραστηριότητες επιθεωρήσεων είναι συνεχώς επικεντρωμένες στα αντικείμενα με το υψηλότερο ρίσκο και ότι τα ρίσκα μειώνονται αποτελεσματικά από τις εφαρμογές αυτών των δραστηριοτήτων.

3.5

Διαχείριση ρίσκου με διαδικασίες επιθεωρήσεων

Η από αποτελεσματικότητα των επιθεωρήσεων του παρελθόντος είναι μέρος του προσδιορισμού του υπάρχων ρίσκου. Το μελλοντικό ρίσκο μπορεί να επηρεαστεί από μελλοντικές δραστηριότητες επιθεωρήσεων. Η RBI μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα «τι θα συμβεί αν» εργαλείο για να προσδιοριστεί πότε, τι και πώς οι επιθεωρήσεις πρέπει να εκτελεστούν για να αποδώσουν αποδεκτού επιπέδου ρίσκα. Βασικοί παράμετροι και παραδείγματα που μπορούν να επηρεάσουν τα μελλοντικά ρίσκα είναι:

- **Η συχνότητα των επιθεωρήσεων** – Αύξηση της συχνότητας των επιθεωρήσεων μπορεί να συμβάλει στον καλύτερο προσδιορισμό, εντοπισμό και παρακολούθηση των μηχανισμών φθοράς και ως εκ τούτου να μειωθεί το ρίσκο. Επιθεωρήσεις όλων των τύπων μπορούν να βελτιστοποιηθούν (πχ. Οι επιθεωρήσεις ρουτίνας ή οι έκτακτες επιθεωρήσεις κτλ.).
- **Έκταση** – Διαφορετικές ζώνες ή περιοχές επιθεωρήσεως ενός κατασκευαστικού στοιχείου ή ομάδας, μπορεί να μοντελοποιηθεί και να εκτιμηθεί, ώστε να προσδιοριστεί η έκταση της επιθεώρησης που θα χρειαστεί ώστε να επιτευχθεί συνολικά αποδεκτού επιπέδου ρίσκο.

Για παράδειγμα, η αξιολόγηση μπορεί να αποκαλύψει την ανάγκη να επικεντρωθεί η προσοχή σε στοιχεία του πλοίου όπου θα εντοπιστούν τα μεγαλύτερα ρίσκα και έπειτα να γίνει εστίαση στην ποσοτικοποίηση αυτών των ρίσκων αντι να γίνει περεταίρω έλεγχος της υπόλοιπης μονάδας, όπου πιθανότατα μόνο χαμηλού ρίσκου φθορές θα εντοπιστούν.

- **Εργαλεία και τεχνικές** – Η επιλογή των κατάλληλων εργαλείων και τεχνικών επιθεώρησης μπορεί να βελτιστοποιηθεί, ώστε να μειώσει αποτελεσματικά και με ασφάλεια να το ρίσκο. Στην επιλογή των εργαλείων και τεχνικών επιθεώρησης, το προσωπικό των επιθεωρήσεων πρέπει να λάβει υπόψιν του ότι περισσότερες από μία τεχνολογίες μπορεί να επιτύχουν την ίδια μείωση ρίσκου. Ωστόσο, το επιτευχθέν επίπεδο μείωσης μπορεί να ποικίλει ανάλογα τις επιλογές.

Για παράδειγμα, η ραδιογραφία μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική απο τους υπέρηχους για έλεγχο του πάχους στην περίπτωση της τοπικής διάβρωσης.

- **Διαδικασίες και πρακτικές** – Οι διαδικασίες επιθεωρήσεως και οι πραγματικές πρακτικές επιθεωρήσεως μπορούν να επηρεάσουν την δυνατότητα των ενεργειών της επιθεώρησης στον εντοπισμό, την μέτρηση και/ή την παρακολούθηση των μηχανισμών φθοράς. Αν οι ενέργειες επιθεωρήσεως εκτελούνται αποτελεσματικά από καλά εκπαιδευμένο προσωπικό και πιστοποιημένους επιθεωρητές, η αναμενόμενη διαχείριση του ρίσκου θα επιτευχθεί. Ο χρήστης όμως πρέπει να είναι επιφυλακτικός να μην θεωρήσει ότι όλοι οι επιθεωρητές και οι NDE ελεγκτές, έχουν την σωστή εκπαίδευση και εμπειρία αλλά να μπει στην διαδικασία να αξιολογήσει το επίπεδο τους.
- **Εσωτερική ή εξωτερική επιθεώρηση** – Ο περιορισμός του ρίσκου από εσωτερικές και εξωτερικές επιθεωρήσεις πρέπει να ελέγχετε. Συχνά εξωτερικές επιθεωρήσεις με αποτελεσματικές κλασσικές τεχνικές επιθεωρήσεως μπορεί να προσφέρουν χρήσιμα δεδομένα για

αξιολόγηση του ρίσκου. Αξίζει να σημειωθεί ότι επεμβατικές επιθεωρήσεις, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να προκαλέσουν φθορές και αύξηση του ρίσκου σε κάποια κατασκευαστικά στοιχεία.

Ο χρήστης πρέπει να προσαρμόσει τις παραπάνω παραμέτρους για να επιτύχει το βέλτιστο πλάνο επιθεωρήσεων που θα διαχειρίζεται το ρίσκο, οικονομικά και αποτελεσματικά.

Η αποτελεσματικότητα του προγράμματος επιθεωρήσεως μπορεί να περιορίζεται από:

- Απουσία κάλυψης περιοχών που υπόκεινται σε αλλοίωση.
- Έμφυτοι περιορισμού κάποιων μεθόδων επιθεώρησης στον εντοπισμό και στην ποσοτικοποίηση συγκεκριμένων τύπων φθοράς.
- Η επιλογή ακατάλληλων μεθόδων και εργαλείων επιθεωρήσεως.
- Εφαρμογή μεθόδων και εργαλείων επιθεωρήσεως από ανεπαρκώς εκπαιδευμένο προσωπικό.
- Ανεπαρκής διαδικασίες επιθεωρήσεως.
- Ο ρυθμός φθοράς κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να αυξήσει την πιθανότητα βλάβης μέσα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα; Ακόμα κι ανα η ζημιά δεν έχει βρεθεί κατά την διάρκεια της επιθεώρησης, η βλάβη μπορεί να συμβεί σαν αποτέλεσμα αλλαγών ή ταραγμένων συνθηκών.
- Ανακριβής αναλύσεις αποτελεσμάτων που οδηγούν σε ανακριβής τάσεις του κάθε μέρους ξεχωριστά.
- Οι πιθανότητες εντοπισμού των εφαρμοζόμενων τεχνικών NDE για ένα συγκεκριμένο τύπο αντικειμένου, μεταλλουργίας, θερμοκρασιών και γεωμετρίας.

Η προϋπόθεση για σχεδιασμού των επιθεωρήσεων χρησιμοποιώντας την RBI μεθοδολογία βασίζεται στο γεγονός ότι σε κάποιο σημείο του χρόνου, το ρίσκο όπως έχει ορισθεί, θα φθάσει σε ένα συγκεκριμένο ρίσκο στόχο. Όταν ή πριν φθάσουμε στο ρίσκο στόχο, μία επιθεώρηση του εξοπλισμού ενδείκνυται βάση της κατάταξης του μηχανισμού φθοράς του εξοπλισμού που θα έχει το μεγαλύτερο υπολογισθέντα ρίσκο.

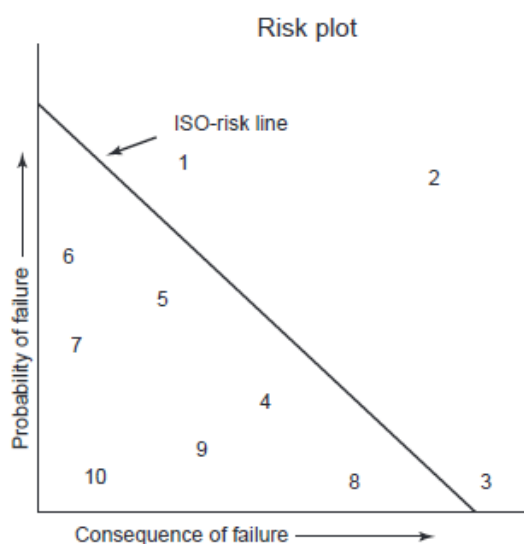
Όπως βλέπουμε στο API 581, η μείωση την αβεβαιότητας είναι μία συνάρτηση της αποτελεσματικότητας της επιθεώρησης στην διαπίστωση και ποσοτικοποίηση του τύπου και της έκτασης της ζημιάς.

Το υπολογισθέντα ρίσκο βάση της RBI μεθοδολογίας δεν είναι μόνο μία συνάρτηση του χρόνου αλλά είναι επίσης και μία συνάρτηση της γνώσης που

αποκτάται από την εκάστοτε κατάσταση του εξοπλισμού ή την κατάσταση της ζημιάς που προσδιορίζεται κατά την διάρκεια ενός αποτελεσματικού προγράμματος επιθεωρήσεων.

Ένα από τα βασικά πρώτα βήματα είναι ο **ορισμός του κρίσιμου ρίσκου**. Το κρίσιμο ρίσκο καθορίζεται ως το αποδεκτό επίπεδο ρίσκου που καθορίζεται για τους σκοπούς του σχεδιασμού των επιθεωρήσεων. Το κρίσιμο ρίσκο με όρους έκτασης για ανάλυση συνεπειών βασισμένη στην έκταση και με **οικονομικούς όρους για ανάλυση συνεπειών βασισμένη στην οικονομία**.

Οι προδιαγραφές του κρίσιμου ρίσκου είναι στις υποχρεώσεις του ιδιοκτήτη-χρήστη. Ένα κρίσιμο ρίσκο μπορεί να αναπτυχθεί βασιζόμενο τις εσωτερικές οδηγίες του ιδιοκτήτη-χρήστη που θα αφορούν τις ανοχές του ρίσκου. Πολλοί οργανισμοί έχουν εταιρικά κριτήρια που καθορίζουν τα αποδεκτά και συνετά επίπεδα ρίσκων ασφάλειας, περιβάλλοντος και οικονομίας. Αυτά τα κριτήρια ρίσκου πρέπει να χρησιμοποιηθούν όντα λαμβάνονται οι RBI αποφάσεις επιθεωρήσεων διότι κάθε εταιρία μπορεί να έχει διαφορετικά επίπεδα ρίσκου και οι αποφάσεις διαχείρισης ρίσκου μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους.



Σχήμα 3.4: Αναπαράσταση του ρίσκου χρησιμοποιώντας ποσοτικές τιμές. Η γραμμή αναπαράστα το ISO-risk. (API, 1999)

3.6

Διαχείριση του κόστους επιθεωρήσεως με την RBI.

Τα κόστη των επιθεωρήσεως μπορεί να είναι πιο ευκολά διαχειρίσιμα αξιοποιώντας την μεθοδολογία RBI. Πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή να επανατοποθετηθούν σε αυτές τις περιοχές όπου εντοπίζονται υψηλά ρίσκα ή στόχοι που βασίζονται στην επιλεγμένη στρατηγική. Ως συνέπεια, αυτή η ίδια η στρατηγική επιτρέπει εκτιμήσεις για μείωση ενεργειών επιθεώρησης σε αυτές τις

περιοχές όπου συναντάμε χαμηλά ρίσκα ή σε αυτές όπου οι ενέργειες των επιθεωρήσεων έχουν λιγότερη ή καθόλου επίδραση στα αντίστοιχα ρίσκα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται καλύτερη διαχείριση των υπάρχων πόρων επιθεώρησης.

Μία άλλη ευκαιρία για διαχείριση του κόστους επιθεωρήσεως είναι με την αναγνώριση των στοιχείων αυτών στο πλάνο επιθεωρήσεων, που μπορούν να επιθεωρηθούν μη διεισδυτικά. Αν η μη διεισδυτική επιθεώρηση παρέχει ικανοποιητική διαχείριση του ρίσκου, τότε υπάρχει η προοπτική να αποφύγουμε έξοδα για πού θα συνόδευε το άνοιγμα, ο καθαρισμός και η εσωτερική επιθεώρηση με ταυτόχρονο σταματημό των εργασιών της εγκατάστασης.

Ο χρήστης πρέπει να καταλάβει ότι ενώ υπάρχει μία προοπτική για μείωση του κόστους επιθεωρήσεων αξιοποιώντας την μεθοδολογία RBI, η αξιοπιστία του εξοπλισμού και η βελτιστοποίηση του κόστους επιθεωρήσεων πρέπει να παραμείνουν στο επίκεντρο της προσοχής.

3.7

Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της επιθεώρησης και προσδιορισμός των διορθωτικών ενεργειών

Τα αποτελέσματα των επιθεωρήσεων όπως οι μηχανισμοί φθοράς, οι ρυθμοί μηχανικής υποβάθμισης και οι ανοχές του εξοπλισμού σε αυτού του τύπου φθορές πρέπει να χρησιμοποιούνται ως παράμετροι στην αξιολόγηση της υπολειπόμενης ζωής της εγκατάστασης και στον σχεδιασμό των πλάνων επιθεωρήσεων. Τα αποτελέσματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για σύγκριση ή επιβεβαίωση του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των πιθανοτήτων βλάβης.

Ένα γραπτό πλάνο εργασιών μετριασμού των φθορών πρέπει να αναπτυχθεί για κάθε στοιχείο του εξοπλισμού που χρειάζεται επισκευή ή αποκατάσταση. Το πλάνο εργασιών πρέπει να περιγράφει την έκταση της επισκευής (ή αποκατάστασης), τις προτάσεις, τις προτεινόμενες τεχνικές επισκευής και τις ημερομηνίες που θα πρέπει οι εργασίες να έχουν ολοκληρωθεί.

3.8

Επαναξιολόγηση και ανανέωση των RBI αξιολογήσεων

Η μεθοδολογία RBI είναι ένα δυναμικό εργαλείο που μπορεί να παρέχει τωρινές και προβλεπόμενες αξιολογήσεις. Ωστόσο, αυτές οι αξιολογήσεις βασίζονται σε δεδομένα και γνώσεις της στιγμής της αξιολόγησης. Καθώς ο χρόνος προχωράει, οι αλλαγές είναι αναπόφευκτες και τα αποτελέσματα της RB αξιολόγηση πρέπει να ανανεώνεται.

Είναι σημαντικό να συντηρείται και να ανανεώνεται το RBI πρόγραμμα για να διασφαλίσουμε την πιο πρόσφατη επιθεώρηση, διαδικασίες και πληροφορίες συντήρησης. Τα αποτελέσματα των επιθεωρήσεων, οι αλλαγές των καταστάσεων της διαδικασίας και η εφαρμογή πρακτικών συντήρησης μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο ρίσκο και μπορούν να ενεργοποιήσουν την ανάγκη για επαναξιολόγηση.

Υπάρχουν πολλά γεγονότα που θα μπορούσαν να αλλάξουν τα ρίσκα και να κάνουν απαραίτητη την διεξαγωγή μία RBI επαναξιολόγησης. Είναι σημαντικό οι εγκαταστάσεις να έχουν αποτελεσματική διαχείριση των αλλαγών στην διαδικασία που εντοπίζει τότε μία επαναξιολόγηση είναι απαραίτητη.

Πολλοί μηχανισμοί φθοράς είναι χρονικά εξαρτημένοι. Τυπικά, η RBI αξιολόγηση θα προβλέψει φθορά με σταθερό ρυθμό. Στην πραγματικότητα, ο εκάστοτε ρυθμός φθοράς μπορεί να διαφέρει καθώς περνάει ο χρόνος. Μέσα από της εργασίες επιθεώρησης, οι μέσοι ρυθμοί φθοράς μπορούν να προσδιοριστούν καλύτερα.

Μερικοί μηχανισμοί φθοράς είναι ανεξάρτητοι του χρόνου (συμβαίνουν μόνο υπό την παρουσία συγκεκριμένων συνθηκών). Αυτές οι συνθήκες μπορεί να μην έχουν εκτιμηθεί στην αρχική αξιολόγηση αλλά μπορεί εν μέρει να έχουν συμβεί.

Εργασίες επιθεωρήσεων αυξάνουν τις πληροφορίες πάνω στις συνθήκες που επικρατούν στον εξοπλισμό. Όταν εργασίες επιθεωρήσεων λαμβάνουν χώρα, τα αποτελέσματα πρέπει να ελέγχονται και να διαπιστώνεται αν μία RBI επαναξιολόγηση είναι απαραίτητη. (API, 1999)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΚΤΥΑ ΠΙΣΤΕΩΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1

Εισαγωγή

Κατανομές πρόβλεψης που έχουν ως βάση την **θεωρία του Bayes** («Κατανομή που προκύπτει εκ των υστέρων» ή «posterior distribution», «Προγνωστική Κατανομή» ή «predictive distribution») περιλαμβάνουν όλα όσα χρειάζεται κάποιος ώστε να γίνουν γνωστές πληροφορίες μιας άγνωστης παραμέτρου ή μελλοντικών παρατηρήσεων. Οι μέθοδοι που βασίζονται στον Bayes (Bayesian Methods) υποδηλώνουν το πώς χρησιμοποιούνται οι στατιστικές τεχνικές με εύλογο και σχετικά πρακτικό τρόπο. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται από ειδικούς, με τέτοιο τρόπο ώστε να βγάζουν σημαντικά συμπεράσματα τόσο σε επιστημονικό, όσο σε ιατρικό και κοινωνικό επίπεδο, βάσει των αριθμητικών δεδομένων. Οι μέθοδοι παρουσιάζονται με αξιολογικό τρόπο και σαν υπολογιστική προσομοίωση (Leonard and Hsu, 1999).

Οι στατιστικές χρησιμοποιούν θεωρητικά μοντέλα/τεχνικές και αποτελούν σημαντικά ερευνητικά εργαλεία βοηθώντας τους αρμόδιους ερευνητές και συμβάλουν στο να εξαχθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα και συμπεράσματα σχετικά με κοινωνικά, ιατρικά και επιστημονικά θέματα, βασισμένα σε αριθμητικά δεδομένα τα οποία υπόκεινται σε **τυχαία αβεβαιότητα**. Για κάθε συγκεκριμένη μελέτη, είναι πολύ σημαντικό να συνδυάζονται ταυτόχρονα θεωρητικές και υπολογιστικές πηγές, μαζί με εφαρμοσμένες τεχνικές, παρέχοντας τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης των αντίστοιχων ειδικών με το ιστορικό του υπό μελέτη θέματος και της χρησιμότητας των δεδομένων.

Πολλές μελέτες και βάσεις δεδομένων είναι αδόκιμες και δεν παρέχουν πάντα μία ολοκληρωμένη και πειστική ανάλυση που να βασίζεται σε προϋπάρχουσες τεχνικές. Έτσι, δημιουργείται η ανάγκη, για συγκεκριμένες πρακτικές μελέτες να αναπτύσσονται και νέες τεχνικές. Η στατιστική είναι μία βαθμιαία εξελισσόμενη επιστήμη και ως εκ τούτου είναι πολύ σημαντικό για τους ερευνητές να συνεχίσουν να αναπτύσσουν κατάλληλη στατιστική μεθοδολογία. Όταν όμως η υπάρχουσα μεθοδολογία είναι διαθέσιμη, τότε θα μπορούσε να εφαρμοστεί με εξειδικευμένες γνώσεις των θεωρήσεων που περιέχονται σε αυτή, μαζί με τις συνέπειές τους.

Η μαθηματική στατιστική χρησιμοποιεί δύο κύρια παραδείγματα, την συμβατική και Bayesian (Leonard and Hsu, 1999). Η φιλοσοφία της σκέψης που βασίζεται στη θεωρία του Sir Ronald Fisher (Fisherian philosophy) και η φιλοσοφία της σκέψης που βασίζεται στη θεωρία του Reverend Thomas Bayes (Bayesian philosophy).

Ο τρόπος προσέγγισης του εκάστοτε προβλήματος, βάση της θεωρίας του Fisher, είναι ένας συνδυασμός της προσέγγισης συχνότητας (αμερόληπτους εκτιμητές, υποθετικές δοκιμές) με μεθόδους πιθανοτήτων. Επίσης, περιλαμβάνεται στη θεωρία του μία ημιτελή μέθοδο, η οποία προσπαθεί να αφομοιώσει κάποια από τα πλεονεκτήματα της προσέγγισης βάση της θεωρίας του Bayes (π.χ. ορθολογικά συνδυασμένα με τις ιδιότητες συχνότητων όταν επαναλαμβάνεται το παράδειγμα κάποιες φορές κάτω από πανομοιότυπες συνθήκες), χωρίς να θεωρούμε αρχικές κατανομές πιθανοτήτων.

Οι Bayesian μέθοδοι είναι αναμφισβήτητα και οι παλαιότερες (Ο Thomas Bayes δημοσίευσε την θεωρία του το 1764). Οι Bayesian μεθοδολογίες έγιναν λιγότερο δημοφιλής στις αρχές του 20ού αιώνα σε αντιδιαστολή με τις μεθόδους του Fisher. Αλλά αργότερα γνώρισαν μία σημαντική αναζωπύρωση, αφότου οι υπολογιστές έγιναν ευρεία διαθέσιμοι, για τον λόγο ότι πολλές αναλύσεις δεν είναι δυνατόν να γίνουν με το χέρι και εξαρτώνται από τις υπολογιστικές προσομοιώσεις. Η βασική ιδέα πίσω από την Bayesian στατιστική είναι ότι σου δίνεται η δυνατότητα να συνδυάσεις τα αποτελέσματα ενός πειράματος (τα οποία εκφράζονται με όρους πιθανοτήτων-likelihood) με προγενέστερη γνώση/πληροφορία (όπως για παράδειγμα τα αποτελέσματα μία προηγούμενης επιθεώρησης πλοίου) για να βγάλεις αυτό που ονομάζεται μεταγενέστερη πιθανότητα (posterior probability).

Το σημείο που εγείρει συζητήσεις πάνω σε αυτήν την θεωρία είναι η φύση των «προγενέστερων πληροφοριών» (οι οποίες εκφράζονται ως κατανομές και συχνά αναφέρονται στην βιβλιογραφία απλά ως «προγενέστερες»), διότι δύο άνθρωποι μπορεί να έχουν διαφορετικές προγενέστερες γνώσεις ή πληροφορίες και έτσι θα καταλήξουν σε διαφορετικά αποτελέσματα. Με άλλα λόγια, ατομικές γνώσεις (ή υποκειμενικές πεποιθήσεις) μπορεί να συνδυαστούν με πειραματικά δεδομένα για να παράγουν τα τελικά αποτελέσματα. Τις πιθανότητες, έτσι, τις αντιλαμβανόμαστε ως προσωπικές πεποιθήσεις, οι οποίες φυσικά διαφέρουν μεταξύ των ατόμων. Αυτό το γεγονός όμως δεν το δέχονται πολλοί επιστήμονες, διότι θέλουν τα δεδομένα από μόνα τους να φέρνουν αποτελέσματα, τα οποία να είναι και μοναδικά. Όχι δηλαδή να υπάρχουν τόσα αποτελέσματα, όσοι και οι άνθρωποι που κάνουν την ανάλυση. Στο σημείο αυτό, πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν μέθοδοι όπου η προγενέστερη πληροφορία, αντλείται από τα δεδομένα και αναφέρονται ως «**Εμπειρικές Bayesian Μέθοδοι**». Σε αυτές τις μεθόδους δεν υπάρχει το πρόβλημα της υποκειμενικότητας.

Επιπρόσθετα, υπάρχει η δυνατότητα να συγκεκριμενοποιηθεί η αβεβαιότητα ή οι μη-ενημερωτικές προγενέστερες πληροφορίες, επιτρέποντας στα δεδομένα να φέρουν από μόνα τους αποτελέσματα. Υπάρχει επίσης η άποψη που υποστηρίζει ότι για πολλά πρακτικά ζητήματα οι προγενέστερες πληροφορίες έχουν μικρή επιρροή στο τελικό αποτέλεσμα, ειδικά όταν το μέγεθος του δείγματος είναι μεγάλο. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου αυτής είναι ότι μπορεί να συμπεριλάβει άλλες σχετικές πληροφορίες και είναι έτσι πολύ χρήσιμη για την ενσωμάτωση αποτελεσμάτων από πολλά πειράματα. Άλλα πλεονεκτήματα περιλαμβάνονται στις αναφορές του Berger (Berger , 1985) και των Bernado και Smith (Bernardo , 1994).

Τα επιστημονικά, πειραματικά αποτελέσματα ή τα αποτελέσματα παρατήρησης αποτελούνται γενικά από (πιθανώς πολλά) σύνολα δεδομένων της γενικής μορφής $D = \{x_1, \dots, x_n\}$, όπου αυτές οι τιμές είναι σε κάποιο βαθμό «ομογενής» (πιθανώς πολυδιάστατες) παρατηρήσεις x_i . Οι στατιστικές μέθοδοι, έπειτα, προσπαθούν να εξάγουν συμπεράσματα από την φύση της διαδικασίας που παρήγαγε αυτές τις παρατηρήσεις, και από την προσδοκώμενη συμπεριφορά σε μελλοντικές στιγμές που θα λαμβάνει χώρα η ίδια διαδικασία.

Ένα κύριο στοιχείο οποιασδήποτε στατιστικής ανάλυσης είναι ο προσδιορισμός του πιθανοτικού μοντέλου, το οποίο υποθέτουμε ότι περιγράφει τον μηχανισμό που παρήγαγε τα παρατηρούμενα δεδομένα D ως συνάρτηση μίας παραμέτρου (διάνυσμα)

$\omega \in \Omega$, που ορισμένες φορές αναφέρεται ως το «state of nature», εκτ' των οποίων τιμών μόνο περιορισμένη πληροφορία (αν υπάρχει) είναι διαθέσιμη. Όλα τα παραγμένα στατιστικά συμπεράσματα είναι προφανώς εξαρτημένα του υποθετικού πιθανοτικού μοντέλου.

Σε αντίθεση με άλλους τομείς των μαθηματικών, οι συμβατικές μέθοδοι του στατιστικού συμπερασμού, πλήττονται από την απουσία αξιωματικής βάσης; με αποτέλεσμα, τα δικά τους προτεινόμενα ζητούμενα να είναι συνήθως αμοιβαία ασυμβίβαστα και η ανάλυση των ίδιων δεδομένων να οδηγεί σε ασυμβίβαστα αποτελέσματα όταν διαφορετικές, προφανής εύληπτες διαδικασίες δοκιμάζονται. Σε αξιοσημείωτη αντίθεση, οι Bayesian προσεγγίσεις στον στατιστικό συμπερασμό είναι σταθερά βασισμένες σε **αξιωματικά θεμέλια**, τα οποία παρέχουν μία ενοποιημένη λογική δομή, και εγγυούνται την αμοιβαία συνεκτικότητα των προτεινόμενων μεθόδων. Οι Bayesian μέθοδοι αποτελούν ένα πλήρη πρότυπο για στατιστικό συμπερασμό, μία επιστημονική επανάστασή.

Οι Bayesian στατιστικές απαιτούν μόνο τα μαθηματικά της θεωρίας των πιθανοτήτων και την αποδιδόμενη έννοια της πιθανότητας, η οποία περισσότερο ανταποκρίνεται στην κλασσική χρήση της λέξης στην καθομιλουμένη. Οι πραγματικές συνέπειες της υιοθέτησης αυτού του προτύπου, είναι εκτεταμένες. Οντως, οι Bayesian μέθοδοι περιόρισαν τον στατιστικό συμπερασμό σε προβλήματα θεωρίας των πιθανοτήτων, και με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποίησαν την ανάγκη για εντελώς νέες έννοιες και φρόντισαν να ξεχωρίσουν μεταξύ των συμβατικών στατιστικών τεχνικών, είτε παρέχοντας μία λογική δικαιολόγηση για κάποιες (κάνοντας σαφής τις συνθήκες κάτω από τις οποίες είναι έγκυρες), είτε παρέχοντας την λογική αντίφαση κάποιων άλλων.

Η βασική συνέπεια αυτών των θεμελίων είναι η μαθηματική ανάγκη για να περιγράψει, με την μέση τιμή κατανομών πιθανοτήτων, όλες οι παρούσες αβεβαιότητες μέσα στο πρόβλημα. Πιο συγκεκριμένα, οι άγνωστες παράμετροι στο πιθανολογικό μοντέλο πρέπει να έχουν μία κοινή κατανομή πιθανοτήτων η οποία να περιγράφει την υπάρχουσα πληροφορία σχετικά με τις τιμές τους. Αυτό συνήθως θεωρείται ως το χαρακτηριστικό στοιχείο της Bayesian προσέγγισης. Παρατηρείτε ότι οι παράμετροι αντιμετωπίζονται ως τυχαίες μεταβλητές μέσα στο Bayesian πρότυπο. Αυτό δεν είναι μία περιγραφή της μεταβλητότητας τους αλλά μία περιγραφή της αβεβαιότητας ως προς την πραγματική τους τιμή.

Ένα σημαντικό συγκεκριμένο θέμα προκύπτει όταν είτε καμία σχετική προηγούμενη πληροφορία δεν είναι ευχερώς διαθέσιμη, ή όταν αυτή η πληροφορία είναι υποκειμενική και επιθυμείτε μία θεωρητικά «αντικειμενική» ανάλυση, μία η οποία είναι κατά αποκλειστικότητα βασισμένη σε αποδεκτές υποθέσεις του μοντέλου και δεδομένων καταλληλά στοιχειοθετημένων. Αυτό το θέμα διευθετείται από την «**Reference Analysis**» η οποία χρησιμοποιεί πληροφοριακά-θεωρητικά σενάρια για αντλήσει κατάλληλες πηγαιές μεταγενέστερες κατανομές, καθορισμένες να συμπεριλάβουν επαγωγικά συμπεράσματα πάνω στις ποσότητες ενδιαφέροντος μόνο βασισμένες στο υποθετικό μοντέλο και τα παρατηρούμενα δεδομένα.

Όταν αναλύονται αριθμητικά δεδομένα που υπόκεινται σε τυχαία αβεβαιότητα, των οποίων η συλλογή έχει γίνει με επιστημονικές τεχνικές (όπως για παράδειγμα

μετρήσεις που αφορούν το πάχος των ελασμάτων), πρώτα πρέπει να γίνει μελέτη των δεδομένων, πριν εφαρμοστεί οποιαδήποτε επίσημη στατιστική τεχνική (χρησιμοποιώντας σχετικά ιστογράμματα συχνότητας, πίνακες με ενδεχόμενα κτλ.). Πολύπλοκα σύνολα δεδομένων χρειάζονται αρκετές ώρες ή ακόμα και εβδομάδες για να μελετηθούν. Όπως αναφέραμε και παραπάνω, όταν μελετάμε βάσεις δεδομένων, θα πρέπει να έχουμε υπόψιν το γεγονός ότι τα δεδομένα δεν είναι απλά κάποιοι αριθμοί, αλλά μετρήσεις που καθορίζουν την αληθινή οντότητα των πραγμάτων. Αυτό σημαίνει, ότι τα όποια τελικά αποτελέσματα δίδονται με τέτοιο τρόπο ώστε η σημασία τους να σχετίζεται με αυτές τις οντότητες, το αληθινό ιστορικό των δεδομένων και τον τρόπο που έγινε η συλλογή. Όσον αφορά την εξέταση των δεδομένων, πολλές φορές μπορεί να ανακαλύψουμε κάποιο χαρακτηριστικό που να έχει τη δυνατότητα να αποδώσει ένα αποφασιστικό αποτέλεσμα. Σε αυτή την περίπτωση, ίσως δεν είναι αναγκαίο και τεχνικά εφικτό να προχωρήσουμε σε μία πιο επίσημη ανάλυση.

Για πλήθος συνόλων δεδομένων παρουσιάζει επιστημονικό, κοινωνικό ή οικονομικό ενδιαφέρον, ο σχηματισμός συμπερασμάτων για άγνωστες παραμέτρους (όπως η πυκνότητα ενός ρευστού, η σταδιακή ανάρρωση ασθενών που υπόκεινται σε μία συγκεκριμένη θεραπεία κτλ.) είτε η δυνατή πρόβλεψη μελλοντικών παρατηρήσεων, δεδομένων των τωρινών και προηγούμενων παρατηρήσεων (π.χ. οικονομικά προγνωστικά, πρόγνωσης του καιρού, προβλέψει αστοχίας υλικών κτλ.). Τότε κρίνεται χρήσιμο να μορφοποιήσουμε την τυχαία μεταβλητότητα ή αβεβαιότητα των δεδομένων, χρησιμοποιώντας κάποιο μαθηματικό μοντέλο, το οποίο λαμβάνει τις αριθμητικές παρατηρήσεις σαν σαφή συναίσθηση των τυχαίων μεταβλητών, των οποίων οι κατανομές των τομών τους συμπεριλαμβάνουν το μαθηματικό και δειγματοληπτικό μοντέλο.

Ένα δεύτερο σημαντικό στοιχείο που πρέπει να κατανοήσουμε είναι πως τα αληθινά και ορθολογικά μοντέλα είναι διαθέσιμα μόνο σε περιορισμένες καταστάσεις. Σε πολλές περιπτώσεις, μία ποικιλία από διαφορετικά μοντέλα έχει τη δυνατότητα να παρουσιάσει ένα σύνολο δεδομένων με ένα πεπερασμένο αριθμό (n) παρατηρήσεων. Όσον αφορά το ποιο μοντέλο θα χρησιμοποιήσουμε, εξαρτάται μερικώς από τη στατιστική τεχνική, αλλά και από τη σημασία και τη χρησιμότητα του μοντέλου σχετικά με το πραγματικό περιεχόμενο των δεδομένων.

Δίδοντας ένα συγκεκριμένο δειγματοληπτικό μοντέλο, η ερώτηση κλειδί είναι: πώς θα μπορούσε ο αρμόδιος στατιστικολόγος να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα για να σχηματίσουν συμπεράσματα που προέρχονται από άγνωστες παραμέτρους που εμφανίζονται στο μοντέλο; Έχοντας ως δεδομένο το περιεχόμενο του μοντέλου δειγματοληψίας, όλες οι πληροφορίες των δεδομένων συνοψίζονται στη λειτουργία της διαδικασίας εύρεσης της αντίστροφης πιθανότητας. Η ιδέα της διαδικασίας εύρεσης των αντίστροφων πιθανοτήτων (likelihood) συνδέει όλο το κύριο περιεχόμενο των στατιστικών και παρέχει ένα θεμέλιο για τη διαδικασία αυτή, η οποία βασίζεται στη θεωρία του Bayes.

Είναι πιθανό να σχηματιστούν αντικειμενικά αποδεκτές λύσεις από τα δεδομένα που έχουμε, όταν κατάλληλη τυχαιότητα παρουσιάζεται στο σχεδιαστικό στάδιο, με περισσότερη προσοχή στο εκάστοτε πείραμα, ώστε να ανιχνευθούν ατυχή συμπεράσματα. Για μη ελεγχόμενα δεδομένα, ένα κατάλληλο μοντέλο μπορεί να είναι

πιο δύσκολο να βρεθεί και οποιαδήποτε αποτέλεσμα είναι υποκειμενικό και υπόκειται στην επίδραση των «κρυμμένων-lurking» ή «μπερδεμένων-confounding» μεταβλητών. Γενικά, τα αποτελέσματα υπόκεινται στη «σκιά» της υποκειμενικότητας («shades of subjectivity»), εξαρτώμενα από τον τρόπο που συλλέγονται οι πληροφορίες. Για παράδειγμα, οι Brown (Brown, 1997) αντιμετωπίζουν δυσκολίες στη συλλογή ενός τυχαίου δείγματος, ενώ γίνεται έρευνα πρωταρχικής φροντίδας των ασθενών που πάσχουν από αλκοολισμό ή κάνουν χρήση ναρκωτικών ουσιών. Τα άτομα που ασχολούνταν με αυτό το είδος των συνεντεύξεων για να συλλέξουν τις πληροφορίες σχετικά με το θέμα, δechόντουσαν σημαντικές πιέσεις λόγω του ότι ο χρόνος που είχαν στη διάθεσή τους ώστε να ολοκληρωθεί η έρευνά τους εξαρτιόταν από τις εκάστοτε κλινικές στις οποίες απευθύνονταν. Συνεπώς, τα αποτελέσματα χρειάζονταν να είναι αναλόγως ικανοποιητικά. Υπάρχουν ακόμα συχνά προβλήματα με την επιλεκτική έκθεση των αξιόλογων αποτελεσμάτων (Dawid και Dickey, 1997). Επίσης, το μέγεθος του δείγματος θα πρέπει να επιλεγεί με προσοχή στο σχεδιαστικό στάδιο (Doney, 1984).

Τα στατιστικά στοιχεία που προέρχονται από τις διαδικασίες που βασίζονται στις θεωρίες των Bayes και Fisher εξαρτώνται κατά πολύ από το περιεχόμενο της ιδέας των πιθανοτήτων (probability). **Τι είναι πιθανότητα;**

Για ένα στατιστικό πείραμα E, με διάστημα δειγμάτων S, οι μαθηματικοί θα μας πουν πως η κατανομή μιας πιθανότητας $p(\cdot)$ είναι μία καλώς ορισμένη και εκτιμώμενη λειτουργία που καθορίζει όλα τα γεγονότα (τα γεγονότα είναι μετρήσιμα υποσύνολα) που περιέχονται στο S και ικανοποιούν τα αξιώματα Kolmogorov (Leonard & Hsu, 1999).

Υπάρχουν, λοιπόν, τρεις τύποι πιθανοτήτων:

- **Κλασσική πιθανότητα (classical probability)**

Αυτή καθορίζεται από k αποτελέσματα και το διάστημα με τα k αυτά στοιχεία που συμβολίζεται $S=[e_1, e_2, \dots, e_k]$. Τα στοιχεία υποθέτουμε ότι είναι ισοδύναμα.

Θεωρούμε, ακόμα, το γεγονός A το οποίο αποτελείται από m αποτελέσματα, τα οποία αποτελούν στο σύνολό τους υποσύνολο των k αποτελεσμάτων. Θεωρούμε ισοδύναμα πιθανά αποτελέσματα με αντικειμενικό τρόπο, έτσι ώστε όταν το στοιχείο το διαλέγουμε τυχαία από τα k αποτελέσματα ή η ισοδυναμία αυτών των στοιχείων ελέγχεται από τις πολυάριθμες φορές που εκτελείται το πείραμα κάτω από τις ίδιες συνθήκες, τότε η πιθανότητα $p(A)$ του γεγονότος A, ορίζεται από τον εξής τύπο:

$p(A) = m/k$, αναφέροντάς την και σαν «αντικειμενική κλασσική πιθανότητα» («objective classical probability»). Όταν όμως η ισοδυναμία των πιθανοτήτων για τα στοιχεία του συνόλου είναι υποκειμενική, τότε η πιθανότητα $p(A) = m/k$ αναφέρεται σαν «υποκειμενική κλασσική πιθανότητα» («subjective classical probability»).

- **Πιθανότητα συχνοτήτων** (frequency probability)

Αυτή καθορίζεται από την εξίσωση $p(A) = \text{prob}(Y \in A)$ και είναι η πιθανότητα ενός γεγονότος που μας δείχνει την αναλογία των φορών που συμβαίνει ένα γεγονός ύστερα από ένα μεγάλο πλήθος εκτέλεσης ενός πειράματος. Η αντικειμενική κλασική πιθανότητα παρέχει ένα παράδειγμα της πιθανότητας συχνοτήτων.

Συνεπώς, σύμφωνα με την κλασική πιθανότητα μιας ρουλέτας που είναι $9/19$, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της μακροπρόθεσμης απόδοσης της ρουλέτας. Στον προηγούμενο τύπο, ο οποίος μας δίνει την πιθανότητα συχνοτήτων, υπάρχει το σύμβολο Y , το οποίο είναι ένα αριθμητικό σύνολο τιμών, που περιέχει τυχαίες μεταβλητές η και κάποια κατανομή πιθανοτήτων P , η οποία καθορίζεται στα γεγονότα του συνόλου S . Για κάθε γεγονός A που εμπεριέχεται στο S , έχουμε τον προαναφερθέν τύπο, ο οποίος ισούται και με το όριο του m στο άπειρο της συνάρτησης $f_m(A)$, η οποία δηλώνει τη σχετική συχνότητα (την αναλογία των φορών που παρουσιάζεται το $y \in A$) των y που ανήκουν στο A , κατά τη διάρκεια των m εκτελέσεων του πειράματος E .

- **Υποκειμενική πιθανότητα** (subjective probability)

Αυτή μετράει την ατομική αβεβαιότητα σε ένα γεγονός και ποικίλει από άτομο σε άτομο. Οι πιθανότητες αυτές εκτιμώνται από την εξέταση για το αν τα γεγονότα A είναι ισοδύναμα να πραγματοποιηθούν σαν γεγονότα από ένα αντικειμενικό και βοηθητικό πείραμα. Ακόμα, θα μπορούσαμε να προσδιορίσουμε τις πιθανότητες για όλα τα γεγονότα A που είναι υποσύνολα του S και να διασφαλίσουμε πως οι πιθανότητες ικανοποιούν τα αξιώματα Kolmogorov. Ένα άτομο που πάντα προσπαθεί να αναπαραστήσει την αβεβαιότητά του από μία υποκειμενική κατανομή πιθανότητας, αναφέρεται ως «Bayesian».

Γενικότερα, ένας αριθμός μεταξύ του μηδέν και της μονάδας μπορεί να θεωρείται σαν μία πιθανότητα μόνο αν όλα τα άλλα γεγονότα στο σύνολο S είναι πιθανά ενδεχόμενα, οι πιθανότητες καθορίζονται σε κάθε γεγονός και οι κανόνες των πιθανοτήτων ικανοποιούνται από ολόκληρη τη συλλογή των πιθανοτήτων («probability distribution»). Πολλές πιθανότητες που είναι σχετικές με την επιστήμη και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης δεν ικανοποιούν αυτές τις συνθήκες. Για ένα διάστημα συνόλου ενδεχομένων γεγονότων με είτε πολλά αποτελέσματα είτε αποτελέσματα τα οποία μπορούν να είναι τακτοποιημένα σε μία μεγάλου μήκους αλληλουχία, είναι αποδοτικό να ελεγχθεί πως οι τιμές προσδιορίζονται στα ατομικά αποτελέσματα με άθροισμα τη μονάδα. Θεωρούνται καταστάσεις όπου κατέχουν κάποιες πληροφορίες σχετικά με μία άγνωστη παράμετρο θ , της οποίας οι τιμές ανήκουν σε ένα παραμετρικό διάστημα Θ .

Τότε ένα μεγάλο ερώτημα είναι αν μπορούμε να αναπαραστήσουμε αυτή την πληροφορία από μία υποκειμενική κατανομή πιθανότητας που έχει να κάνει με το Θ .

Κάποιες εκδοχές βασισμένες στο Bayes υποστηρίζουν ότι θα μπορούσαμε να αναπαριστούμε την πληροφορία μας με μία υποκειμενική κατανομή πιθανοτήτων του Θ , αφού υπάρχουν κάποια πολύ απλά αξιώματα τα οποία μας λένε πως αν δεν ενεργήσεις με αυτό τον τρόπο, τότε είσαι παράλογος, ασυνάρτητος και γενικά χαμένος! Εμείς δε συμφωνούμε με αυτό τον τύπο λογικής προσέγγισης, διότι δεν γνωρίζουμε το σύστημα του αξιώματος που είναι αρκετά απλό, όταν συγκρίνεται με τα αξιώματα Kolmogorov, για να δικαιολογηθεί η άποψη αυτή. Επίσης, κάποιες πληροφορίες όπως οι ιατρικές γνώσεις ή αποδείξεις ίσως είναι εκλεκτές ώστε να μπορούν να εκπροσωπηθούν από πιθανότητες (για περισσότερες παραδοσιακές προσεγγίσεις βάσει της θεωρίας του Bayes, βλέπε Bernardo και Smith, 1994 (Bernardo, 1994)). Πολλοί αρμόδιοι ερευνητές που ακολουθούν τις απόψεις και θεωρίες του Bayes πιστεύουν πως η αβεβαιότητα σε οποιοδήποτε γεγονός αντιπροσωπεύεται από μία πιθανότητα.

Υπάρχουν θέματα που συμπεριλαμβάνουν συγκεκριμένα κριτήρια πληροφοριών, τα οποία συμβολίζονται AIC και BIC, διαμορφωμένα από τους Akaike και Schwartz. Αυτά βοηθούν στο να ληφθούν αποφάσεις ανάμεσα σε διαφορετικές επιλογές δειγματοληπτικών μοντέλων. Είναι διαθέσιμα ώστε να διαχειρίζονται κάθε παράμετρο της λογαριθμικής λειτουργίας εύρεσης των πιθανοτήτων. Τα κριτήρια αυτά είναι απόλυτα δικαιολογημένα και συγκρινόμενα με βάση την υπολογιστική προσομοίωση των συνόλων των παρατηρήσεων από συγκεκριμένες επιλογές του δειγματοληπτικού μοντέλου τους. Παρόλα αυτά, είναι επίσης σημαντικό να θεωρήσουμε όλες τις πιθανές διαγνώσεις, όπως για παράδειγμα υπολειμματικές αναλύσεις για παλινδρομικά μοντέλα, όταν συγκρίνονται τα μοντέλα μεταξύ τους, και ακόμα να θεωρήσουμε την ορθή και επιστημονική λογική των αρμοδίων με το θέμα.

Κάθε επίσημη στατιστική διαδικασία, είτε για λήψη συμπερασμάτων σχετικά με τις παραμέτρους, πρόβλεψη μελλοντικών παρατηρήσεων, είτε επιλογή ενός δειγματοληπτικού μοντέλου, θα μπορούσε να κατέχει επιθυμητές μακροπρόθεσμες ιδιότητες συχνότητας. Σε καταστάσεις που δεν μπορούν να αναπτυχθούν με θεωρητικό τρόπο, οι προσομοιώσεις μέσω υπολογιστών μπορούν να παράγουν ακριβή και με μεγάλη σημασία αποτελέσματα. Διπλωματούχοι φοιτητές και ειδικοί ερευνών έχουν παρακινηθεί στο να δημιουργήσουν πρωτοφανείς στατιστικές διαδικασίες και να ελέγχουν τις νέες ιδέες τους χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις συχνότητας.

Οι Leonard και Hsu στο βιβλίο *Bayesians Methods* (Leonard & Hsu, 1999) περιγράφουν προσεγγιστικές διαδικασίες οι οποίες σχετίζονται με πολυποίκιλες λογικές εκτιμήσεις πιθανοτήτων και αναφέρουν το περιεχόμενο της μετατροπής των παραμέτρων ώστε να πετύχουν καλύτερη κατά προσέγγιση ομαλότητα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τον ερευνητή που ελέγχει αριθμητικά κάθε θεωρητική εισήγηση όταν χρησιμοποιούνται θεωρητικές προσεγγίσεις. Για παράδειγμα, μία προσεγγιστικά κατανομημένη τυχαία μεταβλητή X ίσως δεν αποδίδει τιμές για τις πιθανότητες $p(X < -1,96)$ και $p(X > 1,96)$, οι οποίες είναι κοντά στο 0.025. Μία λογική προσέγγιση και σχετικές μετατροπές παραμέτρων παρέχουν ένα κεντρικό θέμα σε μία ποικιλία από Bayesian ιδέες που αναπτύσσονται στο προαναφερθέν βιβλίο, τέτοιες ώστε η κατασκευή των αρχικών κατανομών για αρκετές παραμέτρους, υπολογιστικές διαδικασίες κάνοντας χρήση αξιόπιστου δείγματος, εκτιμήσεις σχετικές με το Laplace και δειγματοληψίας που έχει απορριφθεί.

4.2

Αβεβαιότητα

Η αβεβαιότητα μπορεί να περιγραφεί ως η έλλειψη της βεβαιότητας, μία κατάσταση όπου έχουμε περιορισμένη γνώση και μέσα στην οποία είναι αδύνατο να περιγράψουμε με ακρίβεια την υπάρχουσα κατάσταση ή κάποιο μελλοντικό αποτέλεσμα. Η λήψη αποφάσεων είναι μία διαδικασία που συνοδεύεται από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας. Και καθώς η λήψη αποφάσεων είναι ένα βασικό μέρος των διαδικασιών που ακολουθεί ένας μηχανικός, η κοινότητα των μηχανικών προσπαθεί τις τελευταίες δεκαετίες να διαχειριστεί την αβεβαιότητα μέσω καινοτόμων μεθόδων και έξυπνων συστημάτων. Η παρουσία της αβεβαιότητας στον κόσμο της επιστήμης, δημιούργησε την ανάγκη ανάπτυξης εργαλείων για την διεύθυνση ζητημάτων όπως η ανακρίβεια και η αλληλεξάρτηση των εκάστοτε γεγονότων. Το πιο αξιόπιστο εργαλείο για την μοντελοποίηση της αβεβαιότητας ήταν και είναι η θεωρία των πιθανοτήτων.

Ο Jensen (Jensen, 1996) πρότεινε έναν τρόπο για να ενσωματώσει τη αβεβαιότητα σε ένα σύστημα βασισμένο σε κανόνες, με το να επεκτείνει τους κανόνες παραγωγής στη ακόλουθη φιλοσοφία

IF κατάσταση με βεβαιότητα x THEN γεγονός με βεβαιότητα $f(x)$, όπου η f είναι κάποια συνάρτηση.

Το σύστημα συμπερασμού πρέπει να ανανεωθεί και διευρυνθεί με καινούριους κανόνες συμπερασμού. Έτσι θα εξασφαλιστεί η συνεκτικότητα των συλλογισμών υπό αβεβαιότητα. Για παράδειγμα, εάν x είναι η βεβαιότητα να προκύψει C από την A και y η βεβαιότητα να προκύψει C από την B , μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η βεβαιότητα του C είναι ο συμπερασμός μίας συνάρτησης $g(x,y)$.

Ειδικοί στον τομέα λήψεων αποφάσεων μοντελοποίησαν την κλασσική θεωρία των πιθανοτήτων σε μαθηματικά ακριβέστερο περιεχόμενο. Μέσω αυτών των μεθόδων, κατάφεραν να ποσοτικοποιήσουν συλλογισμούς κάτω από αβεβαιότητα. Σημαντικό ρόλο σε αυτό το σημείο διαδραμάτισε και η εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων (Vagias, 2010).

Ένα από τα πιο αποτελεσματικά εργαλεία για την διαχείριση και αναπαράσταση της αβεβαιότητας ήταν και είναι **τα πιθανοτικά γραφικά μοντέλα**, μία μέθοδος μοντελοποίησης που θα αναλυθεί παρακάτω.

4.3

Γραφικά μοντέλα

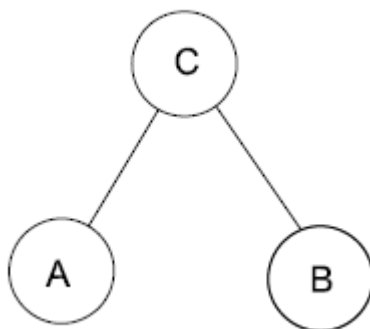
4.3.1

Γενικά

Το γραφικό μοντέλο είναι ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για οπτική απεικόνιση και για να δουλέψουμε υπό συνθήκες ανεξαρτησίες μεταξύ των μεταβλητών ενός προβλήματος. Δύο μεταβλητές οι οποίες είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητες δεν έχουν κάποια άμεση επίδραση μεταξύ των τιμών τους. Για παράδειγμα, το A είναι μία υπό συνθήκη ανεξάρτητη μεταβλητή από την C έχοντας ως δεδομένο το B , εάν $P(A|B, C) = P(A|B)$ (4.1). Επιπρόσθετα στο γραφικό μοντέλο, θα φανούν όποιες ενδιάμεσες μεταβλητές που χωρίζουν δυο υπό συνθήκη ανεξάρτητες μεταβλητές. Είναι μέσα από αυτές τις ενδιάμεσες μεταβλητές που δύο υπό συνθήκη ανεξάρτητες μεταβλητές επηρεάζουν η μία την άλλη.

Ένα γράφημα συντίθενται από ένα σύνολο κόμβων (που στα γραφικά μοντέλα αναπαριστούν τις μεταβλητές) και ένα σύνολο ακμών. Κάθε ακμή ενώνει δύο κόμβους, και μία ακμή μπορεί να έχει και προαιρετικά ορισμένη κατεύθυνση. Για τις κατευθυνόμενες ακμές, η ακμή πηγαίνει από τους «γονείς» στα «παιδιά». Για οποιαδήποτε δοθείσα ακμή μεταξύ δύο μεταβλητών, εάν υπάρχει αιτιολογική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, η ακμή πρέπει να είναι κατευθυνόμενη και να οδηγεί από την αιτία στο αιτιατό. Εάν υπάρχει απλά κάποιος συσχετισμός μεταξύ των δύο μεταβλητών, η ακμή δεν θα έχει κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση (Cowell, 1999). Οπότε έστω ότι έχουμε δυο υπό συνθήκη ανεξάρτητες μεταβλητές A και C . Αυτές οι δύο μεταβλητές είναι και δύο απευθείας αλληλοσχετιζόμενες με μία άλλη μεταβλητή, την B . Οπότε ενώνονται με ακμή οι κόμβοι που συνδέονται απευθείας μεταξύ τους, δηλαδή μεταξύ των $A - B$ και μεταξύ των $B - C$. Επιπλέον υποθέτουμε ότι η σχέση μεταξύ των $A - B$ και μεταξύ των $B - C$ δουλεύει εξίσου και προς τις δύο κατευθύνσεις, οπότε οι ακμές δεν έχουν κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζεται πως και τα A και C εξαρτώνται από την μεταβλητή B . Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία ακμή μεταξύ των A και C . Οπότε, τα A και C είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητα, δοθέντος του B . Να σημειωθεί ότι δεν είναι το ίδιο να πεις ότι τα A και C είναι εντελώς ανεξάρτητα. Αυτό μονάχα σημαίνει ότι η μεταβλητή B κωδικοποιεί πληροφορίες από την μεταβλητή A , που επιδρούν στην C και το ανάποδο.

Για κάθε μεταβλητή υπάρχει μία συνάρτηση κατανομής πιθανότητας (μπορεί να είναι συνεχής ή διακεκριμένη), που ο ορισμός της εξαρτάται από τις ακμές που οδηγούν σε αυτήν την μεταβλητή. Για παράδειγμα, η κατανομή πιθανότητας της μεταβλητής A εξαρτάται μόνο από την τιμή της μεταβλητής B ενώ η κατανομή πιθανότητας της μεταβλητής C στο Σχήμα 4.1 εξαρτάται ταυτόχρονα και από την τιμή της μεταβλητής A και την τιμή της μεταβλητής C .



Σχήμα 4.1

Οπότε ένα γραφικό μοντέλο αποτελείται από μεταβλητές (κόμβους) $K=\{1,2,\dots,k\}$ με ένα σύνολο εξαρτήσεων (ακμές) μεταξύ των μεταβλητών και ένα σύνολο συναρτήσεων κατανομών πιθανοτήτων για κάθε μία μεταβλητή.

4.3.2

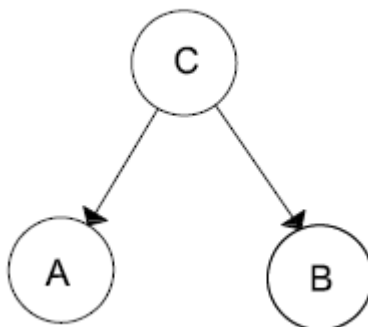
Bayesian Networks

4.3.2.1

Εισαγωγή στα Bayesian Networks

Τα Bayesian Networks (BN) είναι ένας συγκεκριμένος τύπος γραφικού μοντέλου. Ένα BN είναι ένας κατευθυνόμενος ακυκλικός γράφος ή Directed Acyclic Graph (DAG). Δηλαδή όλες οι ακμές του γράφου είναι κατευθυνόμενες και δεν υπάρχουν κυκλικές διευθύνσεις.

Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζεται ένα BN. Είναι ένα σύνολο ακμών $E= \{(C,A),(C,B)\}$. Αυτό συνιστά ένα DAG κατά πρώτον γιατί δεν υπάρχουν μη κατευθυνόμενες ακμές και κατά δεύτερον γιατί δεν υπάρχουν κύκλοι. Επιπλέον, αφού η μεταβλητή A και η B είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητες, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι $P(A|C, B) = P(A|C)$,



Σχήμα 4.2

το οποίο σημαίνει ότι, για την παραγοντοποίηση που παρουσιάζεται από αυτό το BN, η πιθανότητα του A εξαρτάται μόνο από το C και ότι η τιμή του B είναι άσχετη για αυτή την τοπική πιθανότητα. Με τον ίδιο τρόπο, μπορούμε να πούμε ότι $P(B|C, A) = P(B|C)$. Οι ακμές στα BN κωδικοποιούν μία συγκεκριμένη παραγοντοποίηση των κοινών κατανομών. Σε αυτό το παράδειγμα, η κοινή κατανομή όλων των παραμέτρων, παραγοντοποιημένη από το BN, είναι:

$$P(A, B, C) = P(A|C) \cdot P(C) \cdot P(B|C) \quad (4.2)$$

Και γενικά, με κόμβους $X=X_1, \dots, X_n$, η συνάρτηση της κοινής κατανομής για οποιοδήποτε BN είναι:

$$P(X) = \prod_{i=1}^k P(X_i | \text{PARENTS}(X_i)) \quad (4.3)$$

Η κοινή πιθανότητα όλων των μεταβλητών, είναι το προϊόν των πιθανοτήτων κάθε μίας μεταβλητής δεδομένου των τιμών των γονιών του. Αυτό δείχνει τη σημασία των κατευθυνόμενων ακμών, οι οποίες υποδεικνύουν με ποιες άλλες μεταβλητές, μία δοθείσα μεταβλητή εξαρτάται.

Τις ακμές στα BNs ορισμένες φορές τις βλέπουμε ως αιτιολογικές συνδέσεις όπου κάθε γονιός κόμβος προκαλεί μία επίδραση στα παιδιά του. **Ενώ αυτή η θεώρηση της αιτιότητας είναι χρήσιμη κατά την κατασκευή του BN πρέπει να σημειωθεί ότι η κοινή πιθανότητα, η οποία αντιπροσωπεύεται από ένα σύνολο ακμών μπορεί εξίσου να αντιπροσωπευτεί από ένα διαφορετικό σύνολο ακμών.**

Για παράδειγμα.

$$P(A|C) \cdot P(C) \cdot P(B|C) = \frac{P(C|A) \cdot P(A)}{P(C)} \cdot P(C) \cdot P(B|C) = P(C|A) \cdot P(A) \cdot P(B|C) \quad (4.4)$$

4.3.2.2

Θεωρία και Ορολογία

Έχοντας ορίσει τα Bayesian Networks, μπορούμε τώρα να παράσχουμε το θεωρητικό υπόβαθρο που χρειάζεται, η παραπάνω ανάλυση των BN. Αρχικά θα παρουσιάσω ορισμένα στοιχεία των πιθανοτήτων και έπειτα κάποια τμήματα της θεωρίας των γράφων. Για περισσότερες πληροφορίες μπορούμε να δούμε το έγγραφο του Neapolitan (Neapolitan, 1989) το οποίο παρέχει μία καλή βάση για την θεωρία των γράφων, από την σκοπιά των Bayesian Δικτύων.

Θεωρία Πιθανοτήτων

Ακολουθώς παραθέτουμε βασικούς ορισμούς από τη θεωρία πιθανοτήτων πάνω στην οποία στηρίζεται μεγάλο μέρος των όσων παρουσιάζουμε:

Κανόνες πιθανοτήτων

Οι δύο βασικοί κανόνες της θεωρίας πιθανοτήτων είναι οι ακόλουθοι:

- κανόνας του αθροίσματος: $p(x) = \sum_Y p(X, Y)$ (4.5)
- κανόνας του γινομένου: $p(X, Y) = P(Y|X) \cdot P(X)$ (4.6)

όπου $p(X, Y)$ είναι η από κοινού πιθανότητα των X και Y . Η ποσότητα $p(Y|X)$ είναι η υπό συνθήκη πιθανότητα, την οποία θα διαβάζουμε ως την πιθανότητα του Y δοθέντος X , ενώ η ποσότητα $p(X)$ είναι η περιθώρια πιθανότητα ή απλά η πιθανότητα του X .

Από τους ανωτέρω κανόνες προκύπτει το θεώρημα του Bayes το οποίο κατέχει σημαντικό ρόλο στη θεωρητική θεμελίωση των Bayesian δικτύων:

Θεώρημα του Bayes

$$p(Y|X) = \frac{p(X|Y) \cdot p(Y)}{p(X)} \quad (4.7)$$

Με την εφαρμογή του κανόνα του αθροίσματος, ο παρονομαστής στο θεώρημα του Bayes μπορεί να εκφραστεί με τους όρους των ποσοτήτων που εμφανίζονται στον αριθμητή:

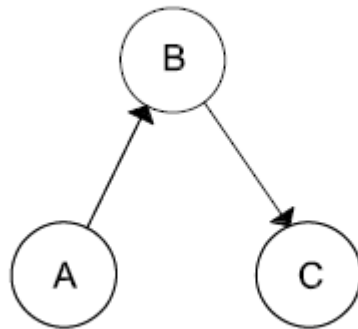
$$p(X) = \sum_Y p(X|Y) \cdot p(Y) \quad (4.8)$$

οπότε ο παρονομαστής λειτουργεί ως η σταθερά κανονικοποίησης που εξασφαλίζει ότι το άθροισμα της υπό συνθήκη πιθανότητας του αριστερού μέλους $p(Y|X)$ πάνω σε όλες τις τιμές του Y ισούται με τη μονάδα.

Θεωρία Γράφων

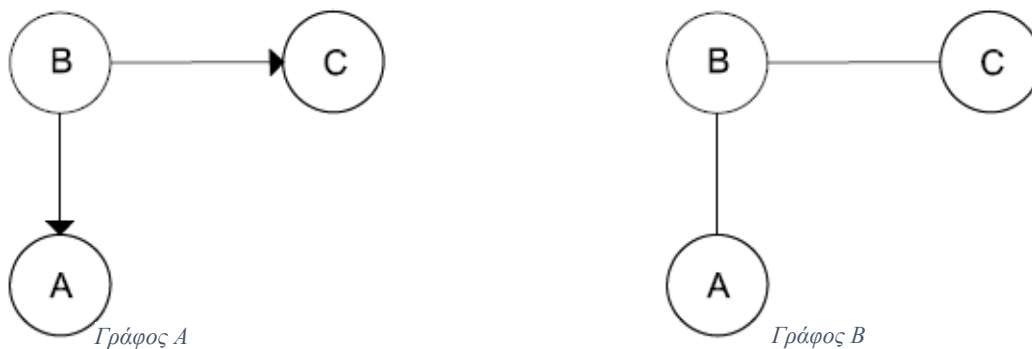
Ο Brualdi (Bruandi, 1992) ορίζει ως γράφο, ένα σύνολο κόμβων (που επίσης ονομάζονται και κορυφές) και ένα σύνολο ακμών (που επίσης ονομάζονται και τόξα), κάθε ακμή ενώνει δύο κόμβους.

Αυτό επίσης ονομάζεται και μη κατευθυνόμενος γράφος. Εάν οι δύο κορυφές μέσα κάθε ακμής είναι διατεταγμένες, τότε οι ακμές είναι κατευθυνόμενες και το γράφων ονομάζεται digraph (Directed GRAPH). Ο Brualdi παρουσιάζει και



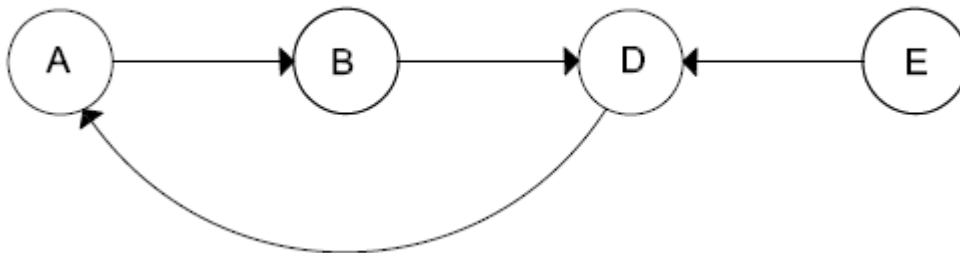
Σχήμα 4.3 : Ένα Bayesian Δίκτυο το οποίο απεικονίζει την ίδια κοινή πιθανότητα με αυτή στο Σχήμα 4.2. Η ακμή (B,A) έχει αναστραφεί και έχει γίνει (A,B) .

πολυγράφους και γενικούς κατευθυνόμενους γράφους, τα οποία επιτρέπουν πολλαπλές συνδέσεις μεταξύ οποιονδήποτε δυο κόμβων στους κατευθυνόμενους και μη γράφους αντίστοιχα. Οι ακόλουθες ιδιότητες ενός γράφου πραγματεύονται τον διακανονισμό όπου ακμές εμφανίζονται μεταξύ των κόμβων σε έναν γράφο ή κατευθυνόμενο γράφο.



Σχήμα 4.4 : Ο Γράφος A και ο Γράφος B έχουν τις ίδιες συνδέσεις μεταξύ των κόμβων τους, αλλά δεν είναι ίδιοι. Ο Γράφος A είναι κατευθυνόμενος, ενώ ο Γράφος B είναι μη κατευθυνόμενος.

Η **αλυσίδα**, είναι μία σειρά από κόμβους όπου κάθε διαδοχικός κόμβος στην αλυσίδα είναι συνδεδεμένος με τον προηγούμενο με μία ακμή (ανεξάρτητα από την κατεύθυνση, αν υπάρχει, της ακμής). Το **μονοπάτι**, είναι μία αλυσίδα με επιπλέον περιορισμούς, όπου κάθε συνδεδεμένη ακμή στην αλυσίδα πρέπει να έχει την ίδια κατεύθυνση με την κατεύθυνση της αλυσίδας. Ο **κύκλος**, είναι ένα μονοπάτι το οποίο ξεκινά και καταλήγει στον ίδιο κόμβο. Το **απλό μονοπάτι**, είναι ένα μονοπάτι με μοναδικούς κόμβους. Ο **απλό κύκλος**, είναι ένας κύκλος, όπου, εκτός από το αρχικό/τελικό κόμβο, όλοι οι υπόλοιποι κόμβοι είναι μοναδικοί. Ο **κατευθυνόμενο ακυκλικός γράφος (DAG)**, είναι ένας κατευθυνόμενος γράφος που δεν έχει κύκλους.



Σχήμα 4.5: Αλυσίδες και Μονοπάτια. Η ακολουθία των κόμβων A-B-C-D είναι μία αλυσίδα μήκους 3. Η ακολουθία A-B-C-B είναι ένα μονοπάτι μήκους 4. Η ακολουθία A-B-C είναι ένα απλό μονοπάτι μήκους 2. Η ακολουθία A-B-C-A-B-C-A είναι ένας κύκλος μήκους 6.

Η **σχέση γονιών/παιδιών** σε έναν κατευθυνόμενο γράφο συμβαίνει όταν υπάρχει ακμή (X_1, X_2) , από τον X_1 στον X_2 , όπου ο γονιός είναι ο X_1 και το παιδί ο X_2 . Η **σχέση προγόνων/απόγονων**, επιπλέον, είναι μία επέκταση της σχέσης γονιών/παιδιών. Για παράδειγμα, αν το X_1 είναι γονιός του X_2 και εάν ο X_2 είναι γονιός του X_3 , τότε ο X_1 είναι πρόγονος του X_3 και ο X_3 απόγονος του X_1 . Μία **γενεαλογική σειρά**, είναι η σειρά των κόμβων όπου κάθε πρόγονος έρχεται πριν τον αντίστοιχο απόγονο. Αυτή η περίπτωση είναι πάντα και η μόνη δυνατή στην περίπτωση του DAG. Μία **οικογένεια**, είναι ένα σύνολο κορυφών που συντίθεται από του κόμβους X και τους γονείς των X .

Δάσος, ονομάζεται ένας DAG όπου κάθε κόμβος έχει είτε ένα γονιό, είτε τίποτα. Το **δέντρο**, είναι ένα δάσος όπου μόνο ένας κόμβος δεν έχει γονιό.

Moralized γράφος, ονομάζεται ο γράφος που κατασκευάζεται από έναν DAG. Σε έναν DAG, παντρεύουμε τους γονείς κάθε κόμβου, το οποίο σημαίνει ότι προσθέτουμε μία μη κατευθυνόμενη ακμή μεταξύ των γονιών. Μετά από αυτό το βήμα, αφαιρούμε την κατεύθυνση από όλες τις αρχικές ακμές, καταλήγοντας σε ένα γράφο χωρίς κατεύθυνση.

Για ένα δοθέν μονοπάτι (ή κύκλο), **χορδή** ονομάζεται μία ακμή η οποία δεν εμφανίζεται στο μονοπάτι που είναι μεταξύ δύο κόμβων που προκύπτουν στο μονοπάτι.

Ο όρος **τριγωνικός**, περιγράφει έναν γράφο χωρίς κατεύθυνση, όπου κάθε ένας κύκλος με το λιγότερο τέσσερις κόμβους έχει επίσης και από μία χορδή. Να σημειωθεί ότι είναι δεν πιθανό να υπάρχει χορδή σε κύκλο με τρεις κόμβους.

Ο όρος **ολοκληρωμένο**, περιγράφει έναν γράφο χωρίς κατεύθυνση όπου κάθε κόμβος είναι συνδεδεμένος με όλους τους άλλους κόμβους.

Κλίκα, ονομάζεται ένα υποσύνολο κόμβων που είναι ολοκληρωμένο και δεν μπορεί να γίνει μεγαλύτερο και ταυτόχρονα να είναι ολόκληρο.

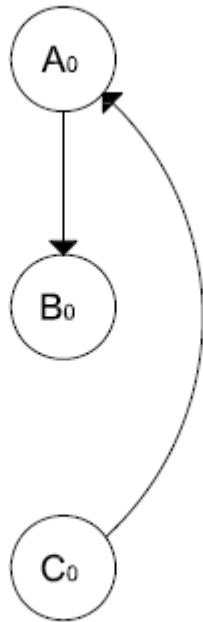
Κοινό δέντρο, ονομάζεται ένας DAG ο οποίος έχει γίνει τριγωνικός και ηθικός και στην συνέχεια οι κλίκες αποτελούν τους κόμβους ενός δέντρου.

4.4.3

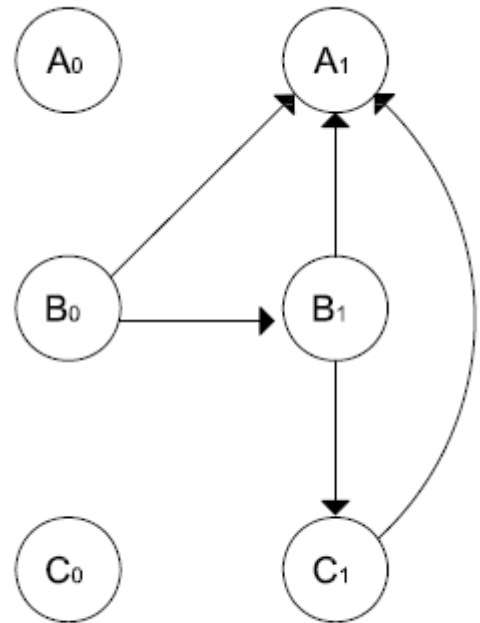
Dynamic Bayesian Networks

Στα Bayesian Networks όλες οι μεταβλητές αφορούν μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Το πώς μεταβάλλονται οι μεταβλητές στο πέρασμα του χρόνου, μπορεί να απεικονιστεί με τα Dynamic Bayesian Networks ή DBN (Δυναμικά Δίκτυα Πεποιθήσεως).

Για ένα DBN, τα ακόλουθα πρέπει να διευκρινιστούν: (1) ένα αρχικό δίκτυο και (2) ένα μεταβατικό δίκτυο. Στα Σχήμα 4.6 και Σχήμα 4.7 φαίνεται ένα παράδειγμα. Στο Σχήμα 4.6 απεικονίζονται οι προγενέστερες κατανομές πιθανοτήτων όλων των μεταβλητών του δικτύου για την χρονική στιγμή $t=0$, την αρχική χρονική φέτα. Στο Σχήμα 4.7 απεικονίζεται το μεταβατικό δίκτυο για το ίδιο DBN. Το μεταβατικό δίκτυο απεικονίζει, για όλες τις χρονικές στιγμές $t=1,2,\dots,n$, ποιες είναι οι κατανομές των πιθανοτήτων για κάθε μεταβλητή, υπο συνθήκη άλλων μεταβλητών (πιθανά από προηγούμενες χρονικές φάσεις).

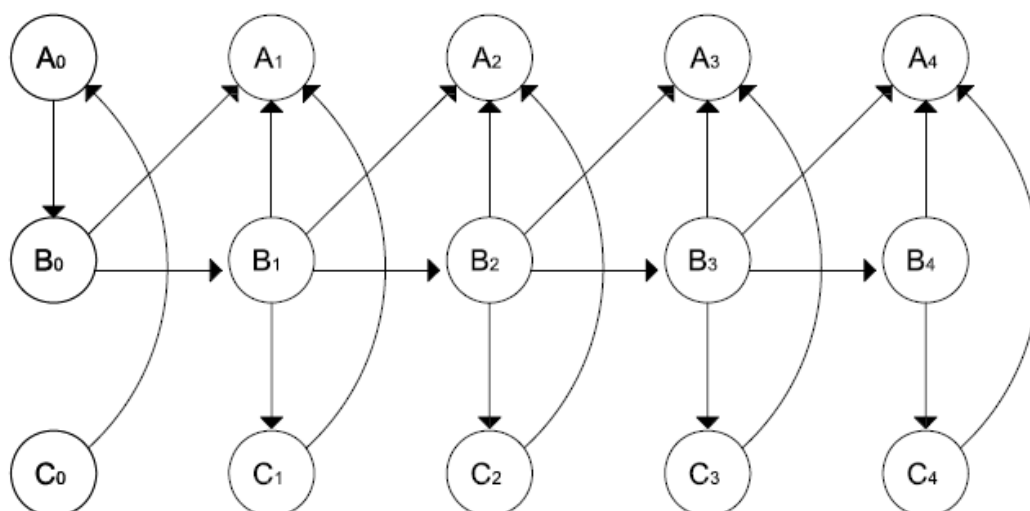


Σχήμα 4.6 : Ένα πιθανό αρχικό δίκτυο DBN με τρεις στατικές μεταβλητές A, B , και C .



Σχήμα 4.7 : Ένα πιθανό μεταβατικό δίκτυο για ένα DBN με τρεις στατικές μεταβλητές A, B και C .

Για ένα DBN, ο ορισμός του συνόλου των μεταβλητών και των κατανομών των πιθανοτήτων τους είναι ο ίδιος για κάθε χρονική φάση, με εξαίρεση το προγενέστερο δίκτυο στην αρχική χρονική φάση που έχει τις δικές του κατανομές. Έτσι, έχοντας το προγενέστερο και το μεταβατικό δίκτυο, μπορεί να κατασκευαστεί το DBN οποιουδήποτε μεγέθους όπως φαίνεται παρακάτω. Κατά την χρονική στιγμή 0, οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων και οι τοπικές συναρτήσεις πιθανοτήτων είναι οι ίδιες όπως και στο προγενέστερο δίκτυο. Έπειτα, για τις χρονικές στιγμές $t=1,2,\dots,n$ οι συνδέσεις μεταξύ των χρονικών στιγμών $t-1$ και t , οι συνδέσεις για τον χρόνο t και οι τοπικές συναρτήσεις πιθανοτήτων καθορίζονται από το μεταβατικό δίκτυο. Αυτή η διαμόρφωση εικάζει ότι αυτό είναι ένα πρώτου βαθμού Markov δίκτυο. Στο Σχήμα 5.8 απεικονίζεται ένα DBN για 5 χρονικές στιγμές, κατασκευασμένο από τα δίκτυα των δύο προηγούμενων σχημάτων.



Σχήμα 4.8: Ένα Dynamic Bayesian Network για 5 χρονικές στιγμές. Οι συνδέσεις για τον χρόνο 0 είναι οι ίδιες που απεικονίζονται στο προγενέστερο δίκτυο του Σχήματος 4.6, ενώ οι συνδέσεις των χρονικών στιγμών $t=1,2,3,4$ είναι όπως απεικονίζονται στο μεταβατικό δίκτυο του σχήματος 4.7.

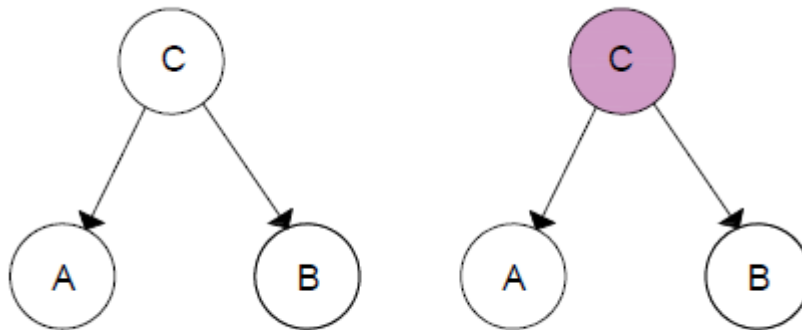
Τρία πλεονεκτήματα για την χρησιμοποίηση των DBN βάση του Zweig (Zweig & Russel, 1997) είναι ότι πρώτον εκμεταλλευόμενοι τις υπο συνθήκη ανεξαρτησίες των Bayesian δικτύων μπορεί να βελτιστοποιηθεί η παραγοντοποίηση της κοινής πιθανότητας και έτσι να μειωθεί ο αριθμός των μεταβλητών, δεύτερον η γενικότητα των αλγορίθμων του συμπερασμού και της μάθησης μπορεί να επιτρέψει στους ερευνητές να εξερευνήσουν με ευκολία διαφορετικές τοπολογίες με ίδιο, μη τροποποιημένο πρόγραμμα Bayesian μοντέλου και τρίτον το δέσιμο των μεταβλητών κατά μήκος όλων των χρονικών στιγμών μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό ενός καλύτερου πιο αποτελεσματικού μεταβατικού μοντέλου.

4.5

Υπο συνθήκη ανεξαρτησία

Αναφέρθηκε και παραπάνω ο συγκεκριμένος όρος, αλλά θα προσπαθήσουμε να το αναλύσουμε περαιτέρω, παραθέτοντας και αντίστοιχα σχέδια. Η υπό συνθήκη ανεξαρτησία παίζει σημαντικό ρόλο στα πιθανοτικά γραφικά μοντέλα καθώς απλοποιεί τη δομή των μοντέλων αυτών και τους υπολογισμούς που χρειάζονται για να κάνουμε επαγωγή συμπερασμάτων και μάθηση μεταβλητών ή/και δομής πάνω στο μοντέλο. Όπως θα δούμε στην παρακάτω παράγραφο της επαγωγής συμπερασμάτων, αν μας έχει δοθεί η έκφραση της από κοινού κατανομής πάνω σε ένα σύνολο μεταβλητών ως γινόμενο υπό συνθήκη κατανομών (δηλαδή η μαθηματική αναπαράσταση ενός κατευθυνόμενου μοντέλου), θα μπορούμε να ελέγξουμε αν οποιαδήποτε υπό συνθήκη ανεξαρτησία ισχύει εφαρμόζοντας επανειλημμένα τους κανόνες του αθροίσματος και του γινομένου της θεωρίας πιθανοτήτων. Όμως, στην πράξη, μία τέτοια προσέγγιση θα απαιτεί πολύ χρόνο. (Χριστακοπούλου, 2013)

Το γενικό πλαίσιο μέσα στο οποίο καταφέρνουμε να διαβάζουμε τις ιδιότητες της υπό συνθήκη ανεξαρτησίας απευθείας από το Bayesian Δίκτυο ονομάζεται **d-separation**, όπου το d σημαίνει directed. Ακολουθώντας, θα εξετάσουμε την έννοια της d-separation και τις υποπεριπτώσεις που συναντάμε, με τη χρήση σχετικών παραδειγμάτων γράφων που τις καταδεικνύουν.



Σχήμα 4.9: Πρώτο παράδειγμα γράφου με κόμβους A, B και C. Όταν δεν έχουμε και όταν έχουμε παρατηρήσει την τιμή C.

Το πρώτο από τα παραδείγματα (αποκλίνουσα σύνδεση) φαίνεται στο Σχήμα 4.9 και η από κοινού κατανομή πάνω στις μεταβλητές a, b, c είναι

$$p(A, B, C) = p(A|C)p(B|C)p(C) \quad (4.9)$$

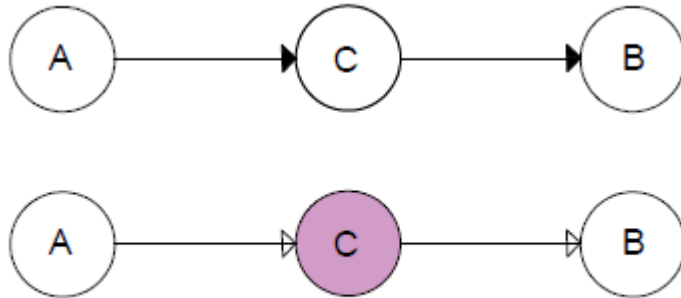
όπως προκύπτει από εφαρμογή του γενικού κανόνα 4.3. Αν καμία από τις μεταβλητές δεν παρατηρείται, μπορούμε να ελέγξουμε αν οι A, B είναι ανεξάρτητες

αθροίζοντας και τα 2 μέλη της 4.9 ως προς το c . Βλέπουμε ότι δεν παραγοντοποιείται σε γινόμενο των $p(A)p(B)$ οπότε δεν είναι ανεξάρτητες. Αν θέσουμε υπό συνθήκη το c , δηλαδή το παρατηρούμε, τότε ο γράφος αναπαρίσταται όπως δείχνει η εικόνα, με τον υπό παρατήρηση κόμβο σκιασμένο. Συνεπώς από 4.9, μπορούμε να γράψουμε:

$$P(A, B | C) = \frac{P(A, B, C)}{P(C)} = P(A|C) \cdot P(B|C) \quad (4.10)$$

οπότε έχουμε την ιδιότητα της υπό συνθήκης ανεξαρτησίας.

Αυτό το αποτέλεσμα μπορούμε να το αναπαραστήσουμε γραφικά αν θεωρήσουμε μονοπάτι από τον κόμβο A στον κόμβο B μέσω του κόμβου C. Ο κόμβος C θα λέμε ότι είναι **ουρά με ουρά (tail-to-tail)** όσον αφορά αυτό το μονοπάτι, διότι ο κόμβος αυτός είναι συνδεδεμένος με τις ουρές των δύο τόξων και η παρουσία ενός τέτοιου μονοπατιού κάνει τους δύο κόμβους να εξαρτώνται μεταξύ τους. Όμως, όταν παρατηρούμε τον κόμβο C, ο υπό συνθήκη κόμβος μπλοκάρει το μονοπάτι από το A στο B και κάνει τα A και B να είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητα.



Σχήμα 4.10: Το δεύτερο παράδειγμα γράφου πάνω στις A, B και C, όταν δεν έχουμε και όταν έχουμε παρατηρήσει την τιμή της C.

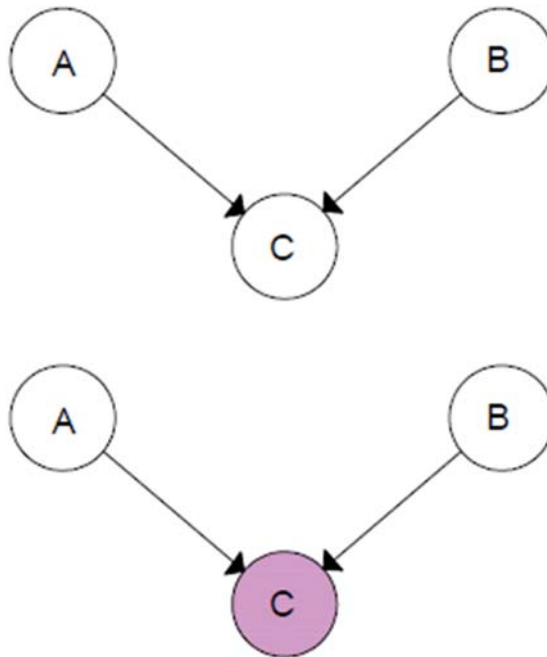
Στο δεύτερο παράδειγμα (σειριακή σύνδεση), ας θεωρήσουμε το γράφο που φαίνεται στο Σχήμα 4.10. Η από κοινού κατανομή που αντιστοιχεί σε αυτό το γράφο μπορεί και πάλι να αποκτηθεί από την εφαρμογή του κανόνα 4.3 και είναι

$$p(A, B, C) = p(A)p(C|A)p(B|C) \quad (4.11)$$

Πρώτα ας υποθέσουμε ότι καμία μεταβλητή δεν παρατηρείται, οπότε ομοίως με πριν μπορούμε να ελέγξουμε αν οι μεταβλητές A, B είναι ανεξάρτητες, αθροίζοντας και τα δύο μέλη της 4.11 ως προς την c . Βλέπουμε ότι προκύπτει ότι $p(A, B) = p(A)p(B|A)$ το οποίο γενικά δεν παραγοντοποιείται ως γινόμενο των περιθωρίων κατανομών. Αν τώρα παρατηρήσουμε τη μεταβλητή C, έχουμε

$$\begin{aligned} p(A, B|C) &= \frac{p(A, B, C)}{p(C)} = \frac{[p(A)p(C|A)]p(B|C)}{p(C)} = \frac{[p(C)p(A|C)]p(B|C)}{p(C)} \\ &= p(A|C)p(B|C) \quad (4.12) \end{aligned}$$

οπότε παρατηρούμε υπό συνθήκη ανεξαρτησία.



Σχήμα 4.11: Το τρίτο παράδειγμα πάνω στις A, B και C , όταν δεν έχουμε και όταν έχουμε παρατηρήσει την τιμή της C .

Ερμηνεύουμε και πάλι τα αποτελέσματα γραφικά. Ο κόμβος C θα λέμε ότι είναι **κεφάλι με ουρά (head-to-tail)** όσον αφορά αυτό το μονοπάτι, και η παρουσία ενός τέτοιου μονοπατιού κάνει τους δύο κόμβους να εξαρτώνται μεταξύ τους. Όμως, όταν παρατηρούμε τον κόμβο C , ο υπό συνθήκη κόμβος μπλοκάρει το μονοπάτι από το A στο B και κάνει τα A και B να είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητα.

Στο τρίτο και τελευταίο παράδειγμα (συγκλίνουσα σύνδεση), θεωρούμε το γράφο που φαίνεται στο Σχήμα 4.11. Όπως θα δούμε αυτός ο γράφος έχει περίεργη συμπεριφορά σε σχέση με τα δύο προηγούμενα παραδείγματα. Η από κοινού κατανομή που αντιστοιχεί σε αυτό το γράφο μπορεί να αποκτηθεί ως εξής από την 4.3,

$$p(A, B, C) = p(A)p(B)p(C|A, B) \quad (4.13)$$

Πρώτα ας υποθέσουμε ότι καμία μεταβλητή δεν παρατηρείται. Ομοίως, ελέγχουμε αν οι μεταβλητές A, B είναι ανεξάρτητες, αθροίζοντας και τα δύο μέλη της ως προς την C . Βλέπουμε ότι προκύπτει ότι $p(A, B) = p(A)p(B)$, οπότε χωρίς να έχουμε

καμία μεταβλητή υπό συνθήκη έχουμε ανεξαρτησία. Αν τώρα παρατηρήσουμε τη μεταβλητή c , έχουμε

$$p(A, B|C) = \frac{p(A, B, C)}{p(C)} = \frac{p(A)p(B)p(C|A, B)}{p(C)} \quad (4.14)$$

το οποίο γενικά δεν παραγοντοποιείται ως $p(A|C)p(B|C)$. Άρα, το τρίτο παράδειγμα έχει αντίθετη συμπεριφορά από τα προηγούμενα δύο.

Γραφικά, θα λέμε ότι ο κόμβος C είναι **κεφάλι-κεφάλι (head-to-head)** όσον αφορά το μονοπάτι μεταξύ των κόμβων A, B διότι συνδέει τα κεφάλια των δύο τόξων. Όταν ο κόμβος C δεν παρατηρείται, τότε μπλοκάρει το μονοπάτι και επομένως οι μεταβλητές κόμβος a και κόμβος b είναι ανεξάρτητες. Όμως, όταν παρατηρείται το c , είναι δηλαδή υπό συνθήκη, τότε ελευθερώνει το μονοπάτι και επομένως οι δύο μεταβλητές κόμβοι είναι εξαρτημένες. Επίσης, μπορεί να αποδειχθεί ότι ένα head-to-head μονοπάτι δεν θα είναι πια μπλοκαρισμένο αν είτε ο κόμβος είτε οποιοσδήποτε από τους απογόνους του, παρατηρείται.

Συνολικά, συμπεραίνουμε ότι ένας tail-to-tail κόμβος ή ένας head-to-tail κόμβος αφήνει το μονοπάτι ελεύθερο, εκτός και αν παρατηρείται. Αντίθετα, ένας head-to-head κόμβος μπλοκάρει το μονοπάτι αν δεν παρατηρείται, αλλά όταν ο κόμβος και ή ένας ή περισσότεροι από τους απογόνους του παρατηρείται τότε το μονοπάτι γίνεται ελεύθερο.

Οι τρεις περιπτώσεις που εξετάστηκαν παραπάνω καλύπτουν όλους τους τρόπους με τους οποίους οι αποδείξεις μπορούν να μεταδοθούν μέσω μιας μεταβλητής και ακολουθώντας τους κανόνες είναι δυνατό να αποφασίσουμε για κάθε ζεύγος μεταβλητών σε ένα αιτιολογικό δίκτυο εάν αυτά είναι εξαρτημένα δοσμένων των αποδείξεων που έχουν εισαχθεί στο δίκτυο. Οι κανόνες διατυπώνονται στα παρακάτω.

d-διαχωρισμός

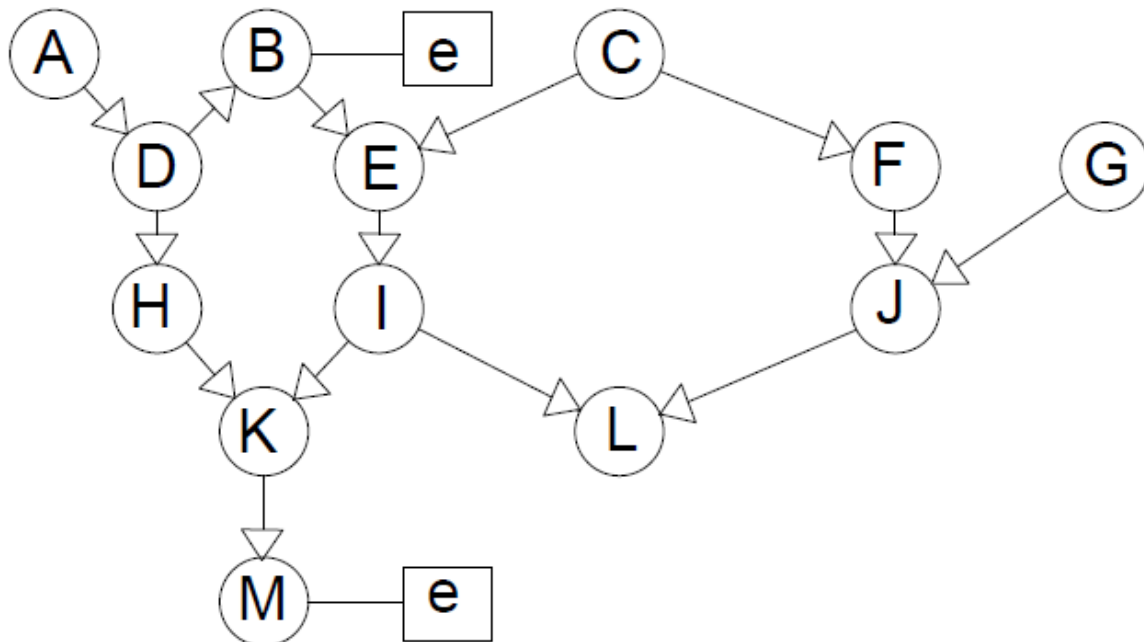
Δύο μεταβλητές A και B σε ένα αιτιολογικό δίκτυο είναι d -διαχωρισμένες εάν για όλα τα μονοπάτια μεταξύ των A και B υπάρχει μια ενδιάμεση τυχαία μεταβλητή V τέτοια ώστε:

- είτε η σύνδεση είναι σειριακή ή αποκλίνουσα και η κατάσταση της V γνωστή.
- είτε η σύνδεση είναι συγκλίνουσα και τόσο η V όσο και οι απόγονοι της δεν έχουν λάβει αποδείξεις.

Εάν τα A και B δεν είναι d -διαχωρισμένα τα καλούμε d -συνδεδεμένα.

Το Σχήμα 4.12 δίνει ένα παράδειγμα ενός μεγαλύτερου δικτύου. Το A είναι d -διαχωρισμένο μόνο από το G . Οι αποδείξεις που εισάχθηκαν στο B και το M αναπαριστούν το instantiation, δηλαδή το M και το B έχουν λάβει στιγμιαίες τιμές. Εάν αποδείξεις εισαχθούν στο A μπορεί να διαδοθούν στο D . Η μεταβλητή B είναι φραγμένη, έτσι οι αποδείξεις δεν μπορούν να περάσουν από το B στο E . Ωστόσο,

μπορούν να περάσουν στο Η και στο Κ. Εφόσον το παιδί, Μ, του Κ λαμβάνει αποδείξεις, οι αποδείξεις από το Η μπορούν να περάσουν στο Ι και επακόλουθα στα Ε, C, F, J, L. Έτσι, το μονοπάτι A-D-H-K-I-E-C-F-J-L είναι ένα d-συνδεδεμένο μονοπάτι.



Σχήμα 4.12

4.6

Συμπερασμός

Η βασική εργασία για οποιοδήποτε σύστημα πιθανοτικού συμπερασμού είναι ο υπολογισμός της εκ των υστέρων κατανομής πιθανοτήτων για ένα σύνολο μεταβλητών ερωτήματος, με δεδομένες τις τιμές κάποιων μεταβλητών μαρτυρίας (δεδομένα). Η εργασία αυτή καλείται **πιθανοκρατικός συμπερασμός** (probabilistic inference ή belief updating). Ο συμπερασμός στα δίκτυα Bayes είναι μία ευέλικτη διαδικασία καθώς οποιοδήποτε συμβάν μπορεί να ενσωματωθεί σε οποιοδήποτε κόμβο ενώ ταυτόχρονα οι εκ των υστέρων πιθανότητες των κόμβων μπορούν να ενημερωθούν.

Ο συμπερασμός σε δίκτυα που είναι απλές αλυσίδες απαιτεί συνήθως επαναλαμβανόμενη εφαρμογή του θεωρήματος του Bayes. Όταν ο συμπερασμός γίνεται σε απλές δενδρικές δομές χρησιμοποιούνται οι τοπικοί υπολογισμοί και η αποστολή μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων (ακριβείς αλγόριθμοι συμπερασμού). Όταν τα ζεύγη των κόμβων σε ένα δίκτυο Bayes συνδέονται με πολλαπλά μονοπάτια οι αλγόριθμοι συμπερασμού γίνονται πιο πολύπλοκοι αφού στη χειρότερη περίπτωση η πολυπλοκότητα γίνεται εκθετική του χρόνου και του χώρου ακόμα και όταν είναι φραγμένος ο αριθμός των γονέων ανά κόμβο. Σε ακόμα πιο πολύπλοκες περιπτώσεις επιβάλλεται η χρήση προσεγγιστικών αλγορίθμων συμπερασμού (Paragiannopoulou, 2013).

Ο συμπερασμός είναι μία λειτουργία υπολογισμού των πιθανοτήτων κάθε τιμής των κόμβων σε ένα BN όταν οι τιμές άλλων μεταβλητών είναι γνωστές. Ενώ υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι για την εκτέλεση αυτής της λειτουργίας στα BN, θα παρουσιάσουμε τον λεγόμενο Junction Tree αλγόριθμο, ο οποίος δουλεύει για οποιοδήποτε αυθαίρετο BN. Ωστόσο, πριν μπούμε στην διαδικασία περιγραφής αυτού του γενικού αλγορίθμου, θα κάνουμε μία αρχική εισαγωγή του τι περιλαμβάνει ο συμπερασμός χρησιμοποιώντας ένα απλό Bayesian Network. Στην συνέχεια θα ακολουθήσει μία εισαγωγή της διάδοσης της πεποίθησης (belief propagation), το οποίο αποτελεί το θεμέλιο λίθο του junction tree αλγορίθμου.

4.6.1

Εισαγωγή στο συμπερασμό

Ο Heckerman (Heckerman, 1999) δίνει ένα παράδειγμα Bayesian Network που μοντελοποιεί την απάτη μέσω πιστωτικής κάρτας, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.10.

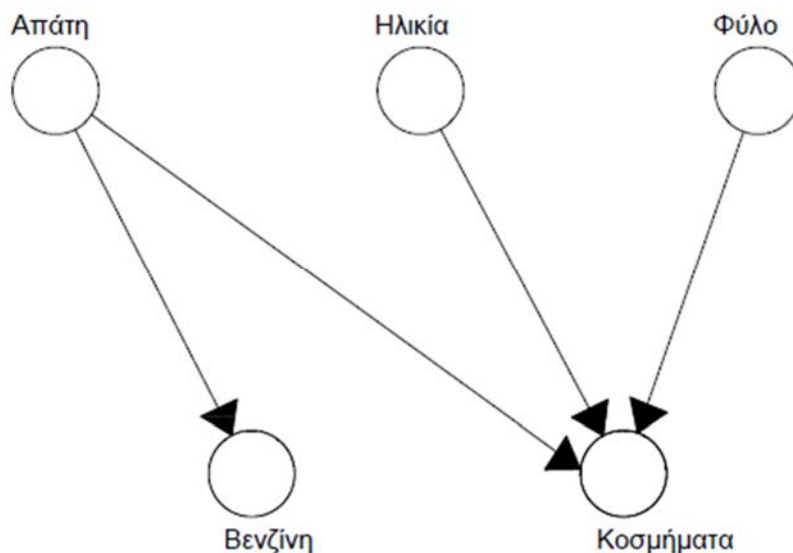
Οι μεταβλητές του δικτύου είναι $A = \text{Απάτη}$, $K = \text{Κοσμήματα}$, $B = \text{Βενζίνη}$, $\Phi = \text{Φύλο}$ και $H = \text{Ηλικία}$

Από αυτό το Bayesian Network, όπως μπορούμε να δούμε, για παράδειγμα, ότι αν υπάρχει ένα σενάριο απάτης πιστωτικής κάρτας, τότε οι πιθανότητες αγοράς βενζίνης ή κοσμημάτων επηρεάζονται. Επίσης, η πιθανότητα αγοράς κοσμημάτων επηρεάζεται επιπλέον από την ηλικία και το φύλο του αγοραστή. Στον πίνακα 4.1 υποδεικνύονται οι πιθανότητες που σχετίζονται με κάθε μεταβλητή του δικτύου. Για παράδειγμα, μπορούμε να δούμε ότι εάν η μεταβλητή Απάτη γίνει Ναι, τότε θα είναι 0.2 η πιθανότητα η μεταβλητή Βενζίνη να γίνει Ναι. Αυτές οι διαφορετικές πιθανότητες κοινώς αναφέρονται ως πεποιθήσεις (beliefs) (Heckerman, 1999).

Ο συμπερασμός στα Bayesian Networks πάει ως ακολούθως. Ας υποθέσουμε ότι παρατηρούμε μία συγκεκριμένη τιμή για μία ή παραπάνω μεταβλητές του δικτύου. Εάν μία μεταβλητή έχει συγκεκριμένη (παρατηρούμενη) τιμή, οι πεποιθήσεις μας (πιθανότητες) για τις άλλες μεταβλητές πρέπει να αναθεωρηθούν.

Από μόνες τους, η προγενέστερη πιθανότητα της Απάτης δίδεται $P(\text{Απάτη} = \text{Ναι}) = 0.00001$. Ωστόσο, παρατηρούμε ότι ένας νεαρός άνδρας χρησιμοποιώντας πιστωτική κάρτα, αγοράζει κοσμήματα (αλλά όχι βενζίνη). Αυτό είναι $\text{Φύλο} = \text{Άνδρας}$, $\text{Ηλικία} = < 30$, $\text{Κοσμήματα} = \text{Ναι}$, $\text{Βενζίνη} = \text{Όχι}$ (Πίνακας 4.2). Οπότε μετα θέλουμε να βγάλουμε το συμπέρασμα αν η χρήση αυτής της πιστωτικής κάρτας αποτελεί απάτη. Με άλλα λόγια θέλουμε να υπολογίσουμε το ακόλουθο, βάση του κανόνα του Bayes

$$P(A|K, B, \Phi, H) = \frac{P(K, B, \Phi, H, A)}{P(K, B, \Phi, H)} \quad (4.15)$$



Σχήμα 4.13: Ένα Bayesian Network από το Heckerman (1999) το οποίο απεικονίζει την πιστωτική απάτη. Έχουμε 5 μεταβλητές σε αυτό το δίκτυο. Η αλληλοεξάρτηση τους φαίνεται στο συγκεκριμένο σχήμα.

Πίνακας 4.1

Πιθανότητα			Καταστάσεις		
			Απάτη	Ηλικία	Φύλο
Απάτη = Ναι	Απάτη = Όχι				
0.00001	0.99999				
Ηλικία<30	Ηλικία= 30-50	Ηλικία>50			
0.25	0.4	0.35			
Φύλο= Άνδρας	Φύλο= Γυναίκα				
0.5	0.5				
Βενζίνη= Ναι	Βενζίνη= Όχι				
0.2	0.8		Ναι		
0.01	0.99		Όχι		
Κοσμήματα=Ναι	Κοσμήματα= Όχι				
0.05	0.95		Ναι	*	*
0.0001	0.9999		Όχι	<30	Άνδρας
0.0004	0.9996		Όχι	30-50	Άνδρας
0.0002	0.9998		Όχι	>50	Άνδρας
0.0005	0.9998		Όχι	<30	Γυναίκα
0.002	0.998		Όχι	30-50	Γυναίκα
0.001	0.999		Όχι	>50	Γυναίκα

Σε αυτό το παράδειγμα έχουμε ένα σύνολο από μία άγνωστη μεταβλητή και τέσσερις παρατηρούμενες. Αυτές οι παρατηρούμενες μεταβλητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει μία ανανέωση της κατανομής της πιθανότητας της μεταβλητής Απάτη.

Πίνακας 4.2

Μεταβλητές	Απάτη	Κοσμήματα	Βενζίνη	Φύλο	Ηλικία
Τιμή	;	Ναι	Όχι	Άνδρας	<30

Λόγω του ότι οι καταστάσεις της μεταβλητής Απάτη είναι αμοιβαία αποκλειόμενες, μπορεί να γραφτεί

$$P(A|K, B, \Phi, H) = \frac{P(K, B, \Phi, H, A)}{\sum_{A'} P(K, B, \Phi, H, A')} \quad (4.16)$$

Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας τον κανόνα της αλυσίδας των πιθανοτήτων, τόσο ο αριθμητή όσο και ο παρονομαστή της παραπάνω εξίσωσης θα παραγοντοποιηθούν όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\begin{aligned} P(A|K, B, \Phi, H) &= \\ &= \frac{P(K|B, \Phi, H, A) \cdot P(B|\Phi, H, A) \cdot P(\Phi|H, A) \cdot P(H|A) \cdot P(A)}{\sum_{A'} P(K|B, \Phi, H, A') \cdot P(B|\Phi, H, A') \cdot P(\Phi|H, A') \cdot P(H|A') \cdot P(A')} \quad (4.17) \end{aligned}$$

Στην συνέχεια, βάση των υπό συνθήκης ανεξαρτησιών, μπορούμε να αφαιρέσουμε κάποιες μεταβλητές από τις υπό συνθήκες λίστες.

$$P(A|K, B, \Phi, H) = \frac{P(K|\Phi, H, A) \cdot P(B|A) \cdot P(\Phi) \cdot P(H) \cdot P(A)}{\sum_{A'} P(K|\Phi, H, A') \cdot P(B|A') \cdot P(\Phi) \cdot P(H) \cdot P(A')} \quad (4.18)$$

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να εξαλείψουμε του κοινούς όρους που βρίσκονται και στο αριθμητή και στον παρονομαστή.

$$P(A|K, B, \Phi, H) = \frac{P(K|\Phi, H, A) \cdot P(B|A) \cdot P(A)}{\sum_{A'} P(K|\Phi, H, A') \cdot P(B|A') \cdot P(A')} \quad (4.19)$$

Οπότε τώρα μπορούμε να εισάγουμε τις παρακάτω τιμές των μεταβλητών και να εξάγουμε τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

$$\begin{aligned} & \frac{P(A = \text{Ναι} | K = \text{Ναι}, B = \text{Όχι}, \Phi = \text{Άνδρας}, H = < 30)}{P(K = \text{Ναι} | \Phi = \text{Άνδρας}, H = < 30, A = \text{Ναι}) \cdot P(B = \text{Όχι} | A = \text{Ναι}) \cdot P(A = \text{Ναι})} \\ &= \frac{P(K = \text{Ναι} | \Phi = \text{Άνδρας}, H = < 30, A') \cdot P(B = \text{Όχι} | A') \cdot P(A')}{\sum_{A'=(\text{Ναι}, \text{Όχι})} P(K = \text{Ναι} | \Phi = \text{Άνδρας}, H = < 30, A') \cdot P(B = \text{Όχι} | A') \cdot P(A')} \\ &= \frac{0.05 * 0.8 * 0.00001}{(0.05 * 0.8 * 0.00001) + (0.0001 * 0.99 * 0.99999)} \\ &= 0.00402 \end{aligned}$$

Έτσι ενώ η προγενέστερη πιθανότητα απάτης ήταν 0.00001, η μεταγενέστερη πιθανότητα, δοθέντων των παραπάνω τιμών των μεταβλητών που ορίσαμε είναι 0.00402 (400 φορές πάνω)

4.6.2

Διάδοση πεποιθήσης

Η διάδοση της πεποιθήσεως (Pearl, 1988) είναι μία λειτουργία ανανέωσης των πεποιθήσεων σε κάθε μεταβλητή, όταν δίνονται παρατηρήσεις σε κάποιες μεταβλητές. Καθώς αυτό μπορεί να γίνει σε κάθε αυθαίρετο BN, θα παρουσιάσω για την απλούστερη περίπτωση BN που έχει κατασκευαστεί ως ένα δέντρο.

Σύμφωνα με τον Pearl (Pearl, 1988), η διάδοση της πεποιθήσεως γίνεται όπως φαίνεται παρακάτω. Ας θεωρήσουμε ότι το e είναι ένα σύνολο τιμών για όλες τις παρατηρούμενες μεταβλητές. Για κάθε μεταβλητή X , το e μπορεί να διαχωριστεί σε δυο υποσύνολα: e_x^- , το οποίο αντιπροσωπεύει όλες τις παρατηρούμενες μεταβλητές που είναι απόγονοι του X (περίλαμβανομένου και του X στην περίπτωση που έχει παρατηρηθεί) και e_x^+ , το οποίο αντιπροσωπεύει όλες τις άλλες παρατηρούμενες μεταβλητές. Το αντίκτυπο των παρατηρούμενων μεταβλητών στις πεποιθήσεις του X μπορεί να παρουσιαστεί χρησιμοποιώντας τις παρακάτω δύο τιμές.

$$\lambda(X) = P(e_x^- | X) \quad (4.20)$$

$$\pi(X) = P(X | e_x^+) \quad (4.21)$$

Αφού η μεταβλητή X έχει πολλαπλές διακριτές τιμές, οι $\lambda(X)$ και $\pi(X)$ είναι στην πραγματικότητα πίνακες, των οποίων τα στοιχεία σχετίζονται με κάθε μία από τις διακριτές τιμές του X :

$$\lambda(X) = [\lambda(X = x_1), \lambda(X = x_2), \lambda(X = x_3), \dots, \lambda(X = x_l)] \quad (4.22)$$

$$\pi(X) = [\pi(X = x_1), \pi(X = x_2), \pi(X = x_3), \dots, \pi(X = x_l)] \quad (4.23)$$

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (4.20) και (4.21) παίρνουμε την ακόλουθη μεταγενέστερη πιθανότητα:

$$p(X|e) = a\lambda(X)\pi(X) \quad (4.24)$$

με $a = 1/p(e)$ και με ανα ζεύγυι πολλαπλασιασμούς των τιμών του $\lambda(X)$ και $\pi(X)$.

Η (4.24) είναι μία εξίσωση που πρέπει να υπολογίσεις για να βρείς τις καινούριες πεποιθήσεις. Τότε οι τιμές των $\lambda(X)$ και $\pi(X)$ περνάμε μεταξύ των μεταβλητών μεθοδικά.

Ακολουθεί ο υπολογισμός. Η $\lambda(X)$ θα υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τα $\lambda(Y_1), \lambda(Y_2), \dots, \lambda(Y_m)$, όπου τα Y_1, Y_2, \dots, Y_m είναι όλα τα παιδιά του X . Πρώτα, όταν το X παρατηρείται ως x^0 , τα στοιχεία του διανύσματος $\lambda(X)$ ορίζονται ως:

$$\lambda(x_i) = 0 \text{ αν } x_i \neq x^0$$

$$\lambda(x_i) = 1 \text{ αν } x_i = x^0$$

Για την περίπτωση όπου το X δεν παρατηρείται, έχουμε $e_{\bar{X}} = \cup_{i=1}^m e_{\bar{Y}_i}$. Χρησιμοποιώντας την σχέση (4.20), η $\lambda(X)$ επεκτείνεται ως:

$$\lambda(X) = p(e_{\bar{X}}|X) \quad (4.25)$$

$$= p(e_{\bar{Y}_1}, e_{\bar{Y}_2}, \dots, e_{\bar{Y}_m}|X) \quad (4.26)$$

$$= p(e_{\bar{Y}_1}|X) \cdot p(e_{\bar{Y}_2}|X) \cdots p(e_{\bar{Y}_m}|X) \quad (4.27)$$

$$= \lambda_{Y_1}(X) \cdot \lambda_{Y_2}(X) \cdots \lambda_{Y_m}(X) \quad (4.28)$$

Χρησιμοποιώντας το γεγονός ότι τα $e_{\bar{Y}_1}, e_{\bar{Y}_2}, \dots, e_{\bar{Y}_m}$ είναι υπο συνθήκη εξαρτημένα μεταξύ τους και προσδιορίζοντας το ακόλουθο:

$$\lambda_{Y_i}(X) = p(e_{\bar{Y}_i}|X)$$

Για κάθε $\lambda_{Y_i}(X)$, ο υπολογισμός του γίνεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\lambda_{Y_i}(X) = p(e_{\bar{Y}_i}|X) \quad (4.29)$$

$$= \sum_{y^i} p(e_{\bar{Y}_i}, y^i|X) \quad (4.30)$$

$$= \sum_{y^i} p(e_{\bar{Y}_i}|y^i, X) \cdot p(y^i|X) \quad (4.31)$$

$$= \sum_{y^i} p(e_{\bar{Y}_i}|y^i) \cdot p(y^i|X) \quad (4.32)$$

$$= \sum_{y^i} \lambda(y^i) \cdot p(y^i|X) \quad (4.33)$$

Από τα παραπάνω φαίνεται, ότι για τον υπολογισμό των τιμών του $\lambda(X)$, χρειαζόμαστε μόνο τα λ από όλα τα παιδιά του X , όπως επίσης και τις υπο συνθήκη πιθανότητες τους. Επίσης, αυτό σημαίνει ότι για τον υπολογισμό του λ μιας μεταβλητής, πρέπει πρώτα να υπολογίσει τα λ των παιδιών της. Γιαυτόν τον λόγο, σε μία συμπαγή μορφή, το διάνυσμα $\lambda(X)$ υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\lambda(X) = \prod_{c \in \text{children}(X)} \sum_{v \in c} \lambda(v) \cdot p(v|X) \quad (4.34)$$

Τώρα θα υπολογίσουμε το $\pi(X)$ χρησιμοποιώντας:

$$\pi(X) = p(X|e_X^+) \quad (4.35)$$

$$= \sum_{y^i} p(X, y^i|e_X^+) \quad (4.36)$$

$$= \sum_{y^i} p(X|y^i, e_X^+) \cdot p(y^i|e_X^+) \quad (4.37)$$

$$= \sum_{y^i} p(X|y^i) \cdot p(y^i|e_X^+) \quad (4.38)$$

$$= \sum_{y^i} p(X|y^i) \cdot \pi(y^i) \quad (4.39)$$

Οπότε τα παραπάνω δείχνουν ότι για να υπολογιστεί $\pi(X)$, χρειαζόμαστε τα π των γονιών του X , όπως επίσης και τις υπο συνθήκη πιθανότητες του X . Επίσης, αυτό σημαίνει ότι για τον υπολογισμό του π μιάς μεταβλητής, πρέπει πρώτα να υπολογίσεις τα π των γονιών της.

Έχουν προταθεί κι άλλες μεθοδολογίες/αλγόριθμοι διάδοσης πανομοιότυπες με του Pearl. Όπως για παράδειγμα του Peot και Shachter, η οποία όμως δεν θα αναλυθεί περαιτέρω.

4.6.2

Junction Tree

Ο Cowell (Cowell, 1999) μας παρουσιάζει μία πιο γενική μεθοδολογία συμπερασμού στα Bayesian Networks. Το αλγόριθμο που ονομάζεται Junction Tree. Λόγω των πιθανών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν κάνοντας συμπερασμό σε ένα DAG (Κατευθυνόμενο Άκυκλο Γράφο), αυτός ο αλγόριθμος είναι χρήσιμος. Για να τον χρησιμοποιήσεις, μετατρέπεις το DAG σε δέντρο, όπου οι κόμβοι του είναι κλίκες. Κάθε κόμβος του γ'ραφου μπορεί να προκύψει σε παραπάνω από μία κλίκες του δέντρου. Αυτό οδηγεί στο βασικό χαρακτηριστικό που αυτό το δέντρο έχει. Κάθε κόσμος (ή οποιοδήποτε υποσύνολο κόμβων) του γ'ραφου που παρουσιάζεται σε δύο διαφορετικές κλίκες, X_1 και X_2 , πρέπει επίσης να εμφανίζεται σε όλες τις κλίκες του μονοπατιού που συνδέει τα X_1 και X_2 . Αυτό δίνει και στο δέντρο την ονομασία «Junction Tree». Η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

1. Moralize το Bayesian Network

Όπου:

Moralization

Αν οι κόμβοι του κατευθυνόμενου γράφου που θέλουμε να μετατρέψουμε σε μη-κατευθυνόμενο έχουν περισσότερους από ένα γονιούς, τότε εφαρμόζουμε την τεχνική marry the parents δηλαδή προσθέτουμε εξτρά συνδέσμους μεταξύ αυτών των γονιών του κόμβου και μετατρέπουμε όλα τα

τόξα σε μη-κατευθυνόμενες ακμές. Εναλλακτικά αυτό ονομάζεται moralisation.

Στο τέλος της διαδικασίας της moralisation, δηλαδή αφού την έχουμε εφαρμόσει σε όλους τους κόμβους του Bayesian Network, θα υπάρχει τουλάχιστον μία μέγιστη κλίκα που περιέχει όλους τους κόμβους του δικτύου. Η συνάρτηση διαμερισμού Z είναι σε κάθε περίπτωση ίση με τη μονάδα.

2. Τριγωνοποίηση του moralized γράφου.

(Τριγωνοποιημένος γράφος) είναι ο μη-κατευθυνόμενος γράφος όπου κάθε κόμβος είναι συνδεδεμένος με όλους τους άλλους κόμβους.

3. Βάζουμε τις κλίκες του τριγωνοποιημένου γράφου, ως κόμβους ενός δέντρου. Το οποίο είναι και το επιθυμητό Junction Tree.
4. Διαδίδουμε τις τιμές λ και π διαμέσω όλου του junction tree για να εκτελέσουμε συμπερασμό. Αυτό θα μας παρέχει τις μεταγενέστερες πιθανότητες για όλες τις μην παρατηρηθέντες μεταβλητές.

Για πιο αναλυτική περιγραφή της κατασκευής του Junction Tree, βλέπε (Stephenson, 2000, section 8).

4.7

Μάθηση

Πολύ συχνά συναντάμε το πρόβλημα να μην ξέρουμε όλου του δικτύου τις υπο συνθήκη πιθανότητες. Εάν θέλουμε να υπερπηδήσουμε αυτό το πρόβλημα, πρέπει να υιοθετήσουμε κάποιες τεχνικές μάθησης που μας επιτρέπουν να συμπληρώσουμε τις πεποιθήσεις που λείπουν. Σύμφωνα με το (Vladimir, 1999) ο ρόλος της μάθησης είναι να προσαρμόζει της μεταβλητές τους BN έτσι ώστε οι καθορισμένες από το δίκτυο συναρτήσεις κατανομής πιθανοτήτων, να περιγράφουν επαρκώς την συμπεριφορά των παρατηρούμενων δεδομένων.

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης διπλωματικής η συμπλήρωση των υπο συνθήκη μεταβλητών γίνεται με την βοήθεια **ειδικών** στον τομέα των επιθεωρήσεων και της ναυτιλίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ DYNAMIC BAYESIAN NETWORK ΚΑΙ ΤΟΥ INFLUENCED DIAGRAM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Κατασκευή του Dynamic Bayesian Network και του Influenced Diagram

5.1

Εισαγωγή

5.1.1

Ονοματολογία

- **Πλευρικό έλασμα περιβλήματος** (Side shell plating)= Είναι το πλευρικό μέρος του εξωτερικού περιβλήματος της γάστρας.
- **Νομείς** (Frames)= Είναι δοκάρια με διατομή σχήματος “L” ή “T”, τα οποία τοποθετούνται κατακόρυφα στις πλευρές του πλοίου.
- **Ενισχυμένοι Νομείς** (Web Frames) = είναι πιο ανθεκτικές εγκάρσιες ενισχύσεις του περιβλήματος, των φρακτών και των καταστρωμάτων του σκάφους.
- **Σταθμίδες** (girder, keelson)= Είναι δοκάρια διατομής “H” ή “T”, τα οποία τοποθετούνται παράλληλα με την τρόπιδα, κατά την διαμήκη έννοια του πλοίου, σε όλο το μήκος και το πλάτος του πυθμένα, συνεισφέροντας στην διαμήκη ενίσχυση του.
- **Λώροι ή Λούροι** (Stringer)= Είναι δοκάρια τα οποία τοποθετούνται παράλληλα των σταθμίδων σε όλο το μήκος και ύψος των πλευρών του πλοίου κάθετα στους νομείς. Ενισχύουν την διαμήκη αντοχή των πλευρικών ελασμάτων σε συνδυασμό με τους νομείς.
- **Διαδοκίδες** (Cross beam, girder)= Είναι διαμήκη δοκάρια παρόμοια με τις σταθμίδες και του λώρους, τα οποία τοποθετούνται κάτω από το κατάστρωμα και σε όλο το μήκος και πλάτος του πλοίου. Σκοπός των διαδοκίδων είναι η ενίσχυση του καταστρώματος στο διάμηκες.
- **Φρακτή** (Bulkhead) = Είναι ενισχυμένο έλασμα, το οποίο χρησιμοποιείται ως εγκάρσιο ή διάμηκες διάφραγμα για να χωρίσουμε τους χώρους μεταξύ τους. Είναι γνωστά και με την ονομασία “Μπουλμέδες” Μπορεί να είναι στεγανή ή όχι. Κατά κανόνα οι φρακτές ενισχύονται με ορθοστάτες, κυρίως όταν η επιφάνεια τους είναι μεγάλη.
- **Αγκώνα** (bracket)= Μικρά κομμάτια λαμαρίνας, με περίπου τριγωνική μορφή τα οποία χρησιμοποιούνται ως σύνδεσμοι ένωσης των νομέων με τα ζυγά και με την έδρα των νομέων.
- **Έδρες** (floor) = Στο χαμηλότερο μέρος ενός εγκάρσιου νομέα, συνήθως ένα κατακόρυφο έλασμα εκτείνεται από την κεντρική γραμμή στους υδροσυλέκτες και από τον εσωτερικό πυθμένα, στον εξωτερικό.
- **Κύτη** (Holds) = είναι χώροι του σκάφους που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά φορτίου (αμπάρια).

5.2

Θεωρητικό Υπόβαθρο

5.2.1

Φορτία

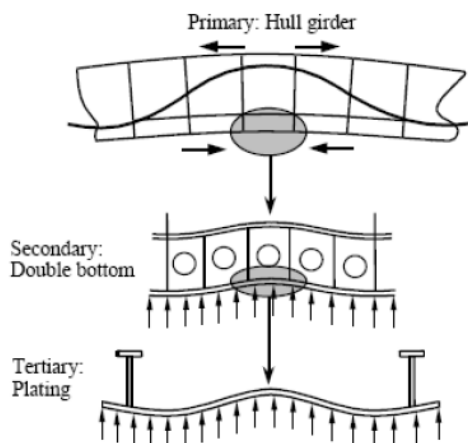
Στο σημείο αυτό θα γίνει μία γρήγορη αναφορά πάνω στα φορτία που δέχεται η κατασκευή του πλοίου. Μία αρχική κατηγορία είναι αυτή των:

- Εσωτερικών φορτίων, που προκαλούνται από:
 - Το φορτίο
 - Το έρμα
 - Τα καύσιμα
 - Τον κατακλυσμό κάποιου διαμερίσματος
 - Την φορτοεκφόρτωση του φορτίου
- Εξωτερικών φορτίων, που προκαλούνται από:
 - Την θάλασσα
 - Τον πάγο
 - Τον αέρα

Μπορούμε επίσης να κατηγοριοποιήσουμε τα φορτία ως εξής:

- **Στατικά τοπικά φορτία** : Τα τοπικά φορτία, εσωτερικά και εξωτερικά που τα προκαλεί η πίεση του φορτίου/έρματος/θάλασσας.
- **Δυναμικά τοπικά φορτία** : Δυναμικά εξωτερικά φορτία που προκαλούνται από τα κύματα και δυναμικά εσωτερικά φορτία που προκαλούνται από την επιτάχυνση του φορτίου.
- **Στατικά γενικά φορτία**: γενική καμπτική ροπή (ορθές τάσεις) και διατμητική τάση
- **Φορτία Κυματισμού**: Δυναμική καμπτική ροπή (ορθές τάσεις) και διατμητική τάση

Οι τάσεις που οφείλονται στην απόκριση του πλοίου θεωρούμενου σαν δοκό με κορμό τις εγκάρσιες φρακτές και φλάντζες το κυρίως κατάστρωμα και τον πυθμένα, αναφέρονται στην βιβλιογραφία ως πρωτεύουσες τάσεις (primary stresses). Οι τάσεις που προέρχονται από την απόκριση των ενισχυμένων ελασμάτων φορτιζομένων εγκαρσίως αναφέρονται στην βιβλιογραφία ως δευτερεύουσες τάσεις (secondary stresses). Και τέλος οι τάσεις που προέρχονται από την απόκριση των ελασμάτων μεταξύ των ενισχυτικών, φορτιζομένων εγκαρσίως, αναφέρονται στην βιβλιογραφία ως τριτεύουσες τάσεις (tertiary stresses)



Σχήμα 5.1: Κατηγορίες Τάσεων
(Σαμουηλίδης, 2007)

5.2.2

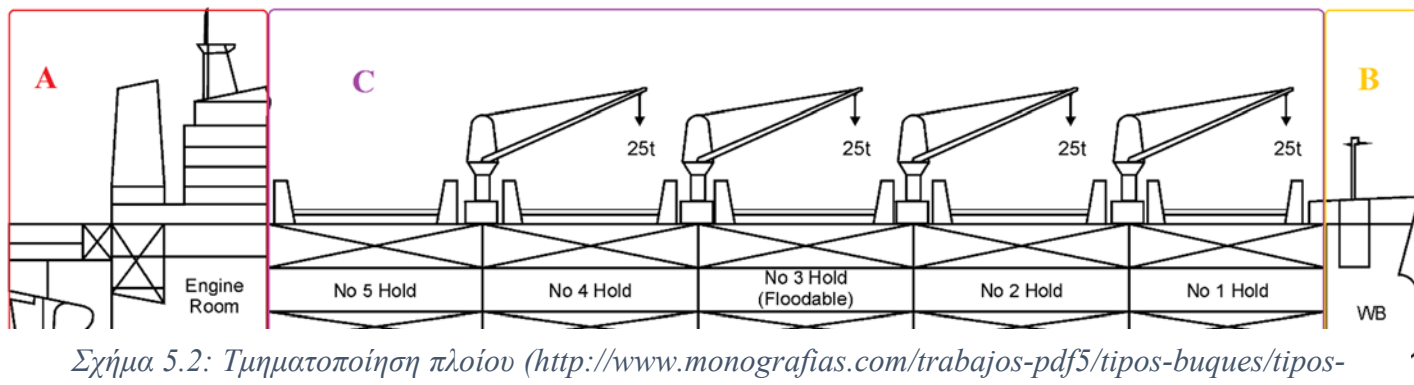
Κρίσιμα σημεία (hotspots) μεταλλική κατασκευής.

Στην συγκεκριμένη παράγραφο θα γίνει αναφορά στα κρίσιμα σημεία της μεταλλικής κατασκευής φορτηγών πλοίων, συνοδευόμενα και με το κατάλληλο θεωρητικό υπόβαθρο. Οι παρατηρήσεις είναι απόρροια της εμπειρίας των νηογνομόνων, που έχει συσσωρευτεί με την πάροδο του χρόνου.

Για να διευκολύνουμε αυτό το έργο, χωρίζουμε το πλοίο σε 3 κύρια μέρη,

- A. Το πρυμναίο τμήμα
- B. Το προραίο τμήμα (τα δύο πρώτα τμήματα έχουν πανομοιότυποι κατασκευαστική δομή για του περισσότερους τύπου φορτηγών πλοίων)
- C. τμήμα του φορτίου (που η δομή του είναι ανάλογη και με τον τύπο του φορτίου που μεταφέρει).

Η παρούσα διπλωματική θα ασχοληθεί με το **προραίο τμήμα** του πλοίου αλλά για λόγους πληρότητα θα κάνουμε μία περιγραφή και τα υπόλοιπα δυο μέρη.

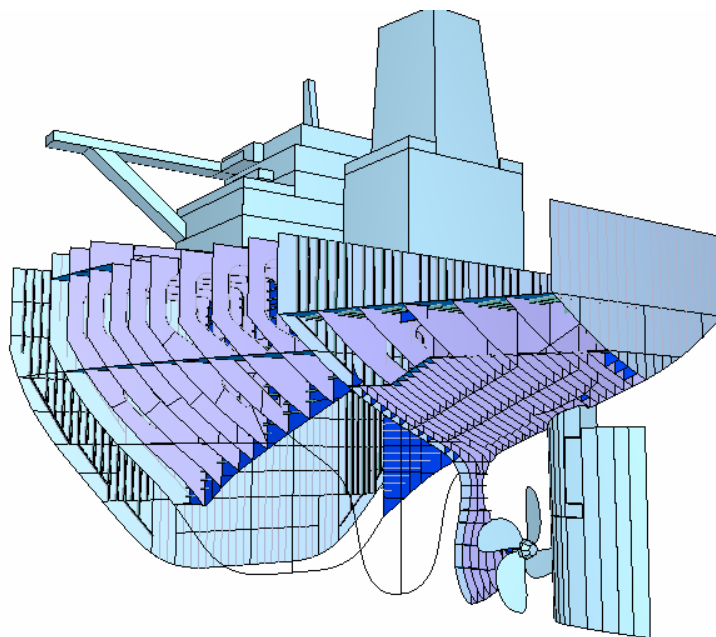


Σχήμα 5.2: Τμηματοποίηση πλοίου (<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/tipos-buques/tipos-buques.shtml>)

5.2.3

Πρυμναίο τμήμα της γάστρας

Το πρυμναίο μέρος της γάστρας απαρτίζεται από το ακροπρυμναίο έλασμα, την φρακτή του μηχανοστασίου, τους ενισχυμένους εγκάρσιους νομείς, την εγκάρσια φρακτή του μηχανοστασίου και τις έδρες.



Σχήμα .3: Πρύμνη (DNV, 2005)

Το περίβλημα του πρυμναίου άκρου πρέπει να ανθίστανται στα στατικά και δυναμικά φορτία που προκαλούνται από την πίεση της θάλασσας, καθώς εσωτερικά από πιέσεις που προκαλεί το έρμα. Η κατασκευή επιβαρύνεται με επιπλέον φορτίσεις από την σφυρόκρουση του πυθμένα καθώς και από την ώθηση που προκαλεί η προπέλα.

Επίσης αν παρομοιάσουμε το σύνολο της γάστρας με μία δοκό, στην προκειμένη περίπτωση τα πλευρικά ελάσματα και η διαμήκης φρακτή θα αποτελέσουν τον κορμό, που θα μεταφέρει τις διατμητικές τάσεις από το καθαρό βάρος στο πρυμναίο άκρο, μέχρι την υδατοστεγή εγκάρσια φρακτή του μηχανοστασίου. Το κατάστρωμα και ο πυθμένας, αποτελούν τις φλάντζες τις δοκού. Όμως στο πρυμναίο άκρο οι πρωτεύουσες τάσεις λόγω της γενικής κάθετης καμπτικής ροπής είναι πάντα μηδενικές, οπότε οι διαμήκεις τάσεις στην κατασκευή της πρύμνης είναι μέτριες.

Τα φορτία τα παραλαμβάνει η γάστρα του πλοίου και οι τάσεις μεταφέρονται από τα ελάσματα στα ενισχυτικά.

Πρέπει να διασφαλίζεται επαρκής ακαμψία ώστε να παρέχεται:

- Υποστήριξη στην κύρια μηχανή (στο διπύθμενο του μηχανοστασίου)
- Υποστήριξη στα συστήματα πλοήγησης

- Υποστήριξη του πτερυγίου του πηδαλίου

Οι τέσσερις πιο συνήθεις βλάβες που παρατηρούνται σε το σημείο είναι οι παρακάτω.

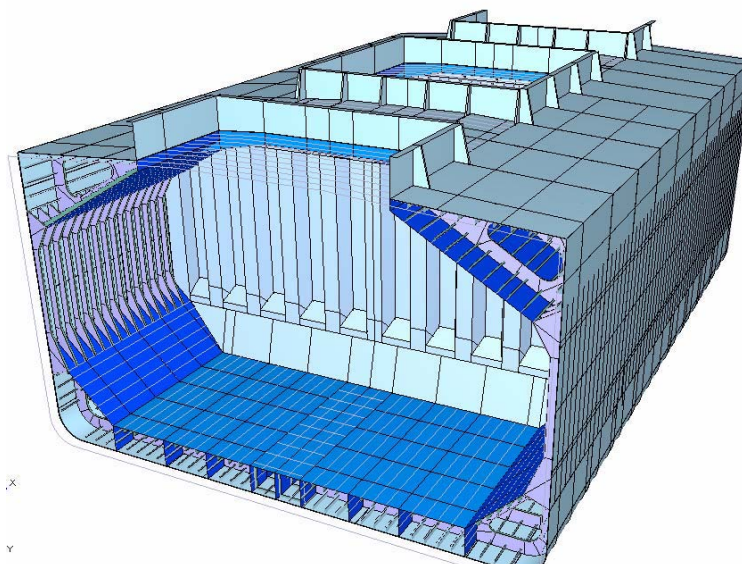
- Λυγισμός των λώρων στο μηχανοστάσιο
 - Τα ενισχυτικά μπορεί να χάσουν την υποστήριξη τους και η συγκεκριμένη περιοχή να υπερφορτιστεί.
 - Κατάρρευση του πάνελ, που μπορεί να οδηγήσει και σε διαρροή.
- Επιπτώσεις από το συνεχές σφυροκόπημα της πρύμνης. Επίπεδες πρύμνες είναι επιρρεπής σε υψηλής συχνότητας σφυροκόπημα. Όσο πιο πλατιά είναι στο κάτω μέρος, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι τάσεις και το συνολικό φορτίο στην πρύμνη.
 - Τα πλαϊνά διαμήκη ενισχυτικά μπορεί να χάσουν την υποστήριξη τους στους ενισχυμένους νομείς.
 - Ρωγμές μπορεί να διαπεράσουν το περίβλημα, να χαθεί η υδροστεγής ακεραιότητα, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε πιθανό πλημμυρισμό του διαμερίσματος.
- Ρωγμάτωση στις πρυμναίες δεξαμενές λόγω των δονήσεων που προκαλεί η έλικα.
 - Η δομή στήριξης μπορεί να είναι λιγότερο αποτελεσματική
 - Επίσης στην περίπτωση όπου οι ρωγμές είναι στον πλευρικό νομέα, μπορεί να οδηγήσει σε θραύση του ελάσματος και κατ' επέκταση σε διαρροή.
- Σπηλαιώση του πηδαλίου. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στην φθορά του είναι το σχήμα και το πάχος στο προφίλ του πηδαλίου, η γωνία και η ταχύτητα του νερού.
 - Μπορεί να σχηματιστούν ρωγμές που να οδηγήσουν σε ελλιπής στήριξη του πηδαλίου και μείωση της ικανότητας ελιγμών.

5.2.4

Τμήμα Φορτίου

Τα σημεία που μπορεί να υποστεί κατάρρευση ένα πλοίο τύπου bulk carrier¹ στην περιοχή των κυτών φορτίου, περιλαμβάνονται στις παρακάτω κατηγορίες.

- Πλευρικό μέρος περιβλήματος γάστρας
- Πυθμένας γάστρας
- Εγκάρσια φρακτή
- Πάνω-πλευρικές δεξαμενές
- Κάτω-πλευρικές δεξαμενές



Σχήμα 5.4: Αμπάρι (DNV, 2005)

Πλευρικό μέρος περιβλήματος γάστρας

Το πλευρικό μέρος του περιβλήματος των δεξαμενών φορτίου αποτελείται από τέσσερα διακριτά μέρη, το πλευρικό έλασμα, τους εγκάρσιους νομείς και τους πάνω και κάτω αγκώνες τους.

Το πλευρικό μέρος αντιστέκεται στα στατικά και δυναμικά φορτία από την εξωτερική πίεση της θάλασσας και τον κυματισμό, όπως και εσωτερικά από το πίεση που προκαλεί το φορτίο και το έρμα.

¹ Ανάλογα τον τύπο του πλοίου είναι διαφορετική η κατασκευαστική δομή της περιοχής του αμπαριού.

Τα φορτία παραλαμβάνει το έλασμα της γάστρας και στην συνέχεια οι τάσεις μεταφέρονται με την σειρά στους κατακόρυφους νομείς, πάνω αγκώνα και κατ' επέκταση στον σκελετό της πάνω-πλευρικής δεξαμενής και στον κάτω αγκώνα και κατ' επέκταση στον σκελετό της κάτω-πλευρικής δεξαμενής. Τα εξωτερικά φορτία προκαλούν διατμητικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές στους κατακόρυφους εγκάρσιους νομείς. Οι εγκάρσιοι νομείς μπορούν να αναπαρασταθούν ως μία δοκός πακτωμένη στην πάνω-πλευρική δεξαμενή και στην κάτω-πλευρική δεξαμενή μέσω των αγκώνων. Αν η δεξαμενή είναι γεμάτη, τότε το καθαρό βάρος φορτίου ασκεί μία κάθετη δύναμη που προκαλεί περιστροφή της κάτω-πλευρικής δεξαμενής, με αποτέλεσμα να ενισχύσει την ροπή στο μέσο και στο πάνω μέρος του νομέα. Ενώ στην περίπτωση που είναι άδεια η δεξαμενή, η περιστροφή της κάτω-πλευρικής δεξαμενής είναι τέτοια που ενισχύεται η ροπή στο μεσαίο και κάτω μέρος του νομέα.

Το πλευρικό μέρος του πλοίου δέχεται επιπρόσθετα και γενικές διατμητικές δυνάμεις ως αποτέλεσμα της κάμψης της γάστρας (Sagging - Hogging) που μπορούμε να την δούμε ως μία δοκό και της διανομής του βάρους/άντωσης σε όλο το μήκος του πλοίου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα πλευρικά μέρη τη γάστρας συμπεριφέρονται σαν τον κορμό της διατομής της δοκού/γάστρας και το κατάστρωμα, πυθμένας ως οι φλάντζες.

Δυο χαρακτηριστικές ζημιές που παρατηρούνται στο συγκεκριμένο σημείο του πλοίου είναι.

- ο Η ρωγμάτωση του εγκάρσιου νομέα στα σημεία σύνδεσης μεταξύ του νομέα και των αγκώνων στο πάνω και στο κάτω μέρος.

Το κάτω μέρος δέχεται μεγαλύτερες καμπτικές ροπές, λόγω του ότι στα μεγαλύτερα βάθη είναι μεγαλύτερες και οι δυνάμεις που προκαλούνται από την πίεση της θάλασσας.

Στα δύο σημεία ενώσεως του αγκώνα παρατηρούνται διαφορετικές βλάβες.

Στο σημείο τερματισμού του αγκώνα δημιουργείται τοπική συγκέντρωση τάσεων, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην ρωγμάτωση του κάτω άκρου της.

Ενώ στο πάνω σημείο του κάτω αγκώνα όπου ενώνεται με τον νομέα, σε περίπτωση υψηλών τάσεων λόγω κάμψης και λόγω των συσσωρευμένων τάσεων λόγω συγκόλλησης αυξάνετε το ρίσκο ρωγμάτωσης λόγω κόπωσης.

- Καθώς αυτές οι ρωγμές αναπτύσσονται, η στερέωση του κάτω άκρου του πλευρικού νομέα μειώνεται, με αποτέλεσμα τις μεγαλύτερες καμπτικές ροπές στην μέση του νομέα και την παραλαβή ενός μέρους του φορτίου από τους παρακείμενους νομείς.
- Ρωγμές από την μία άκρη στην άλλη των ενισχυτικών μπορεί να προκαλέσουν λυγισμό στο προφίλ του μέσου τομέα δοκών απλά στηριγμένων στο κάτω άκρο.
- Μπορεί να αναπτυχθούν ρωγμές στο πλευρικό μέρος τους περιβλήματος της γάστρας.

- Ανάπτυξη ρωγμών σε γειτονικούς νομείς, που μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευσή του πάνελ και κατ' επέκταση εισροή υδάτων στην δεξαμενή.
- Η διάβρωση της ένωσης του εγκάρσιου νομέα και του κάτω αγκώνα του. Αυτά τα σημεία είναι επιρρεπή τόσο σε γενική όσο και αυλακωτή διάβρωση που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα:
 - Θραύση στο έλασμα ή/και στην βάση του αγκώνα
 - Θραύση/αποκόλληση νομέα
 - Τοπική διάβρωση και δημιουργία αυλακώσεων
 - Γενική απώλεια

Πιο συγκεκριμένα:

- Η γενικευμένη διάβρωση των πλευρικών νομέων μειώνει την επιφάνεια διάτμησης, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι τάσεις που προκαλούνται από τις καμπτικές ροπές καθώς και οι πιθανότητες κατάρρευσης των ενισχυτικών λόγω λυγισμού.
- Η αυλακωτή διάβρωση του αγκώνα του πλευρικού νομέα, μπορεί να προκαλέσει μείωση της περιοχής διάτμησης του προφίλ του κορμού της δοκούς. Αν η μπάρα είναι υπο γωνία, τότε η κατάσταση είναι ακόμα πιο κρίσιμη.
- Αποκόλληση των κάτω νομέων μπορεί να προκαλέσει λυγισμό λόγω αυξημένης καμπτικής ροπής. Ρήξη του πλευρικού ελάσματος στον σημείο της πάνω-πλευρικής δεξαμενής μπορεί να προκαλέσει πλημύρα.

Πυθμένας

Ο πυθμένας αποτελείται από τέσσερα διακριτά μέρη, το έλασμα του πυθμένα, το έλασμα του εσωτερικού πυθμένα, τις σταθμίδες (πλευρικές και κεντρικές) και τα εγκάρσια συμπαγή ενισχυτικά πυθμένα.

Ο πυθμένας αντιστέκεται σε στατικά και δυναμικά φορτία. Από τα φορτία που προκαλεί η εξωτερική πίεση της θάλασσας και η εσωτερική πίεση από φορτίο/έρμα ή τα υγρά καύσιμα.

Τα φορτία παραλαμβάνονται από τα πιο στιβαρά στοιχεία της κατασκευής. Οι σταθμίδες και τα εγκάρσια συμπαγή ενισχυτικά πυθμένα μεταφέρουν το καθαρό φορτίο στις κάτω-πλευρικές δεξαμενές και στην εγκάρσια φρακτή. Ο λόγος μήκος/πλάτος είναι πολύ σημαντικός ως προς την διανομή του φορτίου μεταξύ των σταθμίδων και των εγκάρσιων συμπαγή ενισχυτικών.

Ο πυθμένας του πλοίου δέχεται επιπρόσθετα και γενικές διατμητικές δυνάμεις ως αποτέλεσμα της κάμψης της γάστρας (Sagging - Hogging) που μπορούμε να την δούμε ως μία δοκό και της διανομής του βάρους/άντωσης σε όλο το μήκος του πλοίου. Στην

συγκεκριμένη περίπτωση ο πυθμένας της γάστρας συμπεριφέρονται σαν την φλάντζα της διατομής.

Τρεις χαρακτηριστικές ζημιές που παρατηρούμαι στον πυθμένα είναι οι παρακάτω.

- Ρωγμάτωση κατά μήκος άρθρωσης του εσωτερικού πυθμένα με τη κάτω-πλευρική δεξαμενή. Μία τέτοια βλάβη:
 - μπορεί να οδηγήσει στο να χαθεί η υδατοστεγής αξιοπιστία (διαρροή έρματος) του φορτίου,
 - ενώ οι ρωγμές που επεκτείνονται απο τον ένα κατασκευαστικό νομέα στον άλλον, έχουν σοβαρό αντίκτυπο στην στιβαρότητα/αντοχή του διπύθμενου.
- Ρωγμάτωση/διάβρωση των εγκάρσιων συμπαγών ενισχυτικών και των σταθμίδων στις δεξαμενές έρματος. Κυρίως στις ενώσεις με τα διαμήκη ενισχυτικά. Τέτοιες βλάβες μπορούν να οδηγήσουν:
 - σε απώλεια της υποστήριξης των διαμηκών ενισχυτικών, με αποτέλεσμα την αύξηση των τάσεων στις ενώσεις των παρακείμενων εγκάρσιων ενισχυτικών με τα αντίστοιχα διαμήκη ενισχυτικά.
 - σε μεγάλες ρωγμές στα εγκάρσια συμπαγή ενισχυτικά, με αποτέλεσμα την αυξημένη τάση στις ενώσεις των παρακείμενων εγκάρσιων συμπαγή ενισχυτικών με τις αντίστοιχες σταθμίδες.
- Πρόκληση οδοντώσεων στον εσωτερικού πυθμένα λόγω διακίνησης φορτίου.
 - Προκαλεί προβλήματα κατά την εκφόρτωση του φορτίου – καθαρισμό.
 - Σοβαρές οδοντώσεις, οδηγούν σε ρωγμές και κατ' επέκταση σε διαρροές.
 - Έχουν αντίκτυπο στην δυνατότητα λυγισμού του πάνελ

Κύριο Κατάστρωμα

Το κύριο κατάστρωμα αποτελείται από πέντε διακριτά μέρη. Το κύριο κατάστρωμα έξω από την γραμμή των κυρίων κυτών, το κύριο κατάστρωμα μεταξύ των στομίων των κοιτών, τα διαμήκη κουβούσια (coaming) στομίων κυτών, τα εγκάρσια κουβούσια στομίων κυτών και οι κατασκευαστικοί νομείς του καταστρώματος (deck web frames).

Τα στοιχεία που παραλαμβάνου τις δυνάμεις και συνεισφέρουν στην εγκάρσια αντοχή του πλοίου είναι το έλασμα του καταστρώματος και τα εγκάρσια ενισχυτικά ανάμεσα από στόμια των κυτών, οι διαδοκίδες εκεί που τερματίζουν τα στόμια των κυτών και η πάνω δεξαμενή-σκαμνί (stool tank).

Το έλασμα του καταστρώματος θα πρέπει να ανθίσταται στα στατικά και δυναμικά φορτία μέσω του επιπέδου θαλασσιών πιέσεων (green sea level pressures), όπως επίσης και τις δυνάμεις που προκαλούνται από τις εσωτερικές πιέσεις των δεξαμενών έρματος.

Όμοια με τον πυθμένα, το κατάστρωμα του πλοίου δέχεται γενικές διατμητικές δυνάμεις ως αποτέλεσμα της κάμψης της γάστρας (Sagging - Hogging) που μπορούμε να την δούμε ως μία δοκό και της διανομής του βάρους/άντωσης σε όλο το μήκος του πλοίου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το κατάστρωμα της γάστρας συμπεριφέρονται σαν την πάνω φλάντζα της διατομής της δοκού.

Τρεις χαρακτηριστικές βλάβες που εμφανίζονται στο κατάστρωμα είναι οι παρακάτω.

- Ρωγμάτωση του ελάσματος του καταστρώματος στο τέλος του κουβουσίου του στομίου της κύτους. Διαμήκεις τάσεις συγκεντρώνονται στο πλάι του κουβουσίου του εκάστοτε στομίου του κύτους. Στην βάση του αγκώνα στην άκρη παρατηρείται τοπική συγκέντρωση τάσεων. Αυτή η βλάβη μπορεί:
 - Να προκαλέσει διαρροή νερού στο φορτίο
 - Ρωγμές μεγάλου μήκους, που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην διαμήκη αντοχή του καταστρώματος.
- Λυγισμός των ελασμάτων του καταστρώματος και των εγκάρσιων ενισχυτικών στην περιοχή μεταξύ των στομίων των κυτών. Κάποιες σοβαρές συνέπειες είναι οι ακόλουθες.
 - Σοβαρές επιπτώσεις στην εγκάρσια αντοχή του πλοίου
 - Κλίση των πλευρών του πλοίου προς τα μέσα
 - Παραμόρφωση των κουβουσιών των στομίων των κυτών.
 - Απώλεια υδατοστεγής ακεραιότητας.

Εγκάρσια Φρακτή

Η εγκάρσια φρακτή αποτελείται από διακριτά μέρη. Την κυματοειδή φρακτή, το κάτω stool και το πάνω stool.

Η εγκάρσια φρακτή θα πρέπει να μπορεί να ανθίσταται σε στατικά και δυναμικά φορτία που προκαλούνται από το φορτίο χύδην και το έρμα. Επίσης θα πρέπει να μπορούν να αντέχουν και την πίεση από το νερό σε περίπτωση πλημμυρισμού χωρίς να καταρρεύσει.

Στην περίπτωση όπου το αμπάρι είναι πλημμυρισμένο, τότε στην εγκάρσια φρακτή ασκούνται διατμητικές τάσεις και καμπτικές ροπές, από την πίεση του περιεχόμενου νερού. Το σημείο που επιβαρύνεται σε μεγαλύτερο βαθμό είναι το κάτω stool. Αντίστοιχες καμπτικές ροπές παρατηρούνται όταν το ένα αμπάρι είναι γεμάτο, ενώ το γειτονικό άδειο. Επίσης μεταφέρουν και το γενικευμένο διατμητικό φορτίο από το διπύθμενο στο πλάι του πλοίου.

Δύο χαρακτηριστικές βλάβες που παρατηρούνται στις εγκάρσιες φρακτές είναι οι παρακάτω.

- Κατάρρευση της φρακτής λόγω διευρυμένης διάβρωσης στο διάφραγμα του κάτω stool. Κάποιες από τις σημαντικές συνέπειες είναι:
 - Δεν υπάρχουν πλέον σύνορα μεταξύ των αμπαριών του φορτίου,
 - Απώλεια της εγκάρσια αντοχή της γάστρας ως σύνολο,
 - Η υδατοστεγής ακεραιότητα του πάνω καταστρώματος χάνεται,
 - Πρέπει να επισκευαστεί οπωσδήποτε πριν εγκαταλείψει το λιμάνι.
- Διατμητικός λυγισμός εγκάρσιας κυματοειδής φρακτής. Κάποιες από τις σημαντικές συνέπειες είναι:
 - Παραμόρφωση στο τέρμα του κουβουσίου του στομίου του αμπαριού, που θα οδηγήσει στην απώλεια της υδατοστεγής ακεραιότητας, με αποτέλεσμα τον πλημμυρισμό του αμπαριού.
 - Οι σταθμίδες στο διπύθμενο, δέχονται μικρότερη υποστήριξη στην εγκάρσια φρακτή με αποτέλεσμα να επιβαρύνονται τα εγκάρσια συμπαγή ενισχυτικά πυθμένα επιπλέον.
 - Οι κάτω-πλευρικές δεξαμενές θα περιστρέφονται επιπλέον, με αποτέλεσμα την αύξηση των φορτίων στους πλευρικούς νομείς.
 - Σοβαρή επίπτωση στην εγκάρσια αντοχή του πλοίου
 - Το πλοίο μπορεί να ανατραπεί.

Κάτω-πλευρική δεξαμενή

Η κάτω-πλευρική δεξαμενή απαρτίζεται από το κυρτό έλασμα γάστρας (bilge plate), το κεκλιμένο έλασμα και το πλευρικό έλασμα την κάτω-πλευρικής δεξαμενής, τις σταθμίδες, τους λώρους, τους ενισχυμένους εγκάρσιους νομείς και τους κάθετους αγκώνες ενίσχυσης νομέων.

Το κεκλιμένο έλασμα της κάτω-πλευρική δεξαμενή πρέπει να ανθίσταται σε στατικά και δυναμικά φορτία από το φορτίο και το έρμα, ενώ ο πυθμένα και το πλαϊνό έλασμα την εξωτερική πίεση του θαλασσινού νερού και την εσωτερική από το έρμα.

Δύο χαρακτηριστικές βλάβες που παρατηρούνται συνήθως είναι οι ακόλουθες.

- Ρωγμές στην γραμμή της άρθρωσης μεταξύ του κεκλιμένου ελάσματος και του εσωτερικού πυθμένα.
- Ρωγμές στον κάτω μέρος των διαμήκη ενισχυτικών του κεκλιμένου ελάσματος
 - Οι ρωγμές αυτές μπορεί να μειώσουν την αντοχή του εγκάρσιου ενισχυμένου νομέα,

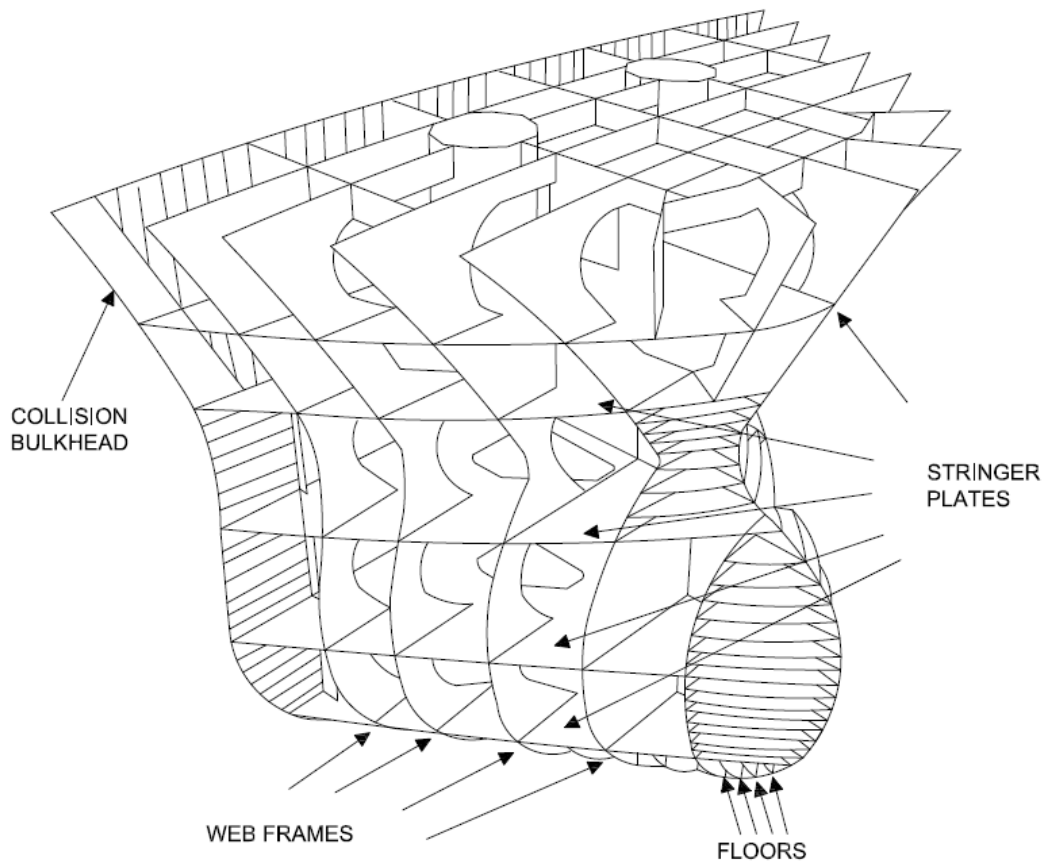
- Τα διαμήκη ενισχυτικά της κάτω-πλευρικής δεξαμενής θα μεταφέρουν περισσότερο φορτίο στους παρακείμενους ενισχυμένους νομείς,
- Τα διαμήκη ενισχυτικά της κάτω-πλευρικής δεξαμενής μπορεί να χάσουν τα στηρίγματα τους,
- Υπάρχει πιθανότητα να αναπτυχθούν ρωγμές στους παρακείμενους ενισχυμένους νομείς,
- Υπάρχει πιθανότητα να αναπτυχθούν ρωγμές στα ελάσματα τις δεξαμενής, με αποτέλεσμα να πλημμυρίσει το αμπάρι του φορτίου

5.2.5

Πρωραίο μέρος της γάστρας

Στο τέλος, της παραγράφου, θα γίνει η παρουσίαση του πρωραίου μέρους της γάστρας που είναι και το αντικείμενο της προμελέτης για την κατασκευή του Dynamic Bayesian Network που θα παρουσιαστεί στην συνέχεια. Όπως προαναφέρθηκε, η προηγούμενη ανάλυση που αφορούσε στο πρυμναίο μέρος και στο μέρος του φορτίου, έγινε εν μέρει για λόγους πληρότητα αλλά και για να αποτελέσει αντικείμενο για την μετέπειτα δημιουργία Dynamic Bayesian Networks στην ίδια φιλοσοφία με αυτό που κατασκευάστηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Έτσι θα δημιουργηθεί ένα εργαλείο που θα καλύπτει το σύνολο της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.

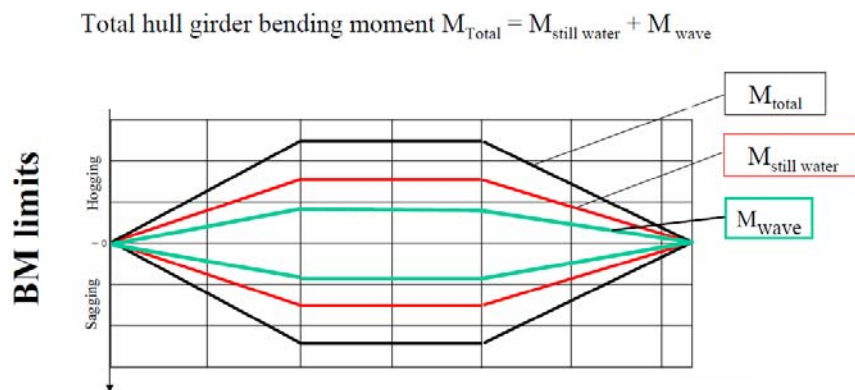
Το πρωραίο μέρος της γάστρας απαρτίζεται από την εγκάρσια φρακτή σύγκρουσης (Collision Bulkhead), τους εγκάρσιους νομείς (Web frames), τους λώρους (Stringers), τα φρεάτια των αλυσίδων (Chain Lockers) και τα breasthook. Παρατίθεται και κατασκευαστικό σχέδιο με προοπτική.



Σχήμα 5.5: Πρώρα

Το περίβλημα πρέπει να ανθίσταται σε στατικά και δυναμικά φορτία από την πίεση της θάλασσας που ασκείται εξωτερικά, καθώς και από τις εσωτερικές πιέσεις που προκαλεί το έρμα. Επιπρόσθετα φορτία προκαλούνται από την παρουσία του βολβού στην πλώρη καθώς, από τις σφυροκρούσεις του πυθμένα κατά την κίνηση του πλοίου και από τα μεγάλα κύματα που μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες παραμορφώσεις στο κύριο κατάστρωμα του προωαίου τμήματος και στα καπάκια των αμπαριών.

Επίσης αν παρομοιάσουμε το σύνολο της γάστρας με μία δοκό, στην προκειμένη περίπτωση τα πλευρικά ελάσματα και η διαμήκης φρακτή (αν έχει) θα αποτελέσουν τον κορμό, που θα μεταφέρει τις διατμητικές τάσεις από το καθαρό βάρος στο πρωραίο άκρο, μέχρι την υδατοστεγή εγκάρσια φρακτή σύγκρουσης. Το κατάστρωμα και ο πυθμένας, αποτελούν τις φλάντζες τις δοκού. Όμως στο πρωραίο και πρυμναίο άκρο οι πρωτεύουσες τάσεις λόγω της γενικής καμπτικής ροπής είναι πάντα μηδενικές, οπότε οι **διαμήκεις τάσεις στην κατασκευή της πρόρας είναι μέτριες.**



Σχήμα 5.6: Καμπτικές ροπές

Υπάρχουν κυρίως δυο τύποι υποστήριξης του πρωραίου σκελετού. Ο ένας είναι αυτός με κύριο ενισχυτικό των πλευρών τους κατακόρυφους νομείς και ο άλλος με κύριο ενισχυτικό των πλευρών διαμήκη ενισχυτικά.

Στην πρώτη περίπτωση, τα εξωτερικά φορτία στα ελάσματα του περιβλήματος, τα παραλαμβάνουν οι κατακόρυφοι εγκάρσιοι νομείς, οι οποίοι υποστηρίζονται από τους λώρους και οι λώροι με την σειρά τους στηρίζονται στην διαμήκη φρακτή. **Ενώ στην δεύτερη περίπτωση, τα φορτία παραλαμβάνονται από τα διαμήκη ενισχυτικά των πλευρικών ελασμάτων, τα οποία υποστηρίζονται από τους νομείς, όπου με την σειρά τους στηρίζονται στους λώρους.** Τα ενισχυτικά τα οποία προσκρούουν υπο γωνία στα ελάσματα έχουν όπως είναι φυσικό μειωμένη απόδοση.

Να σημειωθεί ότι το πρωραίο τμήμα του πλοίου είναι ιδιαίτερα επιρρεπή σε ζημιές στην γάστρα. **Από τις δέκα σημαντικότερες ζημιές σε φορτηγά πλοία μεταφορά πετρελαίου, οι έξι από αυτές παρουσιάζονται στο πρωραίο τμήμα.** Για αυτόν τον λόγο έγινε και η επιλογή του.

Οι πέντε πιο συνήθεις βλάβες που παρατηρούνται σε αυτό το σημείο είναι οι παρακάτω.

- **Διάβρωση** που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της πλευρά του πλοίου στην πλώρα. Σημαντική τοπική διάβρωση στα πλευρά, οδηγεί σε αυξημένες τάσεις και μείωση της αντοχής της κατασκευής στον λυγισμό. Ο τοπικός λυγισμός μπορεί να προκαλέσει απώλεια κάποιων ενισχυτικών και κατ' επέκταση λυγισμό/κατάρρευση των νομέων. Τέλος, η υπερφόρτωση θα οδηγήσει στην κατάρρευση της πλευρά του πλοίου. Οι επιπτώσεις αυτής της βλάβης είναι αρκετά σημαντικές.
 - Χάνεται η υδατοστεγή ακεραιότητα του πλαϊνού περιβλήματος.
 - Χαμένη άντωση που θα οδηγήσει σε αύξηση του πρωραίου βυθίσματος και κατ' επέκταση θα έχει επιπτώσεις στην διαμήκη αντοχή του πλοίου
 - Μειώνεται η ικανότητα παραλαβής των διατμητικών φορτίων που ασκούνται στην γάστρα/δοκό
 - Κατάρρευση της εγκάρσια φρακτής σύγκρουσης, το οποίο αφήνει το πλοίο εκτεθειμένο στα δυναμικά φορτία της θάλασσας.
- **Λυγισμός των λώρων.**
 - Η παραμόρφωση των λώρων μπορεί να προκαλέσει την ανάπτυξη ρωγμών που θα διαπερνούν το περίβλημα της γάστρας, να δημιουργηθεί διαρροή, η οποία στην συνέχεια θα επηρεάσει σημαντικά το βύθισμα και την διαγωγή του πλοίου.
 - Αν αντοχή των λώρων μειωθεί σημαντικά, τότε οι νομείς χάνουν την στήριξη τους.
 - Υπερβολικά φορτία στα διαμήκη ενισχυτικά, μπορούν να οδηγήσουν στην κατάρρευσή τους, με συνέπεια την κατάρρευση της πλευρά του περιβλήματος και τον πλημμυρισμό της πλώρας.
- **Επιπτώσεις στην πλώρη του πλοίου.** Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στην φθορά της πλώρα του πλοίου είναι η γωνία flare της γάστρας, η γωνία της ισάλου γραμμής, το ύψος πάνω από την ίσαλο γραμμή, η ταχύτητα του πλοίου και φυσικά από τις εγκάρσιες και διαμήκη περιστροφές της γάστρας.
 - Λυγισμένα ελάσματα μπορούν να οδηγήσουν σε διαρροή
 - Βλάβες στα διαμήκη ενισχυτικά, μπορεί να μειώσουν την ικανότητα μεταφοράς φορτίων της κατασκευής
 - Και ζημιές στους λώρους και στους νομείς, θα μειώσουν την υποστήριξη των διαμηκών ενισχυτικών που με την σειρά τους μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση της πλευράς του περιβλήματος και πλημμυρισμό.
- Ζημιές στον κυματοθραύστη
- **Ζημιές εξαιτίας των χτυπημάτων στον πυθμένα.** Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στην φθορά του πυθμένα της πλώρας είναι το

βύθισμα του έρματος, το πλάτος του πυθμένα και απόσταση από την προωαία κάθετο. Στις συνέπειες περιλαμβάνονται:

- Μειώνεται η αποτελεσματικότητα της στήριξης των ελασμάτων του από τα διαμήκη ενισχυτικά. Αυτό έχει σαν συνέπεια να ελαττώνεται η αντοχή των ελασμάτων στον λυγισμό. Δεν αποτελεί κρίσιμη περιοχή λόγω του ότι έχει μικρή κάθετη καμπτική ροπή.
- Λυγισμός των εδρών του πυθμένα, που οδηγεί στην μείωση της αντοχής των ενισχυμένων νομέων.
- Απώλειας της υδατοστεγής ακεραιότητας, μπορεί να οδηγήσει σε πλημμυρισμό του διαμερίσματος, το οποία φυσικά θα έχει αντίκτυπο στην διαγωγή και το βύθισμα.

Η κατασκευή του μοντέλου βασίστηκε εν μέρει πάνω στις πιο συχνές βλάβες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

5.3

Επεξήγηση των κόμβων του δυναμικού δικτύου πίστεως

5.3.1

Ομάδες Κόμβων

1. Μηχανισμοί Φθοράς (Πορτοκαλί Χρώμα)

Σε αυτήν την ομάδα κόμβων ανήκουν οι κόμβοι οι οποίοι αναπαριστούν την επίδραση των βασικών μηχανισμών φθοράς στην μεταλλική κατασκευή του πλοίου. Αυτοί οι κόμβοι είναι οι «**Corrosion**» και «**Fatigue**» και όπως αντιλαμβανόμαστε από τον τίτλο τους αναπαριστούν αντίστοιχα την επίδραση της διάβρωσης και της κόπωσης. Σε αυτήν την ομάδα έχουμε συμπεριλάβει και τον κόμβο «**Extensive Deformation**» ο οποίος αναπαριστά τις εκτεταμένες παραμορφώσεις στην μεταλλική κατασκευή του πλοίου και είναι ένας παράγοντας που θεωρήσαμε ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην αξιοπιστία της κατασκευής και πρέπει να περιληφθεί.

2. Κύρια κατασκευαστικά στοιχεία της προωαίας μεταλλικής κατασκευής (Μπλε Χρώμα)

Σε αυτήν την κατηγορία κόμβων περιλαμβάνονται τα στοιχεία που αποτελούν την μεταλλική κατασκευή του πλοίου. Η αλληλεπίδραση τους έγινε με τρόπο ώστε να συνάδει με την θεωρία που αναφέρθηκε εκτενώς στην προηγούμενη παράγραφο. Αυτοί οι κόμβοι είναι οι «**Stringers**», «**Web Frames**», «**Floors**» και «**Long Stiffeners**». Στην δομή μας έχουμε πάρει ως υπόθεση ότι το κύριο κατασκευαστικό στοιχείο της μεταλλικής κατασκευής είναι τα διαμήκη ενισχυτικά (Longitudinal Stiffeners).

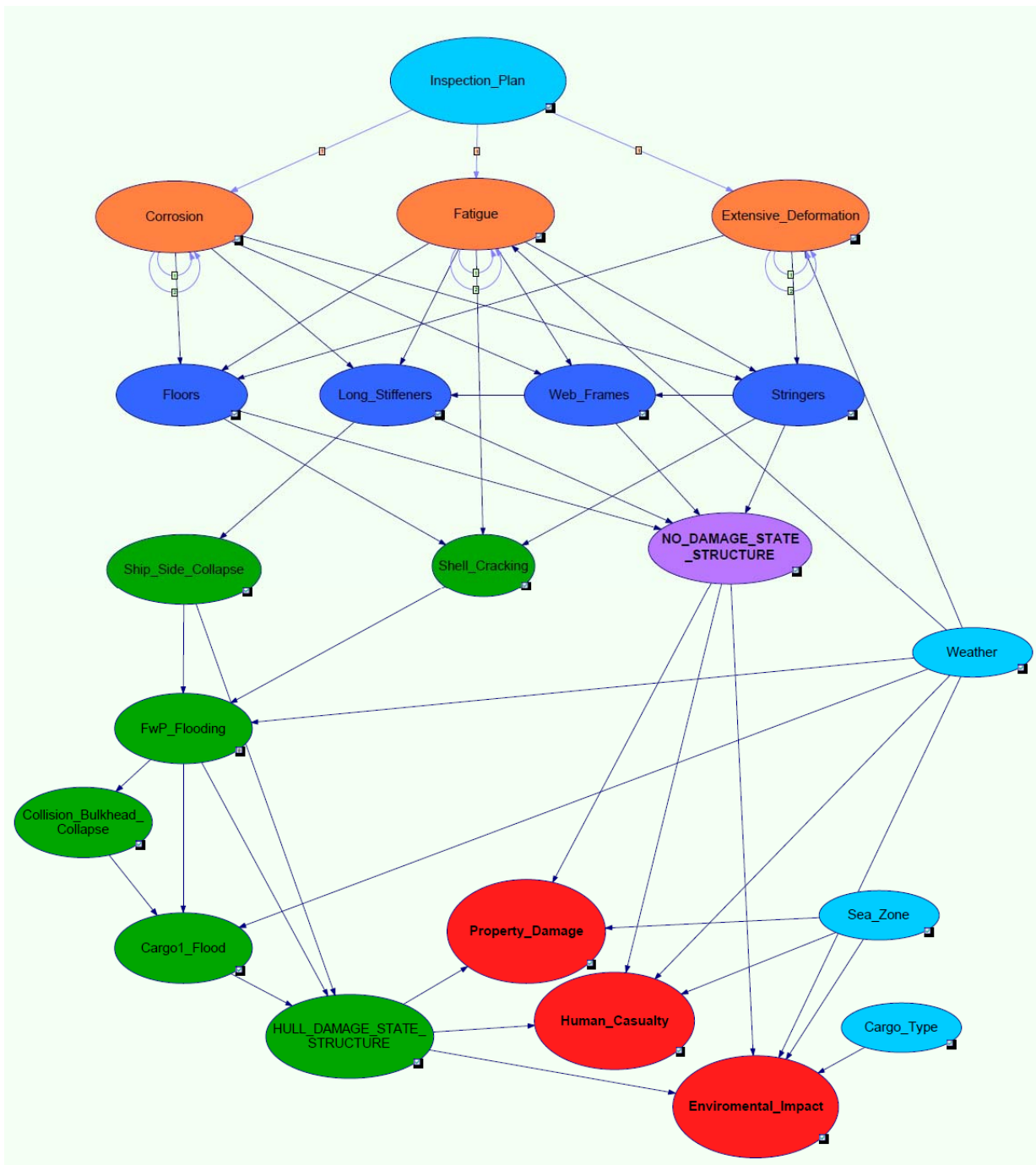
3. Αρχή και διάδοση βλάβης (Πράσινο Χρώμα)

Σε αυτήν την κατηγορία κόμβων περιλαμβάνονται οι κόμβοι οι οποίοι σχετίζονται με την αρχή και διάδοση της βλάβης, όσον αφορά το πρωραίο τμήμα του πλοίου. Η αλληλεπίδραση τους έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να συνάδει με την θεωρία που αναλύσαμε εκτενώς στην προηγούμενη παράγραφο, με σκοπό να προσομοιάσουμε με ένα πιο απλοϊκό τρόπο την πραγματικότητα. Οι κόμβοι αυτοί είναι οι «Shell_Cracking», «Ship_Side_Collapse», «FwP_Flooding», «Collision_Bulkhead_Collapse», «Cargo1_Flood» και ο συγκεντρωτικός κόμβος «HULL_DAMAGE_STATE_STRUCTURE».

4. Επιπλέον παράγοντες ρίσκου (Γαλάζιο Χρώμα)

Σε αυτήν την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται κάποιοι κόμβοι οι οποίοι επιδρούν σημαντικά στο ρίσκο της μεταλλική κατασκευής. Αυτοί οι κόμβοι είναι οι «Weather», «Sea_Zone», «Cargo_Type» και ο κυριότερος κόμβος του μοντέλου μας ο «Inspection_Effectiveness»

Στην επόμενη παράγραφο γίνεται αναλυτική περιγραφή των κόμβων, ανάλογα την ιδιότητα τους.



Σχήμα 5.7: Το τελικό Dynamic Bayesian Network. Φαίνονται οι χρωματικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κόμβοι που τις αποτελούν.

Στην επόμενη παράγραφο θα γίνει αναλυτική παρουσίαση των κόμβων.

5.3.2

Κόμβοι Γονείς

5.3.2.1

Απλοί Κόμβοι Γονείς

1. Inspection_Effectiveness

Ο κόμβος (node) αυτός περιγράφει την ποιότητα της επιθεώρησης που έλαβε χώρα σε χρόνο (t).

Η αποτελεσματικότητα ενός σχεδίου επιθεώρησης μπορεί να περιοριστεί λόγω:

- a) ελλιπής κάλυψης της περιοχής που υπόκεινται σε φθορά
- b) εγγενή περιορισμών των μεθόδων επιθεωρήσεων να εντοπίσουν και να ποσοτικοποιήσουν συγκεκριμένους τύπους φθοράς
- c) επιλογής ακατάλληλων μεθόδων και εργαλείων επιθεώρησης
- d) εφαρμογής μεθόδων και εργαλείων από ανεπαρκώς εκπαιδευμένο προσωπικό
- e) ανεπαρκών διαδικασιών επιθεώρησης
- f) του ότι ο βαθμός επιδείνωσης κάτω από κάποιες συνθήκες μπορεί να αυξήσει την πιθανότητα η βλάβη να συμβεί σε μικρό χρονικό διάστημα, ακόμα κι αν η ζημιά δεν έχει εντοπιστεί κατά την διάρκεια της επιθεώρησης, η μπορεί να συμβεί ως αποτέλεσμα ραγδαίων αλλαγών των επικρατουσών συνθηκών
- g) εσφαλμένης ανάλυσης των αποτελεσμάτων που μπορεί με την σειρά του να οδηγήσει σε εσφαλμένη εκτίμηση των ροπών των στοιχείων και
- h) πιθανοτήτων εντοπισμού των εφαρμοζόμενων τεχνικών NDE για το συγκεκριμένο εξαρτήματος ανάλογα τον τύπο, το υλικό, την θερμοκρασία και γεωμετρία του.

Ο καθορισμός της αποτελεσματικότητας μίας επιθεώρησης πρέπει να λάβει υπόψιν:

- a) το τύπο του εξοπλισμού ή εξαρτήματος
- b) τους ενεργούς και αξιόπιστους μηχανισμούς φθοράς
- c) την ευπάθεια και τον βαθμό φθοράς
- d) τις NDE μεθόδους, την έκταση τους και την συχνότητα τους
- e) την ευκολία ή όχι στην πρόσβαση στο μέρος που υπόκεινται την φθορά

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο θα είναι οι ακόλουθες

- **High_Effectiveness** (Υψηλής αποτελεσματικότητας Επιθεώρηση): Ο έλεγχος της επιφάνειας και η μέτρηση των παχών των ελασμάτων καλύπτει το 50% με 100% αυτής. Επίσης χρησιμοποιούνται πιο εξελιγμένες τεχνικές όπως μέθοδοι NDE.

- **Usual_Effectiveness** (Συνήθης αποτελεσματικότητα Επιθεώρηση): Ο έλεγχος της επιφάνειας καλύπτει το 20% αυτή και η μέτρηση των παχών των ελασμάτων γίνεται τοπικά.
- **No_Inpection** (Καμία επιθεώρηση): Δεν γίνεται κάποιος έλεγχος.

2. Sea_Zone (Ζώνη Θαλάσσης)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την ζώνη θαλάσσης στην οποία βρίσκεται το φορτηγό πλοίο. Το ποσοστό που ένα πλοίο βρίσκεται σε ρηχά νερά (coastal water <12 n.m.) ή σε ανοιχτή θάλασσα (open water >12 n.m.) καθορίζεται από τα δρομολόγια.

Οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- **Open_Water**
- **Coastal_Waters**

Είναι ένας απλός κόμβος οποίος επηρεάζεται κατά βάση από τα δρομολόγια και συμπληρώθηκε συμπεριλαμβάνοντας στατιστικά στοιχεία των δρομολογίων στα έτη 2011,2012,2013 και 2014.

3. Weather (Καιρός)

Ο κόμβος αυτός περιγράφει τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν την εκάστοτε χρονική στιγμή στο θαλάσσιο περιβάλλον. Είναι ένας από του σημαντικότερους κόμβους, όσον αφορά το μοντέλο μας, διότι όλες οι αναφορές που σχετίζονται ζημιά της γάστρας του πλοίου, αναφέρουν ακραίες καιρικές συνθήκες.

Οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- **Nine_Beaufort** (Εννέα Μποφόρ. Κύμα 7-10m. Ψηλά κύματα, οι κορυφές των οποίων αρκετά συχνά αναποδογυρίζουν. Πυκνός αφρός πετάγεται στην κατεύθυνση του αέρα. Τα αερομεταφερόμενα σταγονίδια προκαλούν σημαντική μείωση της ορατότητα.)
- **Seven_Beaufort** (Εφτά Μποφόρ. Κύμα 4-5.5m. Κυματώδης έως πολύ κυματώδης θάλασσα. Μικρές ποσότητες αφρού πετάγονται στην κατεύθυνση του αέρα (καθώς σπάνε τα κύματα). Μικρές ποσότητες αερομεταφερόμενων σταγονιδίων.)
- **Three_Beaufort** (Τρία Μποφόρ. Κύμα 0.5-1m. Ταραγμένη θάλασσα. Οι κορυφές των κυμάτων ξεκινούν να σπάνε.)

Είναι ένας απλός κόμβος, που έχει συμπληρωθεί βάση στατιστικών στοιχείων, που έχουν συγκεντρωθεί την τελευταία δεκαετία.

4. Cargo Type (Είδος φορτίου)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας το πλοίο να έχει κάποιον συγκεκριμένο τύπο φορτίου. Αυτός ο κόμβος επιδρά στην έκταση της μόλυνσης του περιβάλλοντος σε ενδεχόμενο ατύχημα.

Οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- **Tanker**
- **Other_Type_Of_Cargo_Ship**

Είναι ένας απλός κόμβος οποίος συμπληρώθηκε έχοντας ως βάση τα στατιστικά στοιχεία αφορούν τον παγκόσμιο στόλο.

5.3.3

Κόμβοι Παιδιά

5.3.3.1

Δυναμικοί Κόμβοι Παιδιά

1. Corrosion

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά την φθοράς που έχει επέλθει στα ελάσματα λόγω του φαινομένου της διάβρωσης.

Η διάβρωση μπορεί να οδηγήσει σε:

- Χαμένη υδατοστεγή ακεραιότητα του πλαινού περιβλήματος.
- Χαμένη άντωση που θα οδηγήσει σε αύξηση του πρωραίου βυθίσματος και κατ' επέκταση θα έχει επιπτώσεις στην διαμήκη αντοχή του πλοίου
- Μείωση της ικανότητα παραλαβής διατμητικών φορτίων που ασκούνται στην γάστρα/δοκό
- Κατάρρευση της εγκάρσια φρακτής σύγκρουσης, το οποίο αφήνει το πλοίο εκτεθειμένο στα δυναμικά φορτία της θάλασσας.

Είναι ένας κόμβος εξαρτώμενος από την αποτελεσματικότητα της επιθεώρησης, διότι όσο καλύτερη είναι επιθεώρηση και η ενέργειες μετριασμού του φαινομένου (ή αντικατάσταση του ελάσματος), τόσο περιορίζεται και η επίδραση και του βαθμού φθοράς.

Ο κόμβος αυτός είναι δυναμικός και ανάλογα το χρόνο t στο οποίο έχει γίνει η επιθεώρηση και τον βαθμό αποτελεσματικότητας της, επηρεάζετε άμεσα η κατανομή των πιθανοτήτων του.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- **Heavy_Corr** (Υψηλή φθορά λόγω διάβρωσης)
- **Low_Corr** (Μικρή φθορά λόγω διάβρωσης)

Οι κατανομή των πιθανοτήτων του συγκεκριμένου κόμβου συμπληρώνονται βασιζόμενοι σε γνώσεις ειδικών από τον κλάδο των επιθεωρήσεων.

2. Fatigue (Κόπωση)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά την φθοράς που έχει επέλθει στα ελάσματα λόγω του φαινομένου της κόπωσης.

Τα πλοία και οι παράκτιες κατασκευές αντιμετωπίζουν ζημιές λόγω κόπωσης, η οποία προκαλείται κυρίως από κυκλικά φορτία τα οποία δημιουργούνται από τον κυματισμός, καθώς και από τις εξωτερικές και εσωτερικές υδροστατικές πιέσεις.

Η κόπωση έτσι αποτελεί κύρια αιτία δημιουργίας ποικιλόμορφων ρωγματώσεων σε συγκολλημένα και μη στοιχεία της κατασκευής.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- **High_Fatigue_Rate** (Υψηλή βαθμός φθοράς λόγω Κόπωσης)
- **Low_Fatigue_Rate** (Χαμηλός βαθμός φθοράς λόγω Κόπωσης)

Οι κατανομή των πιθανοτήτων του συγκεκριμένου κόμβου συμπληρώνονται βασιζόμενοι σε γνώσει ειδικών από τον κλάδο των επιθεωρήσεων.

3. Extensive_Deformation (Εκτενής Παραμορφώσεις)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά την φθοράς που έχει επέλθει στην κατασκευαστική δομή της πλώρας λόγω εκτενών παραμορφώσεων.

Οι παραμορφώσεις της κατασκευής μπορούν να προκληθούν από φορτία εντός ή εκτός απο τον άξονα της μεγαλύτερης πλευράς του ελάσματος. Παραμορφώσεις των πλευρικών ελασμάτων στο πρωραίο τμήμα του πλοίου στο κύριο κατάστρωμα

και στα πλευρικά ελάσματα, μπορούν να προκληθούν από την επαφή με τα κύματα, ενώ στα ελάσματα τους πυθμένα από την σφυρόκρουση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ εξωτερικά οι παραμορφώσεις μπορεί να φαίνονται μικρές, μπορεί να έχουν προκαλέσει βαριές εσωτερικές ζημιές στα ανάλογα κατασκευαστικά στοιχεία του πλοίου.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- **Ext_Deformation** (Εκτεταμένες παραμορφώσεις)
- **Insignificant_Deformation** (Αμελητέες παραμορφώσεις)

Οι κατανομή των πιθανοτήτων του συγκεκριμένου κόμβου συμπληρώνονται βασιζόμενοι σε γνώσει ειδικών από τον κλάδο των επιθεωρήσεων.

5.3.3.2

Απλοί Κόμβοι Παιδιά

1. Floors (Εδρες)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά την υποβάθμιση της κατάστασης των εδρών. Η κατανομή αυτή είναι εξαρτημένη από τους κόμβους «Corrosion», «Fatigue» και «Extensive_Deformation».

Η κόπωση και η διάβρωση των εδρών μειώνει την ικανότητα τους να παραλαμβάνουν φορτία και η εκτεταμένη παραμόρφωση τους, μπορεί να προκαλέσει ρωγμές στο περίβλημα του πρωραίου τμήματος που να το διαπερνούν. Εκτεταμένες παραμορφώσεις στις έδρες της πλώρας, μπορούν να προκληθούν σε ακραία καιρικά φαινόμενα, λόγω έντονων σφυροκρούσεων του ελάσματος του πυθμένα. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε μεγάλα φορτηγά πλοία, η έντονη σφυρόκρουση του πυθμένα αποτελεί σπάνιο φαινόμενο.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **High_Deg_Floors** (Σημαντική φθορά των εδρών)
- b. **Low_Deg_Floors** (Αμελητέα φθορά των εδρών)

Οι δεσμευμένες πιθανότητες του συγκεκριμένου κόμβου συμπληρώνονται βάση εμπειρικών γνώσεων, έτσι ώστε να δίνει τιμές που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

2. Stringers (Λώροι/Διαδοκίδες)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά την υποβάθμιση της κατάστασης των stringers. Η κατανομή αυτή είναι εξαρτημένη από τους κόμβους «Corrosion», «Fatigue» και «Extensive_Deformation».

Η κόπωση και η διάβρωση των stringers μειώνει την ικανότητα τους να παραλαμβάνουν φορτία, με αποτέλεσμα να χάνεται η υποστήριξη που κανονικά προσφέρουν στους εγκάρσιους νομείς. Επιπρόσθετα η εκτεταμένη παραμόρφωση τους, μπορεί να προκαλέσει ρωγμές στο σημείο που ενώνονται με το περίβλημα του πρωαίου τμήματος, οι οποίες να το διαπερνούν.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **High_Deg_Str** (Σημαντική φθορά των λώρων)
- b. **Low_Deg_Str** (Αμελητέα φθορά των λώρων)

Οι δεσμευμένες πιθανότητες του συγκεκριμένου κόμβου συμπληρώνονται βάση εμπειρικών γνώσεων, έτσι ώστε να δίνει τιμές που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

3. Web_Frames (Εγκάρσιοι Νομείς)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά την υποβάθμιση της κατάστασης των εγκάρσιων νομέων. Η κατανομή αυτή είναι εξαρτημένη από τους κόμβους «Corrosion», «Fatigue» και «Stringers».

Η κόπωση και η διάβρωση των εγκάρσιων νομέων μειώνει την ικανότητα τους να παραλαμβάνουν φορτία, με αποτέλεσμα να χάνεται η υποστήριξη που κανονικά προσφέρουν στα διαμήκη ενισχυτικά.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **High_Deg_WF** (Σημαντική φθορά των εγκάρσιων νομέων)
- b. **Low_Deg_WF** (Αμελητέα φθορά των εγκάρσιων νομέων)

Οι δεσμευμένες πιθανότητες του συγκεκριμένου κόμβου συμπληρώνονται βάση εμπειρικών γνώσεων, έτσι ώστε να δίνει τιμές που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

4. Long_Stiffeners (Διαμήκη Ενισχυτικά)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά την υποβάθμιση της κατάστασης των διαμηκών ενισχυτικών. Η κατανομή αυτή είναι εξαρτημένη από τους κόμβους «Corrosion», «Fatigue» και «Web_Frames».

Η κόπωση και η διάβρωση των διαμήκη ενισχυτικών μειώνει την ικανότητα τους να παραλαμβάνουν φορτία (κάτι που μπορεί να προκαλέσει και την κατάρρευση τους), με αποτέλεσμα να χάνεται η υποστήριξη που κανονικά προσφέρουν στα πλευρικά ελάσματα του περιβλήματος.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **High_Deg_LongStf** (Σημαντική φθορά των λώρων)
- b. **Low_Deg_LongStf** (Αμελητέα φθορά των λώρων)

Οι δεσμευμένες πιθανότητες του συγκεκριμένου κόμβου συμπληρώνονται βάση εμπειρικών γνώσεων, έτσι ώστε να δίνει τιμές που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

5. Shell_Cracking (Ρωγμές Περιβλήματος)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά τις ρωγμές στα ελάσματα του περιβλήματος της γάστρας, δηλαδή του κύριου καταστρώματος του προραίου τμήματος, του πυθμένα και των πλευρικών ελασμάτων. Η κατανομή αυτή είναι εξαρτημένη από τους κόμβους «Fatigue», «Floors» και «Stringers».

Εξαιτίας ρωγμών στο περίβλημα χάνεται η υδατοστεγανότητα του προραίου τμήματος και μπορεί να έχουμε εισροές υδάτων. Υψηλού ρυθμού εισροή υδάτων μπορεί να οδηγήσει στο κατακλυσμό τμήματος ή και ολόκληρης της πλώρης.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **Severe_Cracking** (Σημαντικού αριθμού και έκτασης ρωγμές)
- b. **Low_Cracking** (Αμελητέου αριθμού και έκτασης ρωγμές)

Οι δεσμευμένες πιθανότητες του συγκεκριμένου κόμβου συμπληρώνονται βάση εμπειρικών γνώσεων, έτσι ώστε να δίνει τιμές που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

6. Ship_Side_Collapse

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά την κατάρρευση του πλευρικού ελάσματος. Η κατανομή αυτή είναι άμεσα εξαρτημένη από τον κόμβο «Long_Stiffeners», διότι για την κατασκευή του μοντέλου έχουν θεωρηθεί τα διαμήκη ενισχυτικά ως το κύριο ενισχυτικό των πλευρικών ελασμάτων.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **SP_Col_True** (Κατάρρευση του πλευρικού ελάσματος)
- b. **SP_Col_False** (Μη Κατάρρευση του πλευρικού ελάσματος)

Οι δεσμευμένες πιθανότητες του συγκεκριμένου κόμβου συμπληρώνονται βάση εμπειρικών γνώσεων έτσι ώστε, στην πάροδο του χρόνου που τρέχει το πρόγραμμα, να δίνει τιμές που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

7. FwP_Flooding (Κατακλυσμός των προραίων δεξαμενών)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά τον κατακλυσμό των δεξαμενών του προραίου τμήματος του πλοίου. Η κατανομή αυτή είναι εξαρτημένη όπως αναλύεται και παραπάνω από τους κόμβους «Shell_Cracking», «Ship_Side_Collapse» και «Weather».

Ο κατακλυσμός του προραίου τμήματος, μπορεί να προκαλέσει μείωση της άντωσης του πλοίου καθώς και μεγάλη αύξηση του προραίου βυθίσματος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε έκθεση του κύριου καταστρώματος της πλώρας στα δυναμικά φορτία από κυματισμό, που συνεπάγεται πιθανή εισροή υδάτων (από ζημιές στα καπάκια του πρώτου αμπαριού ή από τους αεραγωγούς).

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **Flooding** (Κατακλυσμός του προραίου τμήματος)
- b. **Massive_Water_Inflow** (Μεγάλη εισροή υδάτων)
- c. **No_Water_Inflow** (Καμία εισροή υδάτων)

Οι δεσμευμένες πιθανότητες του συγκεκριμένου κόμβου συμπληρώνονται βάση εμπειρικών γνώσεων έτσι ώστε, στην πάροδο του χρόνου που τρέχει το πρόγραμμα, να δίνει τιμές που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

8. Collision_Bulkhead_Collapse

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά την κατάρρευση του εγκάρσια φρακτής σύγκρουσης. Η κατανομή αυτή είναι εξαρτημένη τον κόμβο «FwP_Flooding». Ζημιές στην φρακτή σύγκρουσης θα οδηγήσουν σε εισροή υδάτων στο παραπλήσιο αμπάρι φορτίου.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **Col_Bulk_Colla_True** (Κατάρρευση εγκάρσια φρακτής σύγκρουσης)
- b. **Col_Bulk_Colla_False** (Μη Κατάρρευση εγκάρσια φρακτής σύγκρουσης)

9. Cargo1_Flooding (Κατακλυσμός του πρώτου αμπαριού)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας που αφορά τον κατακλυσμό του πρώτου από την πρόρα αμπαριού. Η κατανομή αυτή είναι εξαρτημένη τον κόμβο «Collision_Bulkhead_Collapse», «FwP_Flooding» και «Weather».

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **Cargo1_Fl_True** (Κατακλυσμός του πρώτου αμπαριού)
- b. **Cargo1_Fl_False** (Μη Κατακλυσμός του πρώτου αμπαριού)

10. Hull_Damage_State_Structure (Συνολική κατάσταση της βλάβης της μεταλλικής κατασκευής)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας του συγκεντρωτικού κόμβου που αφορά την συνολική κατάσταση της βλάβης της κατασκευής. Η κατανομή αυτή είναι εξαρτημένη τους κόμβους της ομάδας «Αρχή και διάδοση βλάβης».

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **Total_Loss** (Απώλεια Πλοίου)
- b. **Serious_Damage** (Σοβαρή Ζημιά)
- c. **Minor_Damage** (Αμελητέα Ζημιά)

11. **No_Damage_State_Structure** (Συνολική κατάσταση της μεταλλικής κατασκευής ανεξάρτητα βλάβης)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας του συγκεντρωτικού κόμβου που αφορά την συνολική κατάσταση της κατασκευής, ανεξάρτητα της βλάβης. Η κατανομή αυτή είναι εξαρτημένη τους κόμβους της ομάδας «Μηχανισμοί Φθοράς».

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **Good_Cond** (Καλή Κατάσταση)
- b. **Moderate_Cond** (Μέτρια Κατάσταση)
- c. **Bad_Cond** (Κακή Κατάσταση)

5.3.4

Κόμβοι Στόχοι

Οι κόμβοι στόχοι αποτελούνται από την ομάδα κόμβων «Συνέπειες».

1. **Property_Damage** (Ζημιά Περιουσίας)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας του κόμβου που αφορά τις επιπτώσεις στην περιουσία.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **High_Prop_Damage** (Σημαντικές Επιπτώσεις στην Περιουσία)
- b. **Moderate_Prop_Damage** (Μέτριες Επιπτώσεις στην Περιουσία)
- c. **Insignificant_Prop_Damage** (Αμελητέες Επιπτώσεις στην Περιουσία)

2. **Human_Casualty** (Επιπτώσεις στο Ανθρώπινο Προσωπικό)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας του κόμβου που αφορά τις επιπτώσεις στο ανθρώπινο προσωπικό.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **Loss_of_Life** (Απώλεια Ζωής)
- b. **Injury** (Τραυματισμός)
- c. **No_Injury** (Κανένας Τραυματισμός)

3. **Enviromental_Impact** (Επιπτώσεις στο Περιβάλλον)

Ο κόμβος αυτός προσδιορίζει την κατανομή της πιθανότητας του κόμβου που αφορά τις επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Οπότε οι καταστάσεις για αυτόν τον κόμβο είναι οι ακόλουθες:

- a. **High_Env_Impact** (Σημαντικές Επιπτώσεις στο Περιβάλλον)
- b. **Moderate_Env_Impact** (Μέτριες Επιπτώσεις στην Περιουσία)
- c. **Insignificant_Env_Impact** (Αμελητέες Επιπτώσεις στο Περιβάλλον)

Στο **Παράρτημά Β**, παρατίθενται αναλυτικά οι δεσμευμένες πιθανότητες όλων των κόμβων του μοντέλου (Conditional Probability Distribution - CPD). Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, η συμπλήρωση των προγενέστερων πιθανοτήτων έγινε σε συνεργασία με εμπειρογνώμονες του χώρου των επιθεωρήσεων.

5.4

Επεξήγηση των κόμβων του Influenced Diagram

5.4.1

Κόμβοι Απόφασης

1. **Total_Risk**

Ο κόμβος αυτός είναι ο μοναδικός κόμβος απόφασης του μοντέλου. Όταν τρέχουμε το μοντέλο ο κόμβος αυτός συγκεντρώνει τα συνολικά τελικά ρίσκα. Συνεπώς αυτά τα αποτελέσματα είναι πολύ σημαντικά και αποτελούν οδηγό για την λήψη της τελικής απόφασης για την βέλτιστη δυνατή στρατηγική επιθεωρήσεων.

5.4.2

Κόμβοι Τύχης

1. **Inspection_Cost**

2. **Property_Damage**

3. Human_Casualty**4. Enviromental_Impact**

Αυτοί οι κόμβοι έχουν τις ίδιες καταστάσεις με του ομώνυμους κόμβους που έχουμε ορίσει για το DBN. Οι δεσμευμένες πιθανότητες τους ορίζονται βάση των αποτελεσμάτων του DBN.

5.4.3

Κόμβοι Χρηστικότητας

- 1. Inspection_Cost**
- 2. Cost_Property_Damage**
- 3. Cost_of_Human_Casualty**
- 4. Cost_of_Enviromental_Impact**

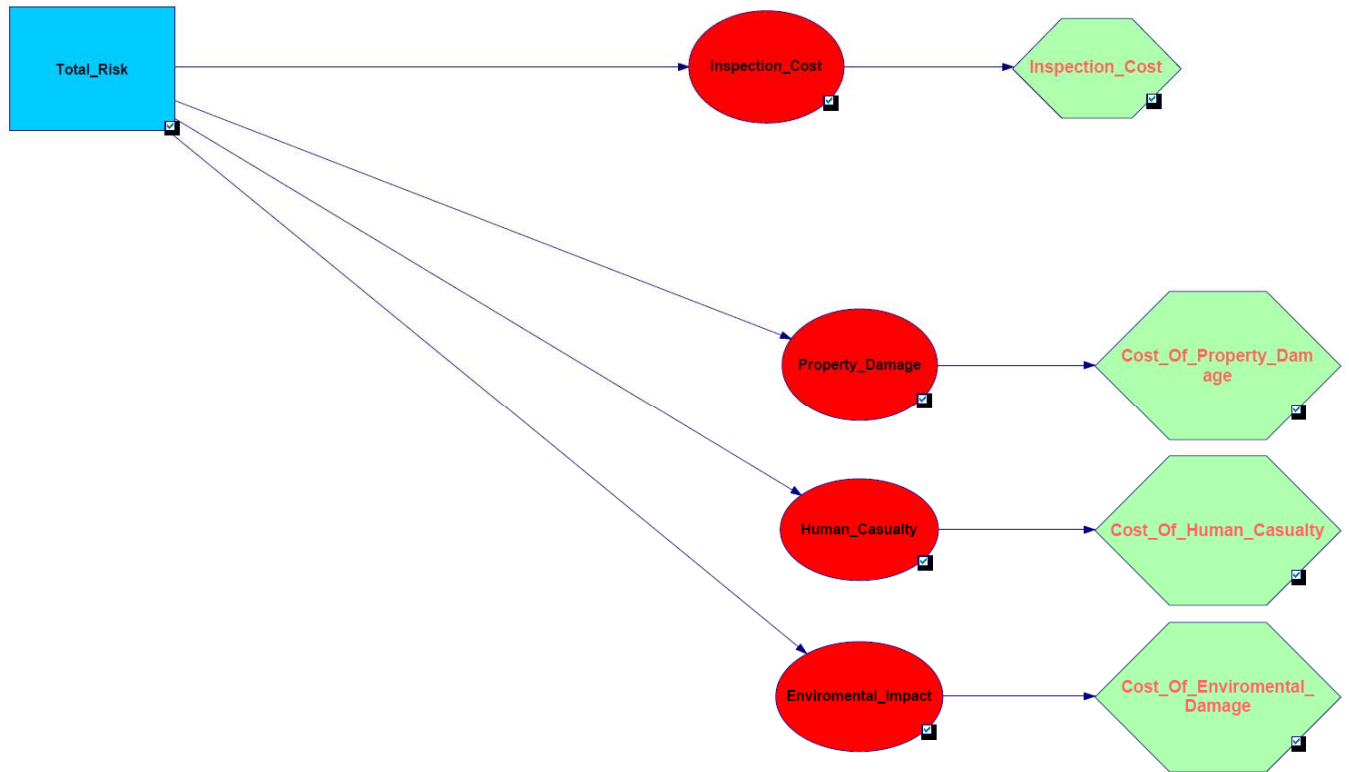
Αυτοί οι κόμβοι συσχετίζουν τις συνέπειες με οικονομικές μονάδες και με τον τρόπο αυτό, υπολογίζονται τα αντίστοιχα ρίσκα.

Οι χρηματικές μονάδες που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ρίσκων:

- Η τιμή ενός μέσου γενικού φορτίου πλοίου βάση της οικονομικής βάσης δεδομένων που παρείχε η Clarksons είναι περίπου στα 12000000 USD
- Η μέση τιμή ροής πετρελαίου ανα γεγονός υπολογίζεται γύρω στους 120t (IMO, 2010).
- Το κόστος εκροής πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον υπολογίζεται βάση του τύπου $Cost\ oil\ spill = 67275 * V ^ 0.8593$ (IMO, 2011).
- Το κόστος της συνέπειας που αφορά την απώλεια ζωής είναι περίπου 3000000 USD (Skjong et al., 2007).

Οι υπόλοιπες καταστάσεις συνδέθηκαν με χρηματικές μονάδες κατά προσέγγιση βάση γνώσεων εμπειρογνομόνων του χώρου των επιθεωρήσεων στην ναυτιλία.

Στο Σχήμα 5.8 παρατίθεται το τελικό μοντέλο επιρροής.



Σχήμα 5.8: Το τελικό μοντέλο επιρροής – Influenced Diagram

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ DYNAMIC BAYESIAN NETWORK ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΙΑ ΕΝΑ ΝΑΥΤΙΚΟ ΑΤΥΧΗΜΑ ΓΙΑ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ.

6.1

Εφαρμογή του Dynamic Bayesian Network για διάφορες στρατηγικές επιθεωρήσεων

Το Dynamic Bayesian μοντέλο είναι ένα ουσιαστικά εργαλείο που κατασκευάστηκε κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, για να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό του βέλτιστου πλάνου επιθεωρήσεων και επιδιορθωτικών ενεργειών.

Το εκάστοτε πλάνο επιθεώρησής θα χαρακτηρίζεται από το μέγεθος των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των επιθεωρήσεων και από την αποτελεσματικότητα της επιθεώρησης (Inspection Effectiveness). Όπως έχει αναφερθεί και εκτενώς σε προηγούμενη παράγραφο, η αποτελεσματικότητα της επιθεώρησης εξαρτάται κατά βάση από το προσωπικό που εκτελεί τις εργασίες, τα τεχνικά μέσα που χρησιμοποιούνται και η έκταση της επιθεώρησης τους χώρους του πλοίου.

Για να γίνει η προσομοίωση για το αν έχει επιτευχθεί ή όχι και αν ναι τι τύπος επιθεώρησης ορίζουμε για κάθε χρονικό (το μοντέλο το τρέχουμε για 15 χρονικές στιγμές) μία συγκεκριμένη κατάσταση του κόμβου «Inspection_Plan». Οι καταστάσεις του κόμβου είναι «No_Inspection», «Usual_Effectiveness» και «High_Effectiveness». Στην πραγματικότητα η «Usual_Effectiveness» επιθεώρηση αντιστοιχεί στις «Ενδιάμεσες Επιθεωρήσεις» και η «High_Effectiveness» αντιστοιχεί στις «Ειδικές επιθεωρήσεις»

Αρχικά θα καθορίσουμε πέντε (6) στρατηγικές επιθεωρήσεων, όπως αυτές αναλύονται παρακάτω.

Οι στρατηγικές είναι οι ακόλουθες:

- A. Καμία Επιθεώρηση
- B. Επιθεωρήσεις «Usual_Effectiveness» για [t5 & t10] – «No_Inspection» [για του υπόλοιπους χρόνους]

Στο συγκεκριμένο πλάνο επιθεωρήσεων, γίνεται μία μέτριας αποτελεσματικότητας επιθεώρηση ανα διαστήματα 5 χρονικών στιγμών.

- C. Επιθεωρήσεις «High_Effectiveness» για [t5 & t10] – «No_Inspection» [για του υπόλοιπους χρόνους]

Στο συγκεκριμένο πλάνο επιθεωρήσεων, γίνεται μία υψηλής αποτελεσματικότητας επιθεώρηση ανα διαστήματα 5 χρονικών στιγμών.

- D.** Επιθεώρηση «High_Effectiveness» για [t5] – «No_Inspection» [για του υπόλοιπους χρόνους]

Στο συγκεκριμένο πλάνο επιθεωρήσεων, γίνεται μία υψηλής αποτελεσματικότητας επιθεώρηση μόνο κατά την χρονική στιγμή t5. Οπότε μέχρι το t15 έχουν περάσει 10 χρόνοι χωρίς επιθεώρηση.

- E.** Επιθεωρήσεις «High_Effectiveness» για [t5 & t10] – Τρεις ενδιάμεσες επιθεωρήσεις «Usual_Effectiveness» για [t3 , t8 & t13] - «No_Inspection» [για του υπόλοιπους χρόνους]

Στο συγκεκριμένο πλάνο επιθεωρήσεων, γίνονται υψηλής αποτελεσματικότητας επιθεωρήσεις μόνο κατά την χρονική στιγμή t5 και t10 και τρεις ενδιάμεσες επιθεωρήσεις κατά τους χρόνους t3, t8 και t13. Είναι το κλασσικό πλάνο επιθεωρήσεων που ακολουθούν οι νηογνώμονες.

- F.** Επιθεωρήσεις «High_Effectiveness» για [t5 & t10] – Τρεις ενδιάμεσες επιθεωρήσεις «Usual_Effectiveness» για [t1, t3 , t6, t8, t11 & t13] - «No_Inspection» [για του υπόλοιπους χρόνους]

Στο συγκεκριμένο πλάνο επιθεωρήσεων, γίνονται υψηλής αποτελεσματικότητας επιθεωρήσεις μόνο κατά την χρονική στιγμή t5 και t10 και τρεις ενδιάμεσες επιθεωρήσεις κατά τους χρόνους t3 , t6, t8, t11 και t13.

Είναι μία παραλλαγή του Plan E με επιπρόσθετες ενδιάμεσες επιθεωρήσεις. Αποτελεί μία αρκετά συντηρητική επιλογή και θα έχει ενδιαφέρον η σύγκριση των αποτελεσμάτων του με το Plan E και η λήψη της απόφασης για το αν τελικά συμφέρει ως εναλλακτική.

6.1.1

Οι επιπτώσεις του πλάνου επιθεωρήσεων στους μηχανισμούς φθοράς.

Σε αυτήν την παράγραφο θα γίνει παρουσίαση της επίδρασης που έχει το πλάνο των επιθεωρήσεων στους μηχανισμούς φθοράς. Δηλαδή την επίδραση του στις επιπτώσεις των μηχανισμών φθοράς πάνω στην μεταλλική κατασκευή του πλοίου.

Για παράδειγμα, αν έχει γίνει την χρονική στιγμή t_5 μία επιθεώρηση υψηλής αποτελεσματικότητας (με παχυμετρήσεις των ελασμάτων χρησιμοποιώντας NDE τεχνικές, με διορθωτικές ενέργειες όπου απαιτείται και έλεγχο μεγάλης έκτασης), την χρονική στιγμή t_6 , οι πιθανότητες να υπάρχει υψηλή διάβρωση στην μεταλλική κατασκευή θα είναι εμφανώς μειωμένες. Ακόμα και καμία ενέργεια μετριάσμου του φαινομένου να μην έχει λάβει χώρα κατά την διάρκεια της επιθεώρησης και μόνο η γνώση της υπάρχουσας κατάστασης θα οδηγήσει στην μείωση των πιθανοτήτων γιατί θα παρέχει στον επιθεωρητή τις απαραίτητες γνώσεις για να μπορεί να προβλέψει, τότε μία φθορά θα φτάσει σε κρίσιμο σημείο.

Έτσι στην συνέχεια και γίνει παρουσίαση των μεταγενέστερων πιθανοτήτων των κόμβων που αντιπροσωπεύουν του μηχανισμούς φθοράς, που επιδρούν στην κατασκευή του πλοίου. Δηλαδή τους “Corrosion”, “Fatigue” και “Extensive_Deformation”.

Στο Πίνακα 6.1 φαίνεται η διαχρονική εξέλιξη των μηχανισμών φθοράς καθώς και κάποια ποσοστιαία συγκριτικά στοιχεία μεταξύ των πλάνων ανα χρονική στιγμή. Αυτά κρύβουν και την ουσία. Ουσιαστικά ο πίνακας παρουσιάζει του ρυθμούς φθοράς. Οι μειώσεις των ποσοστών γίνονται αντιληπτές στο επόμενο χρονικό βήμα από αυτό που έγινε η επιθεώρηση. Το κίτρινο χρώμα αντιστοιχεί στις μειώσεις που οφείλονται στις «Usual_Effectiveness» Επιθεωρήσεις και το πορτοκαλί στις «High_Effectiveness» επιθεωρήσεις.

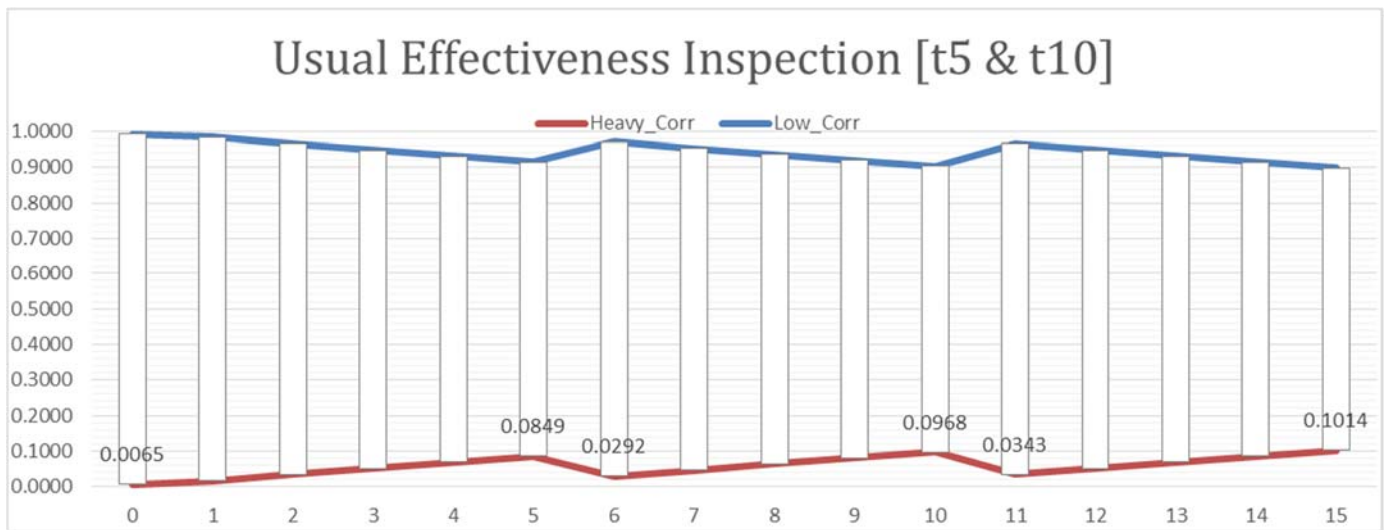
Στην συνέχεια παρατίθενται και τα Σχήμα 6.1, Σχήμα 6.2, Σχήμα 6.3 και Σχήμα 6.4 που φαίνεται το ίδιο πράγμα σε σχεδιάγραμμα.

«Corrosion»

Για τον κόμβο της διάβρωσης θα γίνει αναλυτικότερη παρουσίαση για να γίνουν κάποιες παρατηρήσεις πάνω στα αποτελέσματα. Η παρατηρήσεις ισχύουν κατά αντιστοιχία και για τους άλλους δύο κόμβους των μηχανισμών φθοράς.

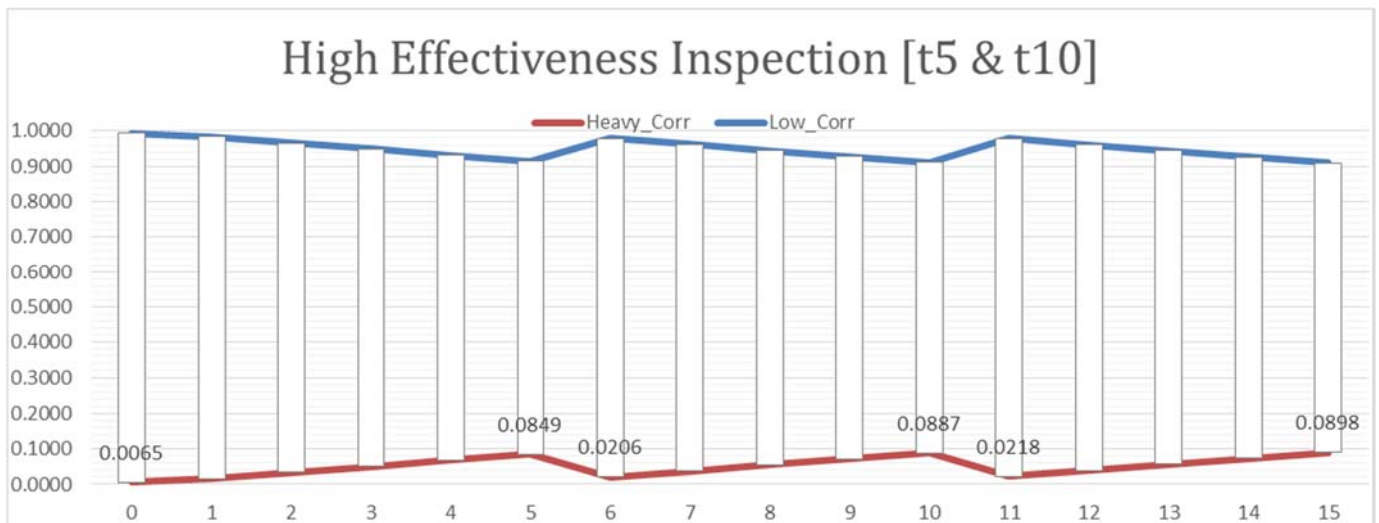
Πίνακας 6.1: Οι μεταγενέστερες πιθανότητες του κόμβου «Corrosion», ανάλογα το πλάνο επιθεωρήσεων..

A																
ΚΑΜΙΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ																
t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Heavy_Corr	0.0065	0.0159	0.0337	0.0510	0.0681	0.0849	0.1014	0.1175	0.1334	0.1490	0.1643	0.1794	0.1942	0.2087	0.2229	0.2369
Low_Corr	0.9935	0.9841	0.9663	0.9490	0.9319	0.9151	0.8986	0.8825	0.8666	0.8510	0.8357	0.8206	0.8058	0.7913	0.7771	0.7631
B																
USUAL EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Heavy_Corr	0.0065	0.0159	0.0337	0.0510	0.0681	0.0849	0.0292	0.0462	0.0634	0.0802	0.0968	0.0343	0.0511	0.0682	0.0850	0.1014
Low_Corr	0.9935	0.9841	0.9663	0.9490	0.9319	0.9151	0.9708	0.9538	0.9366	0.9198	0.9032	0.9657	0.9489	0.9318	0.9150	0.8986
C																
HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Heavy_Corr	0.0065	0.0159	0.0337	0.0510	0.0681	0.0849	0.0206	0.0377	0.0550	0.0720	0.0887	0.0218	0.0388	0.0561	0.0731	0.0898
Low_Corr	0.9935	0.9841	0.9663	0.9490	0.9319	0.9151	0.9794	0.9623	0.9450	0.9280	0.9113	0.9782	0.9612	0.9439	0.9269	0.9102
Συγκρίσεις																
C με B	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-41.78%	-22.61%	-15.21%	-11.41%	-9.09%	-57.51%	-31.76%	-21.57%	-16.26%	-13.00%
C με A	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-392.27%	-212.01%	-142.62%	-106.97%	-85.26%	-724.55%	-400.49%	-271.98%	-205.00%	-163.89%
D																
HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5]																
Heavy_Corr	0.0065	0.0159	0.0337	0.0510	0.0681	0.0849	0.0206	0.0377	0.0550	0.0720	0.0887	0.1051	0.1212	0.1370	0.1526	0.1678
Low_Corr	0.9935	0.9841	0.9663	0.9490	0.9319	0.9151	0.9794	0.9623	0.9450	0.9280	0.9113	0.8949	0.8788	0.8630	0.8474	0.8322
Συγκρίσεις																
D με C	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	79.30%	68.00%	59.07%	52.10%	46.51%
D με B	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-41.78%	-22.61%	-15.21%	-11.41%	-9.09%	67.40%	57.83%	50.24%	44.31%	39.56%
D με A	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-392.27%	-212.01%	-142.62%	-106.97%	-85.26%	-70.66%	-60.17%	-52.27%	-46.10%	-41.16%
E																
USUAL EFFECTIVENESS INSPECTION [t3, t8 & t13] και HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Heavy_Corr	0.0065	0.0159	0.0337	0.0510	0.0147	0.0322	0.0046	0.0223	0.0399	0.0100	0.0275	0.0032	0.0209	0.0385	0.0094	0.0270
Low_Corr	0.9935	0.9841	0.9663	0.9490	0.9853	0.9678	0.9954	0.9777	0.9601	0.9900	0.9725	0.9968	0.9791	0.9615	0.9906	0.9730
Συγκρίσεις																
E με C	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-362.26%	-164.00%	-349.15%	-69.20%	-37.95%	-622.72%	-222.29%	-589.93%	-85.72%	-45.66%	-678.74%	-232.93%
F																
USUAL EFFECTIVENESS INSPECTION [t1, t3, t6, t8, t11 & t13] και HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Heavy_Corr	0.0065000	0.0159383	0.0033393	0.0211671	0.0020255	0.0198213	0.0007734	0.0008559	0.0188361	0.0009841	0.0188097	0.0004611	0.0007250	0.0187091	0.0009292	0.0187564
Low_Corr	0.9935000	0.9840618	0.9966607	0.9788329	0.9979745	0.9801787	0.9992266	0.9991441	0.9811639	0.9990159	0.9811903	0.9995389	0.9992750	0.9812909	0.9990708	0.9812436
Συγκρίσεις																
F - E	0.00%	0.00%	-907.73%	-141.16%	-627.62%	-62.24%	-492.85%	-2501.50%	-111.65%	-912.38%	-46.33%	-583.81%	-2781.09%	-105.85%	-909.98%	-43.76%



Σχήμα 6.1: «Corrosion» στο B πλάνο επιθεωρήσεων

Στο Σχήμα 6.1 η πιθανότητα για υψηλή διάβρωση μετά τις επιθεωρήσεις είναι αντίστοιχα 2.91 % και 3.43%. Παρατηρούμε ότι παρα το γεγονός ότι εκτελείται η ίδιου τύπου επιθεώρηση, η επίδραση της είναι μειωμένη κατά 15% την χρονική στιγμή t11. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της επίδρασης της γήρανσης της γάστρας με την πάροδο του χρόνου.



Σχήμα 6.2: «Corrosion» στο C πλάνο επιθεωρήσεων

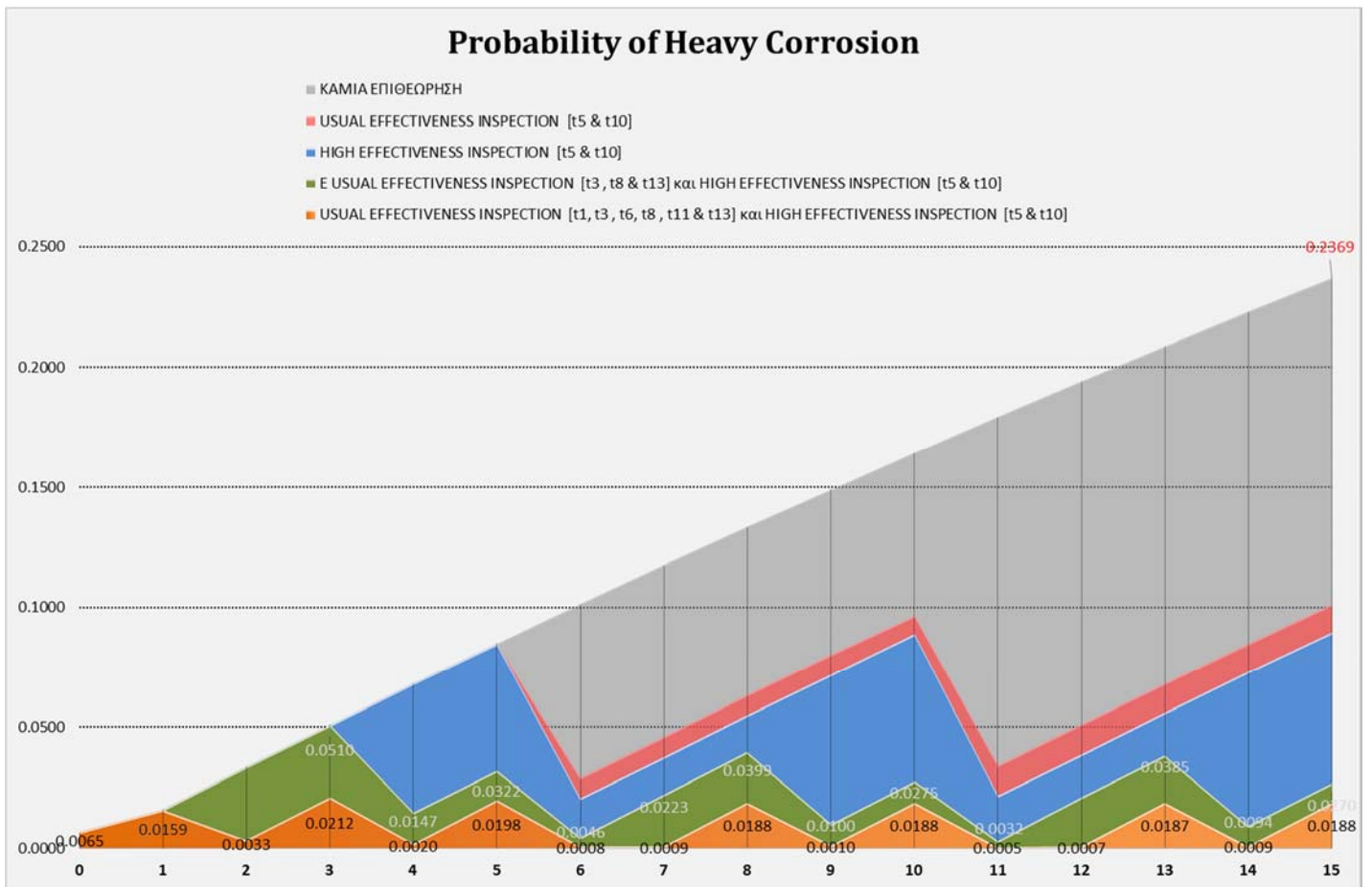
Στο Σχήμα 6.2 η πιθανότητα για υψηλή διάβρωση μετά τις επιθεωρήσεις είναι αντίστοιχα 2.06 % και 2.18%. Παρατηρούμαι πάλι την επίδραση της γήρανσης της γάστρας του πλοίου αλλά επειδή οι επιθεωρήσεις είναι υψηλής αποτελεσματικότητας, η επίδραση αυτή είναι πολύ μικρότερη. Για τον λόγο αυτό την χρονική στιγμή t11, η πιθανότητα για υψηλή διάβρωση είναι μόλις 5% μεγαλύτερη από την χρονική στιγμή t6.

Στο παρακάτω Σχήμα 6.3 θα παρατίθενται η διαχρονική εξέλιξη των μεταγενέστερων πιθανοτήτων του Plan E.



Σχήμα 6.3: «Corrosion» στο Plan C επιθεωρήσεων

Το Σχήμα 6.4 παραθέτει σχηματικά τις πιθανότητες για υψηλή διάβρωση στο πέρασμα του χρόνου για τα 5 βασικά πλάνα επιθεωρήσεων.



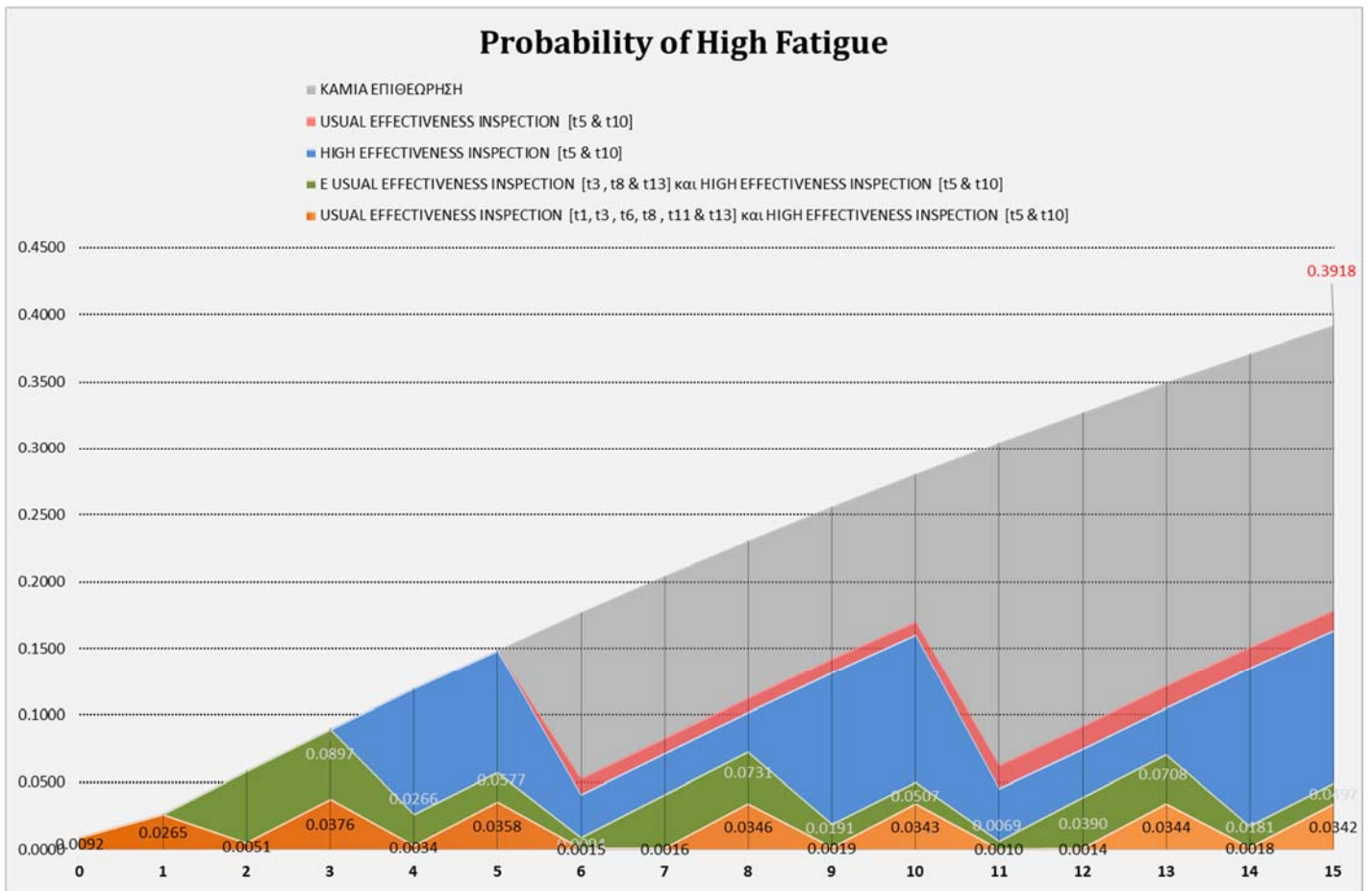
Σχήμα 6.4: Συγκριτικό σχήμα του κόμβου «Corrosion» ανα πλάνο επιθεωρήσεων

Στην συνέχεια θα ακολουθήσουν οι αντίστοιχοι πίνακες και τα συγκεντρωτικά σχήματα για τους κόμβους «Fatigue» και «Extensive_Deformation». Η ανάλυση που έγινε για τον κόμβο που αφορά την διάβρωση, ισχύει αντίστοιχα και για αυτούς του δύο.

Πίνακας 6.2: Μεταγενέστερες πιθανότητες του κόμβου «Fatigue», ανάλογα το πλάνο επιθεωρήσεων

A																
ΚΑΜΙΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ																
t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Heavy Fatigue	0.0092	0.0265	0.0586	0.0897	0.1198	0.1489	0.1770	0.2042	0.2305	0.2560	0.2806	0.3043	0.3273	0.3496	0.3711	0.3918
Low Fatigue	0.9908	0.9735	0.9414	0.9103	0.8802	0.8511	0.8230	0.7958	0.7695	0.7440	0.7194	0.6957	0.6727	0.6504	0.6289	0.6082
B																
USUAL EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Heavy Fatigue	0.0092	0.0265	0.0586	0.0897	0.1198	0.1489	0.0530	0.0828	0.1131	0.1424	0.1708	0.0628	0.0921	0.1221	0.1511	0.1791
Low Fatigue	0.9908	0.9735	0.9414	0.9103	0.8802	0.8511	0.9470	0.9172	0.8869	0.8576	0.8292	0.9372	0.9079	0.8779	0.8489	0.8209
C																
HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Heavy Fatigue	0.0092	0.0265	0.0586	0.0897	0.1198	0.1489	0.0415	0.0715	0.1022	0.1318	0.1605	0.0456	0.0753	0.1059	0.1354	0.1640
Low Fatigue	0.9908	0.9735	0.9414	0.9103	0.8802	0.8511	0.9585	0.9285	0.8978	0.8682	0.8395	0.9544	0.9247	0.8941	0.8646	0.8360
Συγκρίσεις																
C - B	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-27.86%	-15.87%	-10.73%	-8.04%	-6.39%	-37.75%	-22.22%	-15.28%	-11.55%	-9.23%
C - A	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-326.94%	-185.79%	-125.68%	-94.18%	-74.79%	-567.59%	-334.51%	-230.11%	-173.96%	-138.91%
D																
HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5]																
Heavy Fatigue	0.0092	0.0265	0.0586	0.0897	0.1198	0.1489	0.0415	0.0715	0.1022	0.1318	0.1605	0.1883	0.2151	0.2410	0.2661	0.2904
Low Fatigue	0.9908	0.9735	0.9414	0.9103	0.8802	0.8511	0.9585	0.9285	0.8978	0.8682	0.8395	0.8117	0.7849	0.7590	0.7339	0.7096
Συγκρίσεις																
D με C	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	75.78%	64.98%	56.07%	49.10%	43.52%
D με B	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-27.86%	-15.87%	-10.73%	-8.04%	-6.39%	66.64%	57.19%	49.35%	43.22%	38.30%
D με A	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-326.94%	-185.79%	-125.68%	-94.18%	-74.79%	-61.66%	-52.18%	-45.03%	-39.44%	-34.95%
E																
USUAL EFFECTIVENESS INSPECTION [t3, t8 & t13] και HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Heavy Fatigue	0.0092	0.0265	0.0586	0.0897	0.0266	0.0577	0.0094	0.0414	0.0731	0.0191	0.0507	0.0069	0.0390	0.0708	0.0181	0.0497
Low Fatigue	0.9908	0.9735	0.9414	0.9103	0.9734	0.9423	0.9906	0.9586	0.9269	0.9809	0.9493	0.9931	0.9610	0.9292	0.9819	0.9503
Συγκρίσεις																
E - C	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-351.32%	-158.00%	-339.64%	-72.58%	-39.76%	-590.20%	-216.86%	-563.26%	-93.13%	-49.63%	-649.96%	-230.19%
F																
USUAL EFFECTIVENESS INSPECTION [t1, t3, t6, t8, t11 & t13] και HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Heavy Fatigue	0.0092	0.0265	0.0051	0.0376	0.0034	0.0358	0.0015	0.0016	0.0346	0.0019	0.0343	0.0010	0.0014	0.0344	0.0018	0.0342
Low Fatigue	0.9908	0.9735	0.9949	0.9624	0.9966	0.9642	0.9985	0.9984	0.9654	0.9981	0.9657	0.9990	0.9986	0.9656	0.9982	0.9658
Συγκρίσεις																
F - E	0.00%	0.00%	-1045.78%	-138.40%	-681.06%	-61.30%	-536.67%	-2470.13%	-111.30%	-914.05%	-47.51%	-615.28%	-2714.19%	-105.85%	-911.11%	-45.03%

Στο παρακάτω σχήμα 6.5, φαίνονται σχηματικά οι πιθανότητες για υψηλή κόπωση στο πέρασμα του χρόνου για τα 5 βασικά πλάνα επιθεωρήσεων.

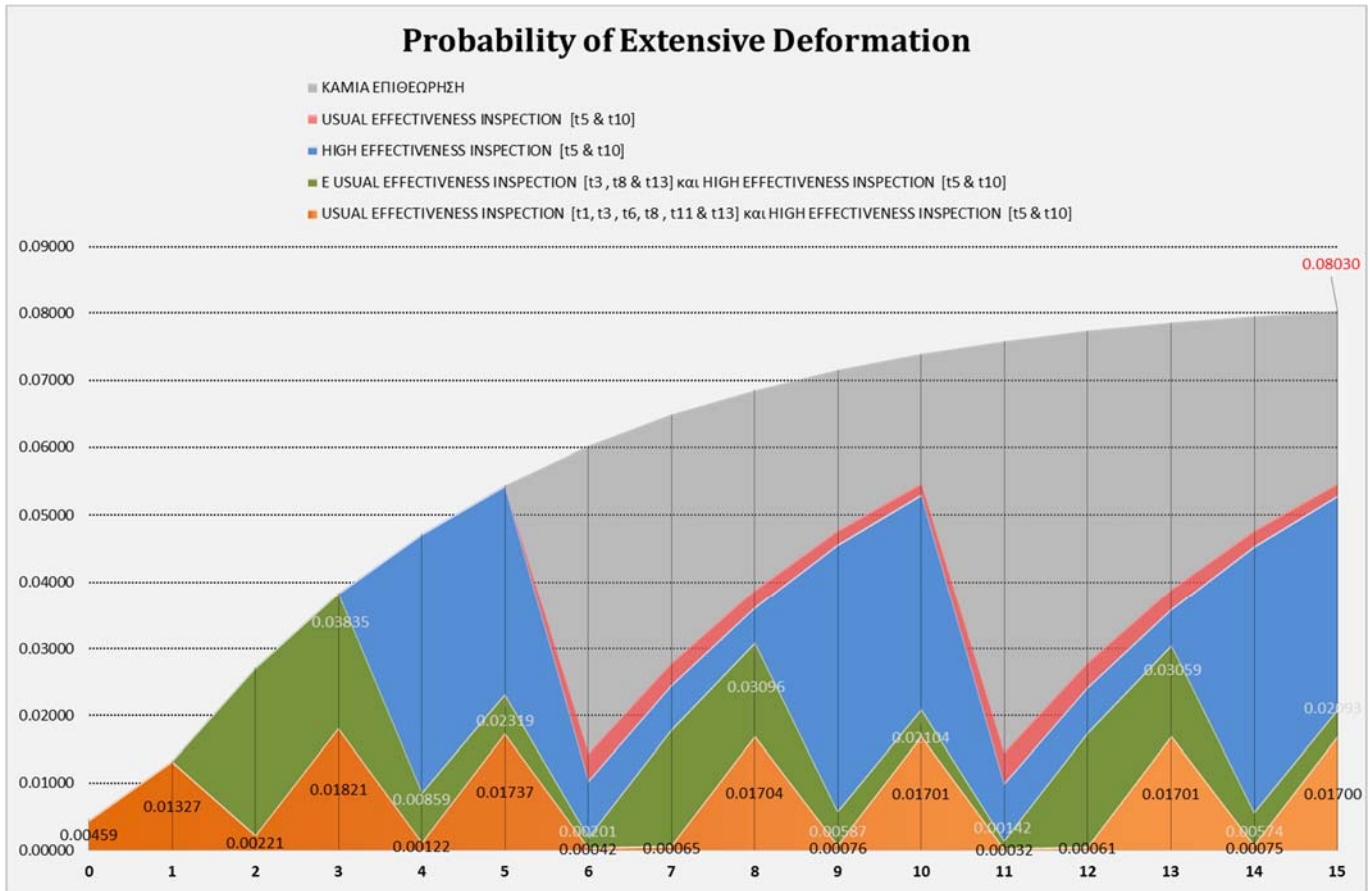


Σχήμα 6.5: Συγκριτικό σχήμα του κόμβου «Fatigue» ανα πλάνο επιθεωρήσεων

Πίνακας 6.3: Μεταγενέστερες πιθανότητες του κόμβου «Extensive Deformation», ανάλογα το πλάνο επιθεωρήσεων

A																
ΚΑΜΙΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ																
t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ext_Deformation	0.00459	0.01327	0.02719	0.03835	0.04730	0.05447	0.06023	0.06484	0.06854	0.07150	0.07388	0.07578	0.07731	0.07853	0.07951	0.08030
Insignificant_Deformatio	0.99541	0.98673	0.97281	0.96165	0.95270	0.94553	0.93977	0.93516	0.93146	0.92850	0.92612	0.92422	0.92269	0.92147	0.92049	0.91970
B																
USUAL EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Ext_Deformation	0.00459	0.01327	0.02719	0.03835	0.04730	0.05447	0.01452	0.02787	0.03890	0.04774	0.05483	0.01465	0.02797	0.03898	0.04780	0.05488
Insignificant_Deformatio	0.99541	0.98673	0.97281	0.96165	0.95270	0.94553	0.98548	0.97213	0.96110	0.95226	0.94517	0.98535	0.97203	0.96102	0.95220	0.94512
C																
HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Ext_Deformation	0.00459	0.01327	0.02719	0.03835	0.04730	0.05447	0.01040	0.02454	0.03622	0.04559	0.05311	0.01003	0.02425	0.03599	0.04541	0.05296
Insignificant_Deformatio	0.99541	0.98673	0.97281	0.96165	0.95270	0.94553	0.98960	0.97546	0.96378	0.95441	0.94689	0.98997	0.97575	0.96401	0.95459	0.94704
Συγκρίσεις																
C - B	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-39.58%	-13.60%	-7.39%	-4.70%	-3.24%	-46.01%	-15.38%	-8.30%	-5.28%	-3.63%
C - A	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-479.04%	-164.26%	-89.20%	-56.82%	-39.11%	-655.43%	-218.84%	-118.20%	-75.11%	-51.63%
D																
HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5]																
Ext_Deformation	0.00459	0.01327	0.02719	0.03835	0.04730	0.05447	0.01040	0.02454	0.03622	0.04559	0.05311	0.05913	0.06396	0.06783	0.07093	0.07342
Insignificant_Deformatio	0.99541	0.98673	0.97281	0.96165	0.95270	0.94553	0.98960	0.97546	0.96378	0.95441	0.94689	0.94087	0.93604	0.93217	0.92907	0.92658
Συγκρίσεις																
D - C	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	83.03%	62.09%	46.94%	35.99%	27.87%
D - B	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-39.58%	-13.60%	-7.39%	-4.70%	-3.24%	75.23%	56.26%	42.53%	32.61%	25.26%
D - A	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-479.04%	-164.26%	-89.20%	-56.82%	-39.11%	-28.16%	-20.87%	-15.78%	-12.10%	-9.37%
E																
USUAL EFFECTIVENESS INSPECTION [t3, t8 & t13] και HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Ext_Deformation	0.00459	0.01327	0.02719	0.03835	0.00859	0.02319	0.00201	0.01797	0.03096	0.00587	0.02104	0.00142	0.01751	0.03059	0.00574	0.02093
Insignificant_Deformatio	0.99541	0.98673	0.97281	0.96165	0.99141	0.97681	0.99799	0.98203	0.96904	0.99413	0.97896	0.99858	0.98249	0.96941	0.99426	0.97907
Συγκρίσεις																
E με C	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-450.76%	-134.92%	-416.73%	-36.50%	-16.99%	-676.52%	-152.39%	-604.33%	-38.44%	-17.64%	-691.67%	-152.97%
F																
USUAL EFFECTIVENESS INSPECTION [t1, t3, t6, t8, t11 & t13] και HIGH EFFECTIVENESS INSPECTION [t5 & t10]																
Heavy_Corr	0.00459	0.01327	0.00221	0.01821	0.00122	0.01737	0.00042	0.00065	0.01704	0.00076	0.01701	0.00032	0.00061	0.01701	0.00075	0.01700
Low_Corr	0.99541	0.98673	0.99779	0.98179	0.99878	0.98263	0.99958	0.99935	0.98296	0.99924	0.98299	0.99968	0.99939	0.98299	0.99925	0.98300
Συγκρίσεις																
F - E	0.00%	0.00%	-1128.80%	-110.59%	-601.48%	-33.49%	-382.38%	-2679.12%	-81.70%	-669.82%	-23.73%	-348.92%	-2767.23%	-79.83%	-662.61%	-23.16%

Στο παρακάτω σχήμα 6.5, φαίνονται σχηματικά οι πιθανότητες για εκτενής παραμορφώσεις στο πέρασμα του χρόνου για τα 5 βασικά πλάνα επιθεωρήσεων.



Σχήμα 6.5: Συγκριτικό σχήμα του κόμβου «Extensive_Deformation» ανα πλάνο επιθεωρήσεων

6.1.2

6.1.2.1

Οι επιπτώσεις του εκάστοτε πλάνου επιθεωρήσεων στους κόμβους των συνέπειων.

Οι κόμβοι των συνεπειών όπως έχει παρουσιαστεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο χωρίζονται στους «Property_Damage», «Human_Casualty» και «Enviromental_Impact». Δηλαδή αφορούν τις επιπτώσεις στην περιουσία, στο προσωπικό του πλοίου και στο περιβάλλον.

Και σε αυτήν την περίπτωση γίνει ανάλυση για τις πέντε (6) ίδιες στρατηγικές που καθορίστηκαν στην παράγραφο 6.1 για δεκαπέντε (15) χρονικά βήματα και θα ακολουθήσει σύγκριση των αποτελεσμάτων για το τελικό χρονικό βήμα t15 που μας ενδιαφέρει.

Στο Πίνακα 6.4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις ακραίες καταστάσεις των κόμβων των συνεπειών, στο χρονικό βήμα t15.

Πίνακας 6.4: Πιθανότητες ανα πλάνο επιθεωρήσεων

t15	High_Prop_Damage	Loss_of_Life	High_Env_Impact
Plan A	0.0539604	0.0060747	0.0017948
Plan B	0.0277406	0.0039297	0.0009552
Plan C	0.0260540	0.0037920	0.0009013
Plan D	0.0412463	0.0050354	0.0013877
Plan E	0.0133993	0.0027551	0.0007107
Plan F	0.0118851	0.0026323	0.0006427

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές αν για δύο πανομοιότυπα πλοία είχε εφαρμοστεί παράλληλα διαφορετικό πλάνο επιθεωρήσεων.

Πίνακας 6.5: High_Prop_Damage – Συγκριτικός πίνακας

High_Prop_Damage	Plan A	Plan B	Plan C	Plan D	Plan E	Plan F
Plan A	-	-	-	-	-	-
Plan B	-48.59%	-	-	-	-	-
Plan C	-51.72%	-6.08%	-	-	-	-
Plan D	-23.56%	48.69%	58.31%	-	-	-
Plan E	-75.17%	-51.70%	-48.4487%	-67.51%	-	-
Plan F	-77.97%	-57.16%	-54.38%	-71.18%	-11.30%	-

Πίνακας 6.6: *Loss_Of_Life* – Συγκριτικός πίνακας

Loss_Of_Life [t15]	Plan A	Plan B	Plan C	Plan D	Plan E	Plan F
Plan A	-	-	-	-	-	-
Plan B	-35.31%	-	-	-	-	-
Plan C	-37.58%	-3.50%	-	-	-	-
Plan D	-17.11%	28.14%	32.79%	-	-	-
Plan E	-54.65%	-29.89%	-27.34%	-45.29%	-	-
Plan F	-56.67%	-33.01%	-30.58%	-47.72%	-4.46%	-

Πίνακας 6.7: *High_Env_Impact* – Συγκριτικός πίνακας

High_Env_Impact [t15]	Plan A	Plan B	Plan C	Plan D	Plan E	Plan F
Plan A	-	-	-	-	-	-
Plan B	-46.78%	-	-	-	-	-
Plan C	-49.78%	-5.64%	-	-	-	-
Plan D	-22.68%	45.28%	53.97%	-	-	-
Plan E	-60.40%	-25.59%	-21.14%	-48.78%	-	-
Plan F	-64.19%	-32.72%	-28.69%	-53.69%	-9.58%	-

Αν γίνει έλεγχος των συγκριτικά αποτελεσμάτων μεταξύ του **Plan B** (2 Usual Effectiveness επιθεωρήσεων αν 5 χρονικές στιγμές) με το **Plan A** (Καμία επιθεώρηση), παρατηρούμε ότι η πιθανότητα για μεγάλης έκτασης βλαβών της μεταλλικής κατασκευής μειώνεται κατά **49%**, η πιθανότητα για απώλεια ζωής μειώνεται κατά **35%** και η πιθανότητα για περιβαλλοντολογική μόλυνση κατά **47%**. Αυτές οι μεγάλες μειώσεις είναι λογικές γιατί στην περίπτωση που δεν κάνουμε κάποια επιθεώρηση, δεν θα υπάρχει σαφής εικόνα για την κατάσταση την μεταλλικής κατασκευής.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον εντοπίζεται στα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ των **Plan E** και **Plan C**. Το Plan E είναι το κλασσικό πλάνο επιθεωρήσεων των νηογνομώνων και το Plan C το ίδιο πλάνο αν αφαιρούσαμε τις ενδιάμεσες επιθεωρήσεις. Και στα δύο πλάνα γίνονται δύο (2) High Effectiveness Inspection ανα 5 χρονικές στιγμές, ενώ στο Plan E γίνονται (3) ενδιάμεσες επιθεωρήσεις τις χρονικές στιγμές t3, t8 και t13.

Βλέπουμε ότι η εισαγωγή ενδιάμεσων μικρότερης αποτελεσματικότητας επιθεωρήσεων, μειώνει σημαντικά τις πιθανότητες σοβαρών συνεπειών. Ειδικά η πιθανότητα για μεγάλης έκτασης βλαβών της μεταλλικής κατασκευής μειώνεται σημαντικά κατά **48%**, η πιθανότητα για απώλεια ζωής μειώνεται κατά **27%** και η πιθανότητα για περιβαλλοντολογική μόλυνση κατά **21%**.

Για να βγουν όμως πραγματικά και αξιοποιήσιμα συμπεράσματα θα πρέπει να γίνει ο έλεγχος των παραγόμενων ρίσκων ανα πλάνο επιθεωρήσεων.

Τα ρίσκα καθορίζονται συνδυάζοντας τις παραγόμενες πιθανότητες των συμβάντων με χρηματικές μονάδες. Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι στα τελικά ρίσκα

συνυπολογίζονται και τα εκάστοτε έξοδα των εκτελούμενων επιθεωρήσεων. Αυτό γίνεται γιατί αλλιώς δεν θα ανταποκρινόταν το μοντέλο στην πραγματικότητα και ουσιαστικά δεν θα υπήρχε το μέτρο για την βέλτιστη ισορροπία μεταξύ των ρίσκων των συνεπειών και των εξόδων των επιθεωρήσεων.

6.1.2.2

Αναλυση του μοντέλου απόφασης για τα διάφορα πλάνα επιθεωρήσεων

Σε αυτήν την παράγραφο θα τρέξουμε το μοντέλο απόφασης. Το μοντέλο απόφασης όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, περιέχει εκτός από κόμβους **chance** (τύχης), κόμβους **decision** (απόφασης) και κόμβους **utility** (χρησιμότητας). Με αυτό το εργαλείο θα γίνει ο υπολογισμών ρίσκων των συνεπειών εκφρασμένο σε οικονομικές μονάδες και θα επιλεγεί το βέλτιστο πρόγραμμα.

Τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου απόφασης είναι τα **δεδομένα εξόδου του Dynamic Bayesian Network που τρέξαμε για το εκάστοτε πλάνο** επιθεωρήσεων στις προηγούμενες παραγράφους.

Παραθέτουμε παρακάτω τις δεσμευμένες πιθανότητες (CPD) των κόμβων των συνεπειών, καθώς και τα CPD των κόμβων χρησιμότητας «Cost_Of_Property_Damage», Cost_Of_Human_Casualty και «Cost_Of_Enviromental_Damage».

Πίνακας 6.8: CPD του «Property_Damage»

Node properties: Cost_Of_Property_Damage			
Property_Dam...	High_Prop_Damage	Moderate_Prop_Damage	Insignificant_Prop_Dam...
▶ Value	1200000	350000	150000

Πίνακας 6.9: CPD του «Huma Casualty»

Node properties: Cost_Of_Human_Casualty			
Human_Casualty	Loss_of_Live	Injury	No_Injury
▶ Value	3000000	400000	0

Πίνακας 6.10: CPD του «Enviromental_Impact»

Node properties: Cost_Of_Enviromental_Damage			
Enviromental_Impact	High_Env_Impact	Moderate_Env_Impact	Insignificant_Env_Impact
▶ Value	4000000	1000000	700000

Πίνακας 6.11: CPD του «Inspection_Cost»

Node properties: Inspection_Cost				
Inspection_Cost	No_Inspection	Two_U	Two_H	One_H
Value	0	105000	210000	117500

Inspection_Cost	Two_H_AND_Three_U	Two_H_AND_Six_U
Value	365000	535000

Πίνακας 6.12: CPD του «Cost_Of_Property_Damage»

Node properties: Property_Damage				
Dicision	Inspection_PlanA	Inspection_PlanB	Inspection_PlanC	Inspection_PlanD
High_Prop_Damage	0.056	0.02774	0.026054015	0.041246347
Moderate_Prop_Damage	0.07044	0.06192	0.061214365	0.067512213
Insignificant_Prop_Damage	0.87356	0.91034	0.91273162	0.89124144

Dicision	Inspection_PlanE	Inspection_PlanF
High_Prop_Damage	0.013399	0.011885101
Moderate_Prop_Damage	0.055518	0.054818105
Insignificant_Prop_Damage	0.931083	0.93329679

Πίνακας 6.13: CPD του «Cost_Of_Huma_Casualty»

Node properties: Human_Casualty				
Dicision	Inspection_PlanA	Inspection_PlanB	Inspection_PlanC	Inspection_PlanD
Loss_of_Live	0.006074704	0.0039296609	0.0037919713	0.0050354209
Injury	0.087542594	0.076667118	0.075969725	0.082347415
No_Injury	0.9063827	0.91940322	0.9202383	0.91261716

Dicision	Inspection_PlanE	Inspection_PlanF
Loss_of_Live	0.0027550997	0.0026323
Injury	0.070518593	0.0698776
No_Injury	0.92672631	0.9274901

Πίνακας 6.14: CPD του «Cost_Of_Enviromental_Impact»

Node properties: Enviromental_Impact				
Dicision	Inspection_PlanA	Inspection_PlanB	Inspection_PlanC	Inspection_PlanD
High_Env_Impact	0.001794844	0.000955171	0.000901282	0.001387704
Moderate_Env_Impact	0.007473398	0.004050898	0.003829977	0.005816424
Insignificant_Env_Impact	0.99073176	0.99499393	0.99526874	0.99279587

Dicision	Inspection_PlanE	Inspection_PlanF
High_Env_Impact	0.0007107	0.0006427
Moderate_Env_Impact	0.0022454	0.0020434
Insignificant_Env_Impact	0.9970438	0.9973139

Το συνολικό εκτιμώμενο ρίσκο για όλα τα πλάνα επιθεωρήσεων, εκφρασμένο σε χρηματικές μονάδες, είναι φαίνεται στο παρακάτω Πίνακα 6.15.

Πίνακας 6.15: Συνολικό Ρίσκο ανα πλάνο επιθεωρήσεων

Πλάνο Επιθεωρήσεων	Συνολικό Ρίσκο
Inspection PlanA	1810980
Inspection PlanB	1537974
Inspection PlanC	1619695
Inspection PlanD	1736805
Inspection PlanE	1599255
Inspection PlanF	1748061

Όπως φαίνεται στα παραπάνω αποτελέσματα το μεγαλύτερο ρίσκο βγαίνει για το Plan A, όπως ήταν και το αναμενόμενο. Δηλαδή για την περίπτωση όπου δεν γίνεται κάποια επιθεώρηση για όλο το χρονικό διάστημα, ενώ το μικρότερο μοιράζεται με μικρή απόκλιση τα Plan B και Plan E.

Για να γίνουν κάποιες παρατηρήσεις πάνω στα αποτελέσματα, θα χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω Πίνακας 6.16, όπου φαίνεται η ανάλυση του συνολικό ρίσκου στα έξοδα επιθεωρήσεως και στο ρίσκο των συνεπειών.

Πίνακας 6.16: Ανάλυση ρίσκου ανα πλάνο επιθεωρήσεων

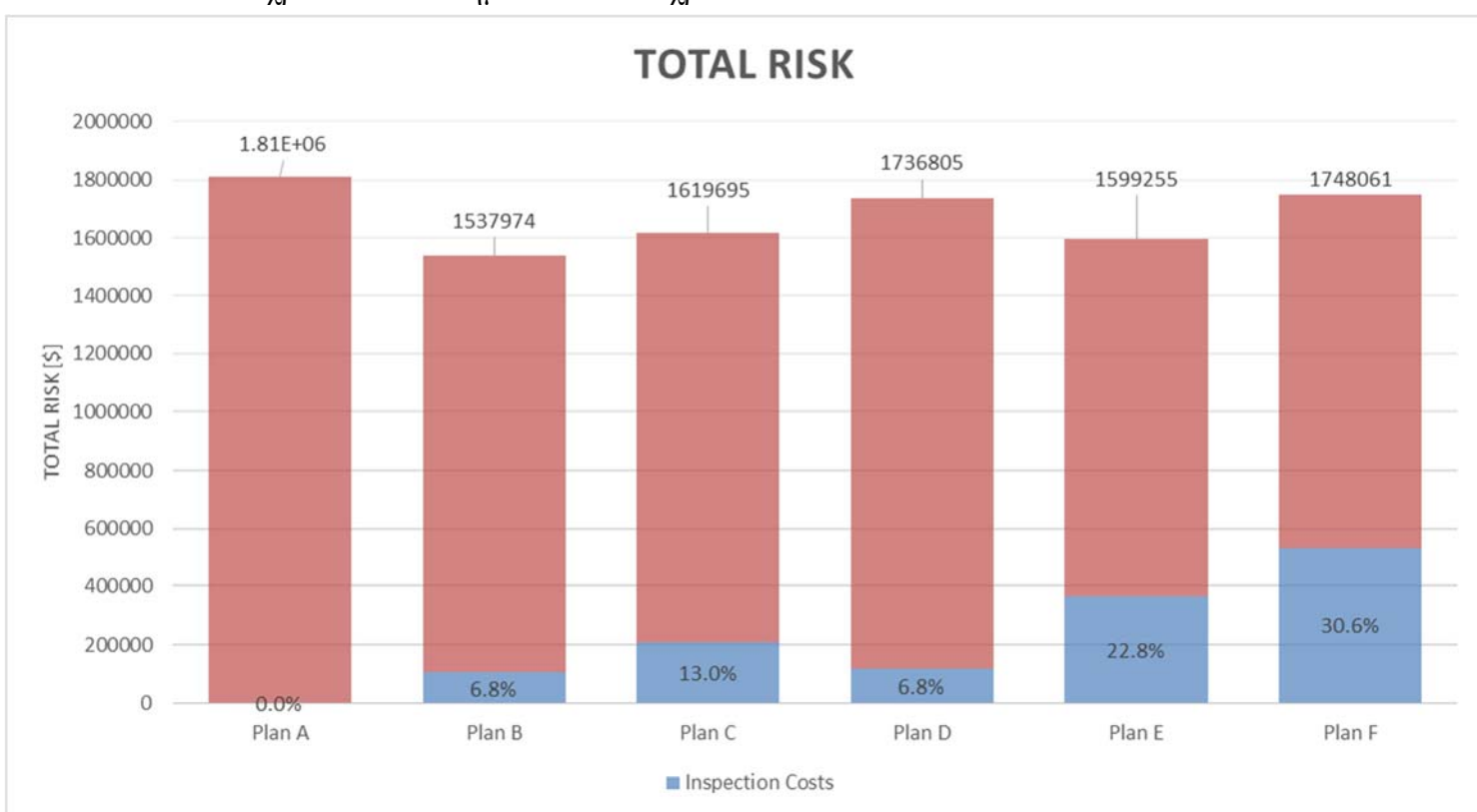
	Cost of Inspections (a)	Total Risk (b)	Cost of Consequences (b-a)	% (a/(b-a))
Plan A	0	1810980	1.81E+06	0.0%
Plan B	105000	1537974	1.43E+06	6.8%
Plan C	210000	1619695	1.41E+06	13.0%
Plan D	117500	1736805	1.62E+06	6.8%
Plan E	365000	1599255	1.23E+06	22.8%
Plan F	535000	1748061	1.21E+06	30.6%

Ένα πολύ ενδιαφέρον στοιχείο στα αποτελέσματα είναι ότι ενώ στο **Plan E** έχουμε δύο επιθεωρήσεις υψηλής απόδοσης [t5&t10] και τρεις μεσαίας απόδοσης [t3, t8, t13], το συνολικό ρίσκο διαφέρει κατά 1% με την περίπτωση **Plan C**, όπου έχουμε δύο επιθεωρήσεις υψηλής απόδοσης [t5&t10]. Όμως κοιτώντας τα στοιχεία όπου φαίνονται τα επιμέρους ρίσκα, το Plan E είναι μειωμένο κατά **13%**. Οπότε αυτή η σύγκριση δείχνει ότι με **σωστό προγραμματισμό** μπορούμε να κρατηθεί σταθερό το συνολικό ρίσκο αλλά ταυτόχρονα να πέσει το ρίσκο που σχετίζεται με τις ζημιές στην περιουσία, την απώλεια ζωής και τη μόλυνση του περιβάλλοντος σε μεγάλο ποσοστό.

Ένα επιπλέον ενδιαφέρον στοιχείο βρίσκεται στα αποτελέσματα του **Plan E**, σε σχέση με το **Plan F**. Σε αυτήν την περίπτωση, το συνολικό ρίσκο αυξάνεται κατά **9%** αν επιλεγεί το Plan F, όπου έχουμε δύο επιθεωρήσεις υψηλής απόδοσης [t5&t10] και έξι μεσαίας απόδοσης [t1, t3, t6, t8,t11 & t13]. Όμως κοιτώντας τα στοιχεία όπου φαίνονται τα επιμέρους ρίσκα, το Plan F έχει κέρδος περίπου **1%**. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα κακού σχεδιασμού.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το μικρότερο συνολικό ρίσκο είναι των **Plan B** και **Plan E** με μία μικρή απόκλιση της τάξης του **3%**. Όμως αν κοιτάξουμε την απόκλιση τους όσον αφορά το ρίσκο των συνεπειών θα δούμε ότι στο **Plan E** είναι **μειωμένο κατά 16%**. Αυτό δηλαδή είναι ένα άλλο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα στο οποίο φαίνεται ότι ο σωστός σχεδιασμός του πλάνου επιθεωρήσεων, ενώ διατηρεί σταθερό το συνολικό ρίσκο, μπορεί να ρίξει σημαντικά το ρίσκο που σχετίζεται με τις συνέπειες.

Τέλος αν συγκρίνουμε το **Plan C** (Επιθεωρήσεις υψηλής απόδοσης ανα 5 χρόνους) με το **Plan D** (επιθεωρήσεις υψηλής απόδοσης αν 10 χρόνους), παρατηρούμε ότι το Plan C έχει μειωμένο το συνολικό ρίσκο κατά **7%** και ρίσκο συνεπειών μειωμένο κατά **15%**. Δηλαδή το χρονικό διάστημα των 5 χρόνων υπερτερεί σε όλα τα επίπεδα από ότι αυτό των χρονικών διαστημάτων των 10 χρόνων.



Σχήμα 6.6: Συνολικό Ρίσκο ανα πλάνο επιθεωρήσεων

Στο παραπάνω Σχήμα 6.6, φαίνονται τα ποσοστά των εξόδων επιθεωρήσεων επι του συνολικού ρίσκου, ανάλογα το πλάνο επιθεωρήσεων.

6.2

Εφαρμογή του Dynamic Bayesian Network σε ναυτικά ατυχήματα

6.2.1

Ναυτικό ατύχημα του IEVOLI SUN

Στις 29 του Οκτώβρη το 2000, κατά τις 1230 ώρες, το δεξαμενόπλοιο **IEVOLI SUN** (LOA=115.65m , Draft= 6.29m, B=17.51, D=8.01m και DWT= 7333 t) μετέφερε χημικά, και έπλεε από το Fawley (United Kingdom) προς το Berre (France). Κατά την διάρκεια του ταξιδιού υπέστη κατακλυσμό του προωραίου τμήματος και των διαμερισμάτων ενώ βρισκόταν στην περιοχή μεταξύ των Casquets και Ushant.

Στις 30 Οκτώβρη, στις 0130 ώρες, οι δεξαμενές έρματος του είχαν κατακλυσθεί εκτεταμένα.

Το πλοίο είχε αναπτύξει μεγάλη διαμήκη κλίση και η πρόρα είχε βυθιστεί σημαντικά. Για τον λόγο αυτό ζητήθηκε η συνδρομή ρυμουλκού και στην συνέχεια δόθηκε εντολή για εγκατάλειψη του πλοίου καθώς γινόταν όλο και πιο αδύνατος ο χειρισμός του και ήταν πολύ πιθανό να βυθιστεί αν πάσα στιγμή.

Το προσωπικό απομακρύνθηκε με την βοήθεια του γαλλικού ναυτικού που διέθεσε ένα ελικόπτερο για την αποστολή διάσωσης. Στην συνέχεια το πλοίο ρυμουλκήθηκε από την πρύμνη με ένα γαλλικό ρυμουλκό με κατεύθυνση κάποιο λιμάνι της Νορμανδίας.

Αυτή η επιχείρηση όμως δεν ολοκληρώθηκε καθώς το πλοίο τελικά βυθίστηκε στα 9.5 ναυτικά μίλια (17.6 km) βόρεια του Casquets, σε βάθος 60 με 70 μέτρα.

Το φορτίο του πλοίου την στιγμή του ατυχήματος αποτελούνταν από τρία διαφορετικά χημικά υγρά Στυρένιο (3998t), Βουτανόνη (1027t) και 2-προπανόλη (996t).



Εικόνα 6.1: IEVOLI SUN

Χρήση του πλοίου

Το IEVOLI SUN μπορούσε να μεταφέρει πετρέλαιο ή υγρά χημικά. Ήταν τύπου parcel-tanker που μπορούν να μεταφέρουν ποικιλία υγρών, ακόμα κι αυτών που θεωρούνται επικίνδυνα από τον IMO.

Ο ιδιοκτήτης του πλοίου διεκπεραίωσε τόσο την ναυτική όσο και την τεχνική διαχείριση του πλοίου και ήταν πιστοποιημένο από τον ISM (International Safety Management Code).

Η επιτροπή εντόπισε ότι οι συνθήκες ναύλωσης ήταν κανονικές, με συντελεστή φορτίου αρκετά προσοδοφόρου ώστε να επιτρέπει την σωστή συντήρηση του πλοίου.

Το πλοίο χτίστηκε το 1989, υπο τον έλεγχο του νηογνώμονα RINA και σύμφωνα με τους κανονισμούς του. Το πλοίο είχε την μέγιστη κλάση **100-A-1.1-Nav.II;Cst (oil chem) ESP**.

Ο RINA έκανε εξήντα ελέγχους γενικά, συμπεριλαμβανομένου, ενδιάμεσους ελέγχους και ειδικούς ελέγχους κατά το 1993/1997 και ένας τον Ιανουάριο του 1999 που συμπεριλάμβανε και δεξαμενισμό. Κατά τον τελευταίο έλεγχο, έγινε ολοκληρωμένη επιθεώρηση της γάστρας και των παρελκομένων, συμπεριλαμβανομένου και του διπύθμενου, και δεν υπήρχαν ενδείξεις έτσι ώστε να εκτελεστούν διορθωτικές ενέργειες. Η προστασία των δεξαμενών του έρματος θεωρήθηκε καλή με το ρίσκο για διάβρωση να εκτιμάται μέτριο.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι το τελευταίο πιστοποιητικό το συνυπόγραψαν πέντε φορές κατά το 2000 μετά από περιστασιακές επιθεωρήσεις της γάστρας και/ή της μηχανής.

Στην τελευταία κρατική επιθεώρηση λιμένα (PSC) η οποία έλαβε χώρα στις 23/10/2000 στο Rotterdam βγήκαν στο φως τα ακόλουθα σημεία:

- Δυσλειτουργία των μηχανισμών ασφαλισμού των υδατοστεγών πορτών
- Το πιστοποιητικό του ραδίου ασφαλείας είχε λήξει
- Τα κοντέινερ στα οποία βρίσκονταν οι σωστικές φουσκωτές σχεδίες είχαν χάσει την υδατοστεγανότητα τους
- Ρωγμές σε θύρες
- Διαρροές στο υδραυλικό σύστημα ενός από τους γερανούς
- Το καλώδιο της άγκυρας ήταν σε κακή κατάσταση
- Οι πυροσβεστικές αντλίες έκτακτης ανάγκης δεν δούλευαν
- Οι βαλβίδες στο αντλιοστάσιο δεν δούλευαν
- Μη συμμόρφωση με τον ISM κώδικα λόγω έλλειψης συντήρησης.

Όλες οι παραπάνω επισημάνσεις είναι σημαντικές και κάποιες από αυτές προβλημάτισαν τον επιθεωρητή της RINA, οποίος έλεγξε ότι οι επιδιορθώσεις έγιναν όπως είχαν προγραμματιστεί και η κλάση ανανεώθηκε. Παρόλα αυτά ο επιθεωρητής, αιτήθηκε για επιθεώρηση νέας κλάσης πριν τις 15/11/2000.

Επίσης έγιναν και κάποιες επιθεωρήσεις από τους ναυλωτές (CDI και TEXACO).

Το συμπέρασμα από τα παραπάνω είναι ότι το πλοίο φαίνεται να παρακολουθείται καλά από τον νηογνώμονα μέσα στο θεσμικό πλαίσιο των αρμοδιοτήτων του. Οι

επιθεωρήσεις από τα λιμάνια και τους ναυλωτές δείχνουν ότι υπήρχαν κάποια ελαττώματα, μερικά από τα οποία απαιτούσαν συντήρηση.

6.2.1.1

Πραγματικό γεγονός

1. Inspection_Plan: **High_Effe (t5 & t10)** [e1]

No_Inspection (για του υπόλοιπους χρόνους)

Το πλοίο είχε σωστή παρακολούθηση από τον νηογνώμονα. Όπως δείχνουν τα έγγραφα οι επιθεωρήσεις και η συντήρηση γινόταν σύμφωνα με τους κανονισμούς.

2. Weather: **9 Beaufort (t15)** [e2]

Μεταξύ των ημερομηνιών 28 και 30 Οκτώβρη, όπου και εγκαταλείφθηκε το πλοίο, το γραφείο μετεωρολογικών προβλέψεων είχε εκδώσει δέκα ειδικές αναφορές για ψηλά κύματα (“High Seas”). Όλες οι αναφορές εστάλησαν στο πλοίο ως συνήθως. Οι παρατηρήσεις από τις μετεωρολογικές σηματοδούρες στην περιοχή, επιβεβαίωσαν τις προβλέψεις για πολύ κακό καιρό. Μάλιστα στις 30 αναφέρουν ανέμους τις τάξης των 45 κόμβων, δηλαδή 9 Beaufort.

3. NO_DAMAGE_STATE_STRUCTURE: **Moderate_Cond (t15)** [e3]

Όπως ανέφερα και παραπάνω, παρα το γεγονός ότι το πλοίο παρακολουθούνταν σωστά από τον νηογνώμονα, επιθεωρήσεις που έγιναν από λιμενικές αρχές και ναυλωτές, επέδειξαν την ανάγκη συντήρησης του πλοίου, σε βαθμό που να οριστεί επιθεώρηση για ανανέωση κλάσης λίγους μήνες μετά.

Αυτό δείχνει ότι η κατασκευή του πλοίου εκείνη την χρονική στιγμή ήταν σε μέτρια κατάσταση.

4. Cargo_Type: **Other_Types_of_Cargo_Ships (για όλους τους χρόνους)** [e4]

Ο τύπος του φορτηγού πλοίου είναι tanker αλλά επειδή στην προκειμένη περίπτωση, όπου έγινε το ατύχημα μετέφερε στις δεξαμενές του χημικά υγρά εκτός πετρελαίου, θα το τοποθετήσουμε σε αυτήν την κατηγορία. Ο λόγος είναι ότι ο διαχωρισμός έχει γίνει κυρίως για την περίπτωση την εκτεταμένης μόλυνση του περιβάλλοντος στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων που το φορτίο τους είναι πετρέλαιο.

5. Sea_Zone : **Coastal_Water (t15)** [e5]

Το πλοίο βυθίστηκε 9 ναυτικά μίλια βόρεια των Casquet Islands, με συντεταγμένες 49°52.3N / 02°23.8W. Εφόσον είναι κάτω από 12 ναυτικά μίλια από την κοντινότερη ακτή, τα νερά αυτά εμπίπτουν στην κατηγορία Coastal Waters. 6.2.1.2

Μελέτη πάνω στην διάδοση της πλημμύρας στις προωαίες δεξαμενές.

Η σειρά των γεγονότων δίνει την δυνατότητα να βγει συμπέρασμα με βεβαιότητα ότι το πλοίο βούλιαξε ώς αποτέλεσμα διαδοχικής κατάκλισης των προωαίων δεξαμενών, όπως επίσης και των δεξαμενών του έρματος, που οδήγησαν στην απώλεια άντωσης και εγκάρσιας ισορροπίας.

Έτσι, η επιτροπή επικέντρωσε τις έρευνες στην διαδικασία κατάκλισης και έβγαλε μία λίστα ζημιών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν αυτό το συμβάν. Και είναι δύο τα πιο βασικά.

1. Η καταστροφή κατασκευαστικών στοιχείων των εγκάρσιων φρακτών των δεξαμενών ερματισμού. Παρόλα αυτά, ακόμα κι αν θεωρήσουμε ότι μπορεί να έχει συμβεί ζημιά στην εγκάρσια φρακτή σύγκρουσης, θεωρείται πολύ δύσκολο να υιοθετηθεί αυτό το σενάριο γιατί το πλάτος της φρακτής είναι 1.2m, οι δοκοί της πολύ δυνατοί και δεν εντοπίστηκαν ασυνήθιστα στοιχεία διάβρωσης κατά την διάρκεια των επιθεωρήσεων.
2. Η κατάκλιση των προωαίων δεξαμενών λόγω έλλειψης υδατοστεγανότητας των σωληνώσεων εξαερισμού του κύριου καταστρώματος.

Η επιτροπή κατέληξε ότι το πιο πιθανό ενδεχόμενο είναι να ισχύει η δεύτερη θεωρία. Κατά συνέπεια, προτάθηκε να γίνει εκτεταμένη μελέτη, με δεδομένη την φόρτωση του πλοίου και τις καιρικές συνθήκες, για το αν είναι δυνατό το πλοίο να υποστεί κατάκλιση τέτοιου βαθμού που να μπορεί να προκαλέσει την βύθιση του πλοίου.

6.2.1.2

Εφαρμογή του Dynamic Bayesian Model στο υπο μελέτη ατύχημα.

Στο συγκεκριμένο σημείο θα προσπαθήσουμε με το μοντέλο μας να προσομοιάσουμε τα δύο πιθανά σενάρια και να ελέγξουμε πιο από τα δύο είναι πιο πιθανό για να δούμε αν το αποτέλεσμα θα επαληθεύσει την εκτίμηση των εμπειρογνομόνων.

Και στα δύο σενάρια θα εισάγουμε τις αρχικές πληροφορίες (evidences) για τις μεταβλητές Weather, Inspection_Effectiveness, NO_DAMAGE_STATE_STRUCTURE, Cargo_Type και Sea_Zone.

Για το **σενάριο 1**, θα εισάγουμε ως επιπλέον πληροφορία Collision_Bulkhead_Collapse: **Col_Bulk_Colla_True (t15)** [e61]

Ενώ για το **σενάριο 2**, η επιπλέον πληροφορία θα είναι FwP_Flooding : **FwP_Flooding (t15)** [e62]

Σενάριο 1: 0.00053

Σενάριο 2: 0.00438

Τα αποτελέσματα από το τρέξιμο του μοντέλου με τις παραπάνω πληροφορίες μας συγκλίνουν με την άποψη των εμπειρογνομόνων διότι βγαίνει ότι το Σενάριο 2 είναι **8 φορές πιο πιθανό** να συμβεί σε σχέση με το Σενάριο 1.

Οπότε επαληθεύεται το μοντέλο DBN.

6.2.1.3

Στην συνέχεια θα τρέξουμε διαδοχικά τα δεδομένα e1,e2,e3,e4 και e5 για να δούμε τι πιθανότητες μας δίνονται για βύθιση του πλοίου.

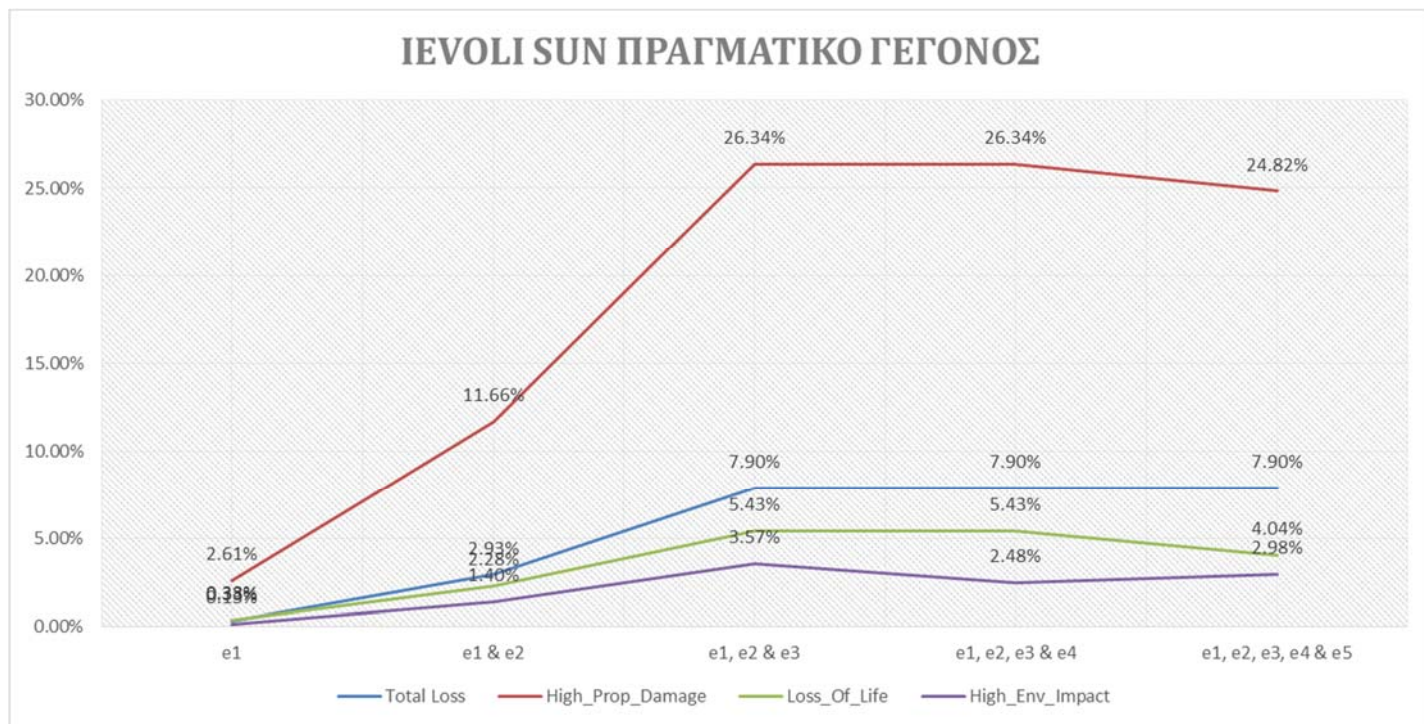
Οι πληροφορίες που εισάγονται στο μοντέλο είναι οι εξής:

1. Inspection_Plan **High_Effe (t5 & t10)** [e1]
No_Inspection (για του υπόλοιπους χρόνους)
2. Weather: **9 Beaufort (t15)** [e2]
3. NO_DAMAGE_STATE_STRUCTURE: **Moderate_Cond (t15)** [e3]
4. Cargo_Type: **Other_Types_of_Cargo_Ships (για όλους τους χρόνους)** [e4]
5. Sea_Zone : **Coastal_Water (t15)** [e5]

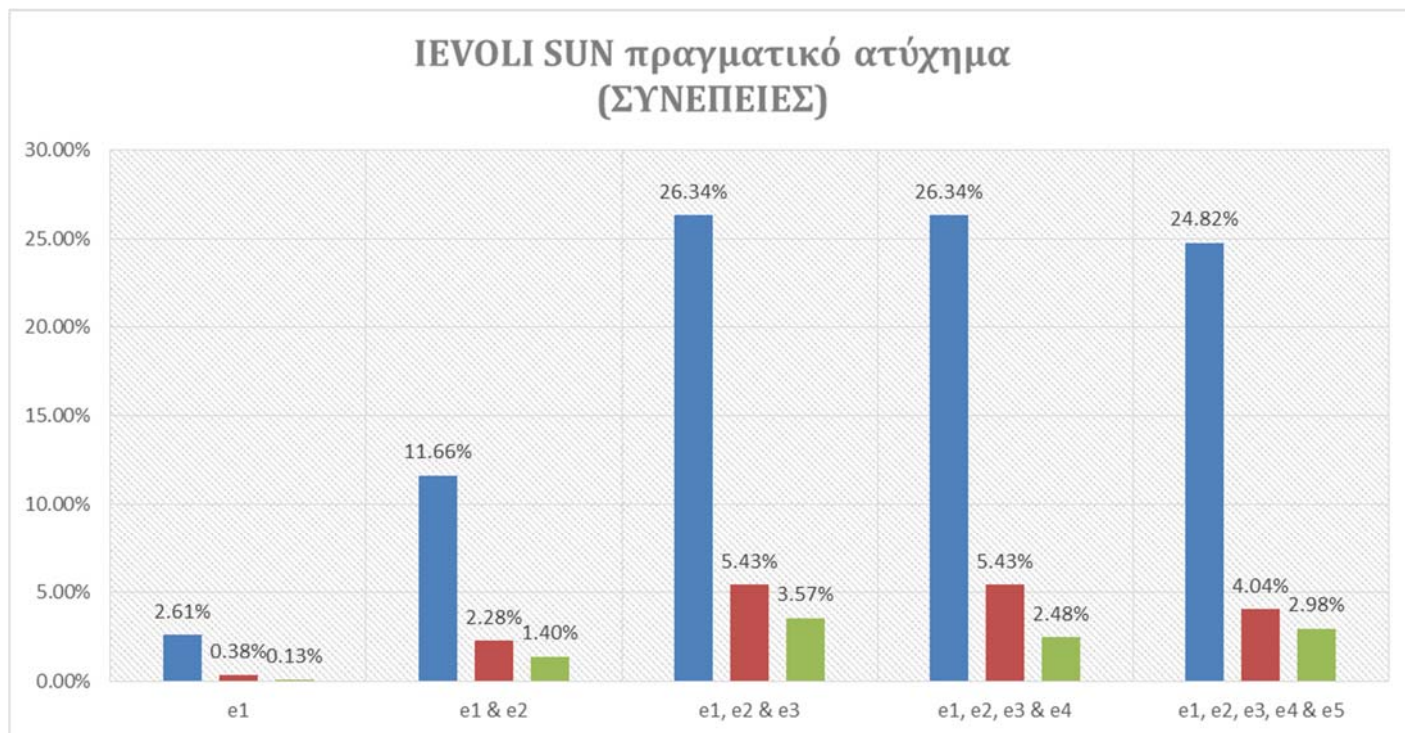
Πίνακας 6.18: Βαρύτητα Γεγονότων

	Total_Loss	High_Econ_Impact	Loss_of_Lives	High_Env_Im
--	------------	------------------	---------------	-------------

e1	0.33%	2.61%	0.38%	0.13%
e1 & e2	2.93%	11.66%	2.28%	1.40%
e1, e2 & e3	7.90%	26.34%	5.43%	3.57%
e1, e2, e3 & e4	7.90%	26.34%	5.43%	2.48%
e1, e2, e3, e4 & e5	7.90%	24.82%	4.04%	2.98%



Σχήμα 6.7: Η βαρύτητα των γεγονότων στις συνέπειες «Total_Loss», «High_Prop_Damage», «Loss_Of_Life» και «High_Env_Impact»



Σχήμα 6.8: Η βαρύτητα των γεγονότων στις συνέπειες «High_Prop_Damage», «Loss_Of_Life» και «High_Env_Impact»

Στην συνέχεια θα γίνεται παράθεση αναλυτικά των πιθανοτήτων του κόμβου «HULL_DAMAGE_STATE_STRUCTURE» και των κόμβων των συνεπειών με εισαγμένες όλες τις πληροφορίες (e1, e2, e3, e4 & e5), για να έχουμε μία πιο πλήρη εικόνα.

Πίνακας 6.19: Μεταγενέστερες πιθανότητες με όλα τα δεδομένα για τον κόμβο «Hull_Damage_State_Structure».

HULL_DAMAGE_STATE_STRUCTURE	%
Total_Loss	7.90
Serious_Damage	30.22
Minor_Damage	61.88

Οπότε παρατηρούμε από τα αποτελέσματα ότι είναι αρκετά πιθανή η απώλεια του πλοίου (8%) στις συνθήκες που επικρατούσαν την συγκεκριμένη χρονική στιγμή ενώ η πιθανότητα για σοβαρές ζημιές στην μεταλλική κατασκευή του πλοίου φτάνει το 30%.

Πίνακας 6.20: Μεταγενέστερες πιθανότητες με όλα τα δεδομένα για τον κόμβο «Property_Damage».

Property_Damage	%
High_Prop_Damage	24.82
Moderate_Prop_Damage	25.05
Insignificant_Prop_Damage	50.13

Πίνακας 6.21: Μεταγενέστερες πιθανότητες με όλα τα δεδομένα για τον κόμβο «Human_Casualty».

Human_Casualty	%
Loss_of_Life	4.04
Injury	26.81
No_Injury	69.16

Πίνακας 6.22: Μεταγενέστερες πιθανότητες με όλα τα δεδομένα για τον κόμβο «Enviromental_Impact».

Enviromental_Impact	%
High_Env_Impact	2.98
Moderate_Env_Impact	14.37
Insignificant_Env_Impact	82.65

6.2.1.4

Σε αυτήν την παράγραφο βάζοντας ως δεδομένο τις πληροφορίες της παραγράφου 6.2.1.4 και προσθέτοντας επιπλέον την πληροφορία ότι το πλοίο όντως βυθίστηκε (το οποίο είναι γεγονός), θα ελέγξουμε τις κατανομές των μεταγενέστερων πιθανοτήτων των μεταβλητών των κατασκευαστικών στοιχείων.

Οι πληροφορίες που εισάγονται στο μοντέλο είναι οι εξής:

1. Inspection_Plan: **High_Effe (t5 & t10)** [e1]
No_Inspection (για του υπόλοιπους χρόνους)
2. Weather: **9 Beaufort (t15)** [e2]
3. NO_DAMAGE_STATE_STRUCTURE: **Moderate_Cond (t15)** [e3]
4. Cargo_Type: **Other_Types_of_Cargo-Ships (για όλους τους χρόνους)** [e4]
5. Sea_Zone : **Coastal_Water (t15)** [e5]
6. HULL_DAMAGE_STATE_STRUCTURE: **Total_Loss (t15)** [e6]

Πίνακας 6.23: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετά το ατύχημα για τον κόμβο «Shell_Cracking».

Shell_Cracking	%
Severe_Cracking	15.67
Low_Cracking	84.33

Πίνακας 6.24: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετά το ατύχημα για τον κόμβο «Ship_Side_Collapse».

Ship_Side_Collapse	%
SP_Col_True	79.06
SP_Col_False	20.94

Πίνακας 6.25: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετά το ατύχημα για τον κόμβο «FwP_Flooding».

FwP_Flooding	%
Flooding	90.27
Water_Inflow	09.73
No_Water_Inflow	0

Πίνακας 6.26: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετά το ατύχημα για τον κόμβο «Collision_Bulkhead_Collapse».

Collision_Bulkhead_Collapse	%
Col Bulk Colla True	29.00
Col Bulk Colla False	71.00

Πίνακας 6.27: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετά το ατύχημα για τον κόμβο «Cargo1_Flood».

Cargo1_Flood	%
Cargo1_Flood	88.43
Cargo1_Flood	11.57

Από τα παραπάνω στοιχεία γίνεται αντιληπτό ότι η πιθανότερη αίτια βύθισης του πλοίου είναι ο κατακλυσμός των πρωραίων δεξαμενών λόγω κατάρρευσης πλευρικού ελάσματος. Επίσης είναι μεγάλη και η πιθανότητα κατάκλυσης της πρώτης δεξαμενής φορτίου. Αυτό είναι λογικό διότι λόγω του αυξημένου βάρους λόγω κατάκλυσης των πρωραίων δεξαμενών, αυξάνεται το πρωραίο βύθισμα και έχουμε έμπρομη διαγωγή, γεγονός που εκθέτει τα ελάσματα του πρωραίου τμήματος του κεντρικού καταστρώματος και του καπακιού της πρώτης δεξαμενής του φορτίου, στα δυναμικά φορτία λόγω κυματισμού.

Στην συνέχεια γίνεται έλεγχος των πιθανοτήτων των μεταβλητών των συνεπειών για την συγκεκριμένη κατάσταση.

Πίνακας 6.28: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετά το ατύχημα για τον κόμβο «Property_Of_Damage».

Property_Damage	%
High Prop Damage	1.00
Moderate Prop Damage	0.00
Insignificant Prop Damage	0.00

Είναι λογικό ότι εφόσον έχουμε βύθιση του πλοίου, οι οικονομικές επιπτώσεις θα είναι τεράστιες.

Πίνακας 6.29: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετά το ατύχημα για τον κόμβο «Human_Casualty».

Human_Casualty	%
Loss of Live	34.56
Injury	45.00
No Injury	20.44

Λόγω βύθισης του πλοίου και των ακραίων καιρικών συνθηκών, η πιθανότητα 35% για απώλεια ζωής είναι λογικό αποτέλεσμα. Βέβαια να σημειωθεί ότι στο πραγματικό

γεγονός, δεν είχαμε απώλεια ζωής γιατί όλο το προσωπικό εγκατέλειψε το πλοίο με ελικόπτερο της πολεμικής αεροπορίας της Γαλλίας.

Πίνακας 6.30: Μεταγενέστερες πιθανότητες μετά το ατύχημα για τον κόμβο «Enviromental_Impact».

Enviromental_Impact	%
High Env Impact	37.70
Moderate Env Impact	62.30
Insignificant Env Impact	0.00

Οι δεξαμενές του πλοίου δεν έχουν για φορτίο πετρέλαιο, γιατί και βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη πιθανότητα είναι το 62% και αφορά μέτριας κλίμακας μόλυνση του περιβάλλοντος.

6.2.1.5

Θα ήταν χρήσιμο να ελεγχθεί η περίπτωση όπου μετά τον λιμενικό έλεγχο στο Rotterdam (23/10/2000) το πλοίο περνούσε επιθεώρηση για ανανέωση της κλάσης, αντί να μετατεθεί ένα μήνα αργότερα, βάση των υποδείξεων του επιθεωρητή.

Οι πληροφορίες που εισάγονται στο μοντέλο είναι οι εξής:

1. Inspection_Plan: **High_Effe (t5 , t10 & t14)** [e1]
No_Inspection (για του υπόλοιπους χρόνους)
2. Weather: **9 Beaufort (t15)** [e2]
3. Cargo_Type: **Other_Types_of_Cargo_Ships (για όλους τους χρόνους)** [e3]
4. Sea_Zone : **Coastal_Water (t15)** [e4]

Πίνακας 6.31: Μεταγενέστερες πιθανότητες βελτιστοποιημένου εναλλακτικού σεναρίου για τον κόμβο «HULL_DAMAGE_STATE_STRUCTURE».

HULL_DAMAGE_STATE_STRUCTURE	%
Total Loss	1.98
Serious Damage	12.05
Minor Damage	85.97

Γίνεται αντιληπτό ότι παρα τις αντίξοες συνθήκες που επικρατούν στο θαλάσσιο περιβάλλον, αν είχε προηγηθεί η επιθεώρηση ανανέωσης κλάσης αντί να μετατεθεί για λίγους μήνες μετά, η πιθανότητα να βυθιστεί το πλοίο γίνεται **3 φορές μικρότερη**.

Πίνακας 6.32: Μεταγενέστερες πιθανότητες βελτιστοποιημένου εναλλακτικού σεναρίου για τον κόμβο «Human_Casualty».

Human_Casualty	%
Loss of Lives	1.08
Injury	13.72
No Injury	85.20

Η πιθανότητα να έχουμε απώλειας ζωής γίνεται **4 φορές μικρότερη**.

Πίνακας 6.33: Μεταγενέστερες πιθανότητες βελτιστοποιημένου εναλλακτικού σεναρίου για τον κόμβο «Property_Damage».

Property_Damage	%
High Prop Damage	7.75
Moderate Prop Damage	17.41
Insignificant Prop Damage	74.84

Η πιθανότητα να έχουμε υψηλές οικονομικές απώλειες λόγω υλικών ζημιών γίνεται **2.2 φορές μικρότερη**.

Πίνακας 6.34: Μεταγενέστερες πιθανότητες βελτιστοποιημένου εναλλακτικού σεναρίου για τον κόμβο «Enviromental_Impact».

Enviromental_Impact	%
High Env Impact	0.77
Low Env Impact	3.04
Insignificant Env Impact	96.19

Και η πιθανότητα να έχουμε μεγάλη περιβαλλοντολογική μόλυνση γίνεται **3 φορές μικρότερη**.

6.3

Συμπεράσματα

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο χώρο της ναυτιλίας, εδώ και δεκαετίες, έχει γίνει αντιληπτή η σημαντικότητα του ρόλου του θεσμού των επιθεωρήσεων στην διαχείριση του στόλου. Τόσο όσον αφορά την διασφάλιση των κερδών του επιχειρηματία, όσο και για την προστασία του εργατικού προσωπικού και του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Γ' αυτόν τον λόγο πολλοί επιστήμονες και επαγγελματίες του χώρου έχουν διαθέσει πολλές εργατοώρες και κονδύλια για την ανακάλυψη και εξέλιξη μεθοδολογιών που, η εφαρμογή τους, θα εξασφαλίσει την βέλτιστη λύση για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη. Η έρευνα που έγινε έδειξε ότι πάρα όλη αυτή την σημαντική κινητοποίηση, οι εξελίξεις του τομέα των επιθεωρήσεων, στον χώρο της ναυτιλίας, κινούνται πάντα στην ίδια συμβατική στρατηγική εδώ και δεκαετίες.

Από την βιβλιογραφική επισκόπηση και το σύνολο της διπλωματικής εργασίας, γίνονται αντιληπτές οι τεράστιες δυνατότητες των Dynamic Bayesian Networks (DBN) και οι μελλοντικές προοπτικές για την λειτουργία που μπορούν να διατελέσουν σε διάφορους τομείς της ναυτιλίας. Τομείς που περιλαμβάνουν σημαντικούς παράγοντες υπό αβεβαιότητα, όπως αυτοί που ο ανθρώπινος παράγοντας διαδραματίζει κομβικό ρόλο, είναι κάποιιοι από αυτούς. Άλλος ένας τομέας, είναι φυσικά, και ο τομέας των επιθεωρήσεων που περιλαμβάνει διαδικασίες λήψης αποφάσεων σχεδόν σε όλα τα επίπεδα, στον σχεδιασμό, στην υλοποίηση, στην αξιολόγηση κτλ.

Από το μοντέλο που κατασκευάστηκε, έγινε αντιληπτό ότι με την χρήση των DBN μπορούν να κατασκευαστούν μοντέλα που να αναπαριστούν σε ικανοποιητικό βαθμό την διαδικασία γήρανσης της γάστρας του πλοίου, υπό την επίδραση των βασικών μηχανισμών φθοράς. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να αποτελέσουν βασικό ή συμπληρωματικό εργαλείο για την διεκπεραίωση και ανάλυση ποικίλων ναυτικών ζητημάτων. Ένα από αυτά τα ζητήματα είναι και αυτό των επιθεωρήσεων.

Τα σημαντικότερα ευρήματα που βγαίνουν από την εφαρμογή του μοντέλου και την μετέπειτα ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι ότι, οι επιθεωρήσεις βάση ανάλυσης ρίσκου, είναι μια μεθοδολογία που μπορεί να προσαρμοστεί στον τομέα της ναυτιλίας και να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο είτε για τον εξαρχής σχεδιασμό της στρατηγικής επιθεωρήσεων, είτε για την αξιολόγηση υπαρχουσών στρατηγικών.

Παράλληλα, έγινε, με παραστατικό τρόπο, αντιληπτό, το πως οι διαδικασίες της επιθεώρησης επιδρούν στην μεταβολή των ρίσκων που σχετίζονται με τις συνέπειες που αφορούν την ασφάλεια του προσωπικού, του περιβάλλοντος και την προστασία της περιουσίας. Σε αυτόν τον τομέα βοήθησε η εύκολη γραφική απεικόνιση του DBN μέσω του επιστημονικού προγράμματος GeNIe.

Τέλος, παρουσιάστηκαν δύο τελικά μοντέλα, ένα δυναμικό μοντέλο πεποιθήσεως και ένα μοντέλο επιρροής, που όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα και την ανάλυση τους, η συνδυαστική χρήση τους μπορεί να αποτελέσει ένα σοβαρό εργαλείο για τον εντοπισμό του βέλτιστου δυνατού πλάνου επιθεωρήσεων. Τα κριτήρια που θα αξιολογήσουν ένα τέτοιο πλάνο υπόκεινται στα πρότυπα που τηρεί ο εκάστοτε φορέας που θα το χρησιμοποιήσει. Από άλλη σκοπιά το βλέπει για παράδειγμα ο πλοιοκτήτης και από άλλη σκοπιά θα το δει ο νηογνώμονας.

Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας για υλοποίηση εφαρμογής, που να αφορά την προσαρμογή της μεθοδολογίας του Risk Based Inspection στον τομέα της ναυτιλίας, επιτεύχθηκε.

6.4

Προτάσεις

Οι προτάσεις για περαιτέρω μελέτη θα παρουσιαστούν επιγραμματικά στην συνέχεια.

1. Ένα επόμενο βήμα είναι η δημιουργία ανεξάρτητων δυναμικών μοντέλων πίστεως (DBN) για τα άλλα δύο τμήματα του πλοίου. Δηλαδή για το πρυμναίο τμήμα και το τμήμα του φορτίου. Θα πρέπει ειδικά όσον αφορά το τμήμα του φορτίου να γίνει διαχωρισμό ανάλογα τον τύπο του φορτηγού πλοίου. Έχει δοθεί το θεωρητικό υπόβαθρο που αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα της προεργασίας πριν τον σχεδιασμό των μοντέλων.
2. Σε επόμενο στάδιο θα πρέπει να βρεθεί τρόπος ώστε να συνεργάζονται τα επιμέρους DBN και να βγάζουν συνολικά αποτελέσματα.
3. Επέκταση του μοντέλου και σε άλλου τύπου βλάβες πέραν της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, όπως στις βλάβες του μηχανολογικού εξοπλισμού, φωτιά/εκρήξεις κτλ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία

- ABS. (2000). Guidance notes on Risk Assessment Applications for Marine And Offshore oil and gas Industries: American Bureau of Shipping.
- API. (1998). API Publication 581. Base Resource Documentation - Risk-Based Inspection: American Petroleum Institute.
- API. (1999). API Publication RP 580 *Recommended Practice for Risk-Based Inspection*: American Petroleum Institute.
- API. (2000a). API Publication 581 *Base Resource Documentation— Risk-Based*: American Petroleum Institute.
- API. (2000b). API Publication 580. In R.-B. Inspection (Ed.), *API Recommended Practice*: American Petroleum Institute.
- API. (2000c). API Publication 580. In R.-B. I. L. Version (Ed.), *API Recommended Practice*: American Petroleum Institute.
- ASME. (1991). *Risk-based inspection : development of guidelines*. New York: American Society of Mechanical Engineers.
- Berger, O., James. (1985). *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis*. USA: Institute of Statistics and Decision Sciences.
- Bernardo, M. J., & Smith, F. M. A. (1994). *Bayesian Theory*: Wiley.
- Bonafede, C. E., & Giudici, P. (2007). *Bayesian Networks for enterprise risk assessment*. Italy: University of Pavia.
- Brualdi, R. A. (1992). *Introductory Combinatorics* (E. S. P. Co Ed.). New York.
- Cain, J., Batchelor, C., & Waughray, D. (1999). Belief networks: a framework for the participatory development of natural resource management strategies. *Environment, Development and Sustainability*.
- Cooper, F. G., & Herskovits, E. (1992). A Bayesian method for the Induction of Probabilistic Networks from Data [Press release]
- COVO. (1982). *Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area: A Pilot Study*: Springer Netherlands.
- Cowell, R. (1999). Introduction to inference for Bayesian networks.
- DNV. (2002). Risk Based Inspection of Offshore Topside Static Mechanical Equipment *Reccommended Practice*.
- DNV. (2005). Hull Structure Course.

- DNV. (2010). Risk Based Inspection of Offshore Topside Static Mechanical Equipment *Recommended Practice DNV-RP-G101*.
- Dormer, K., Seeney, C., Lewelling, K., Lian, G. D., Gibson, D., & Johnson, M. (2005). Epithelial internalization of superparamagnetic nanoparticles and response to external magnetic field.
- Druzdzal, M. J., & Van der Gaag, L. C. (1995) Elicitation of probabilities for belief networks: Combining qualitative and quantitative information. *In: Proceedings of the Eleventh Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- EC. (1996). Seveso II Directive: European Commission.
- EC. (1997). Pressure Equipment Directive 97/23: European Commission.
- ENIQ. (1997). European Methodology for Qualification of Non Destructive Testing. Brussels-Luxembourg: European Commission.
- EPRI. (1998a). Streamlined Reliability-Centered Maintenance (SRCM) Program for Fossil-Fired Power Plants (Final Report ed.). Palo Alto. CA: EPRI.
- EPRI. (1998b). Streamlined Reliability Centered Maintenance at Montana Power Company's Colstrup Unit 1 (Final Report ed.). Palo Alto. CA: EPRI.
- Goyet, J., Rouhan, A., Castanheira, V., Farias, B., Faber, M., % Nishijima, K. (2010). Annex Example – Risk Based Inspection of Offshore Structures *Risk Assessment in Engineering - Principles, System Representation & Risk Criteria*: Joint Committee on Structural Safety.
- Heckerman, D. (1999). A tutorial on learning with Bayesian networks.
- HSE. (1978). *Canvey: An Investigation of Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area*. London: Health and Safety Executive.
- International Electrotechnical Commission (2000). International Standard IEC 61508: Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety Related Systems. Geneva: IEC.
- Jensen, F. V. (1996). *An introduction to Bayesian networks*. London, UK.: UCL Press.
- Kannan, R. (2006). Bayesian networks: Application in safety instrumentation and risk reduction. *ISA Transactions*.

- Ku, A., Nietmann, B., Krzonkalla, V., Wang, X., Chen, J., & Howser, R. (2012). *Structural Reliability Applications in Risk- Based Inspection Plans for Semi-Submersible Floating Structures*. Paper presented at the Deep Offshore Technology (D.O.T.) Conference.
- Langseth, H., & Portinale, L. (2005). Bayesian networks in reliability. *Reliability Engineering and System Safety* 92.
- Lanquetin, B., Goyet, J., & Esteve, J. (2007). Implementing Risk-Based Inspection on Our F(P)SOs: From a Practical Approach to the Edge of R&D. Houston, Texas, USA: Bureau Veritas.
- Leonard, T., & Hsu, S. J. J. (1999). *Bayesian Methods: An Analysis for Statisticians and Interdisciplinary Researchers*.
- Maglogiannis, I., Zafiroopoulos, E., Platis, A., & Lambrinouidakis, C. (2005). Risk analysis of a patient monitoring system using Bayesian network modelling. *Journal of Biomedical Informatics* 39.
- Marcot, B. G., Holthausen, R. S., raphael, M. G., Rowland, M. M., & Wisdom, M. J. (2001). Using Bayesian belief networks to evaluate fish and wildlife population viability under land management alternatives from an environmental impact statement: Ecol. Manage.
- Neapolitan, R. E. (1989). *Probabilistic Reasoning in Expert Systems: Theory and Algorithms*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Nicandro, C. R., Héctor, G. A. M., Humberto, C. C., Luis, A. N. F., & Rocío, E. B. M. (2007). Diagnosis of Breast Cancer using Bayesian Networks: A Case Study *Computers in Biology and Medicine* (Vol. 37).
- Papagiannopoulou, C. (2013). *Finding and Exploiting Constraints between Tags in Multi-Label Data*. Aristotle University of Thessaloniki.
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. San Francisco, California: Morgan Kaufmann Publishers.
- Pollino, A., Woodberry, O., Nicholson, A., Korb, K., & Hart, T. (2006). Parameterisation and evaluation of a Bayesian network for use in an ecological risk assessment, *Environmental Modelling and Software*.
- SSC. (2000). Prediction of Structural response in Grounding Application to Structural Design: Ship Structure Committee.
- Stephenson, A. T. (2000). *An Introduction to Bayesian Network Theory and Usage: IDIAP RESEARCH*.
- Trucco, P., Cagno, E., Ruggeri, F., & O., G. (2007). A Bayesian belief network modeling of organizational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation *Reliability Engineering and System Safety*.

- U. S. Nuclear Regulatory Commission, U. S. A. E. C. (1975). *Reactor Safety Study - An assessment of Accident Risks in U.S. commercial Nuclear Power Plants* (U. S. N. R. Commission Ed. Vol. 1).
- Uusitalo, L. (2006). Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modelling.
- Vagias, N. (2010). *A Bayesian Network Application for the Prediction of Human Fatigue in the Marine Industry*. National Technical University of Athens.
- Van der Meer, J. W., Briganti, R., Zanuttigh, B., & Wang, B. (2005). Wave transmission and reflection at low crested structures: design formulae, oblique wave attack and spectral change. *Coastal Eng.*
- Verduijin, M., Peek, N., J., R. P. M., Jonge, E., & Mol, B. A. J. M. (2007). Prognostic Bayesian Network I: Rationale, learning procedure and clinical use. *Journal of Biomedical Informatics 40*.
- Zweig, G., & Russell, S. (1997). Compositional modeling with DPNs (Computer Science Division (EECS), Trans.). Berkley, CA.: University of California at Berkeley.
- Σαμουηλίδης, Μ. (2007). Σημειώσεις Αντοχής Πλοίου.
- Χριστακοπούλου, Κ. (2013). Μηχανική Μάθηση: Bayesian Δίκτυα και Εφαρμογές *Πανεπιστήμιο Πατρών*.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Τα λογισμικά με λειτουργικότητα Δυναμικών Μπεϋζιανών Δικτύων (Dynamic Bayesian Networks - DBN) τα οποία είναι μέχρι και πρότινος στην αγορά χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: λογισμικά τα οποία έχουν γραφικό περιβάλλον χρήστη (Graphical User Interface - GUI) και αυτά που δεν έχουν. Τα λογισμικά που έχουν GUI είναι συνήθως εμπορικά και είναι σχετικά εύκολα στην χρήση για κάποιον με μέτριο επίπεδο γνώσης στα Μπεϋζιανά δίκτυα. Τα λογισμικά χωρίς GUI είναι κυρίως ακαδημαϊκού-προσανατολισμού λογισμικά, το οποίο σημαίνει ότι είναι αποτέλεσμα έρευνας στον τομέα των (D)BN. Τα ακαδημαϊκού-προσανατολισμού λογισμικά είναι σε μεγάλο βαθμό ευέλικτα, αλλά αυτό μπορεί να κάνει τις εφαρμογές τους για συγκεκριμένα προβλήματα πολύ χρονοβόρα.

Α.1

Λογισμικά

Εργαστηριακό Λογισμικό Συστημάτων απόφασης

SMILE και GeNIe είναι μέλη μίας οικογένειας λογισμικού επιλύσεων που αναπτύχθηκε στο Decision Systems Laboratory (DSL), του πανεπιστημίου του Pittsburgh. Αυτό το λογισμικό είναι ένα άμεσο αποτέλεσμα των ερευνητικών ενδιαφερόντων του DSL και αναπτύχθηκε για τους σκοπού πιθανοτικού μοντελισμού, συμπεριλαμβάνοντας ειδικές προεκτάσεις για διαγνωστικό συμπερασμό (inference). Το λογισμικό, τα έγγραφα και αρκετά παραδείγματα εφαρμογών μπορούν να βρεθούν χωρίς χρέωση στο <http://genie.sis.pitt.edu>.

SMILE

Ο δομικός μοντελισμός καθώς και η μηχανή συμπερασμού και εκμάθησης (learning) είναι μία πλήρης πλατφόρμα, ανεξάρτητη βιβλιοθήκη των τάξεων της c++ που εφαρμόζει γραφικά πιθανολογικά και απόφασης-θεωρητικά μοντέλα που είναι κατάλληλα για άμεση χρήση σε έξυπνα συστήματα. Η κάθε τάξη που καθορίζεται στο Application Program Interface (API) του SMILE ενεργοποιεί τον χρήστη για να δημιουργήσει, επεξεργαστεί, αποθηκεύσει και φορτώσει γραφικά μοντέλα, καθώς και την χρήση αυτών για πιθανολογικούς συλλογισμούς και λήψη αποφάσεων υπό από αβεβαιότητα. Για να μπορέσεις να έχεις πρόσβαση της βιβλιοθήκης SMILE από έναν αριθμό άλλων γλωσσών προγραμματισμού, τα wrappers υπάρχουν για ActiveX, Java και .NET. Το SMILE πρωτοεκδόθηκε το 1997 και έχει χρησιμοποιηθεί πλήρως στον τομέα από τότε. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Ανεξάρτητη πλατφόρμα¹ υπάρχουν διαθέσιμες εκδόσεις για Windows, Linux, Mac, Rock-etPC κτλ.
- Διαθέσιμο wrapper¹ για χρήση με .NET framework. Συμβατό με όλες τις γλώσσες .NET
- Ακριβής και ολοκληρωμένη τεκμηρίωση
- Συμπαγής, με επιτυχή λειτουργία από το 1997
- Διαδραστική υποστήριξη από την ομάδα ανάπτυξης

GeNie

Το Graphical Network Interface (GeNie) είναι το γραφικό περιβάλλον χρήστη της SMILE βιβλιοθήκης. Έχει υλοποιηθεί σε C++ και κάνει βαριά χρήση των Microsoft Foundation κλάσεων. Η έμφαση του δίνεται στην προσβασιμότητα και φιλικότητα του περιβάλλοντος χρήστη και στην κατασκευή μοντέλων απόφασης, χρησιμοποιώντας διαισθητικά ένα γραφικό click-and-drop περιβάλλον. Είναι ένα πολύπλευρο και φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον για την κατασκευή γραφικών μοντέλων απόφασης και για την εκτέλεση διαγνώσεων. Τα βασικά του χαρακτηριστικά είναι:

- Γραφικός συντάκτης για την δημιουργία και την τροποποίηση μοντέλων
- Υποστηρίζει κόμβους με γενικές, Noisy-Or/MAX και Noisy-AND/MIN κατανομές πιθανοτήτων
- Λειτουργικότητα που επιτρέπει την περικοπή και επικόλληση μερών από και προς διαφορετικά Μπεϋζιανά δίκτυα
- Πλήρη ένταξη με το πρόγραμμα Microsoft Excel, αποκοπή και επικόλληση δεδομένων σε εσωτερικά υπολογιστικά φύλλα του GeNie.
- Εγκάρσια συμβατότητα με άλλα λογισμικά. Υποστηρίζει όλους τους μεγάλους τύπους αρχείων όπως Hugin, Netica και Ergo.
- Υποστήριξη για τον χειρισμό του κόστους παρατήρησης των κόμβων.
- Υποστήριξη για την διαχείριση διαγνωστικών υποθέσεων.

Σήμερα, ο συνδυασμός του SMILE και του GeNie έχει αρκετές χιλιάδες χρήστες παγκοσμίως. Εφαρμογές που βασίζονται στο λογισμικό κυμαίνονται από πολύ βαριά βιομηχανικά λογισμικά μέχρι ακαδημαϊκού τύπου προγράμματα.

¹ wrapper: Είναι μία δομή δεδομένων ή λογισμικό που περιλαμβάνει (περιτυλίγει – wraps around) άλλα δεδομένα ή λογισμικά, έτσι ώστε τα περιεχόμενα στοιχεία να μπορούν να υπάρξουν και σε νεότερα συστήματα.

A.2

Βιβλιοθήκες Dynamic Bayesian Networks

Κυρίως τρεις βιβλιοθήκες υπάρχουν που να έχουν DBN λειτουργίες και να είναι διαθέσιμες δωρεάν. Και οι τρεις δεν είναι σε ολοκληρωμένη κατάσταση, το οποίο σημαίνει ότι κάποιες λειτουργίες λείπουν και/ή πρέπει να δοκιμαστούν περαιτέρω και να βελτιστοποιηθούν.

Το Bayes Net Toolbox για τον Matlab

Μέχρι την εμφάνιση του Bayes Net Toolbox για το Matlab (BNT), το συγκεκριμένο πεδίο δεν είχε κάποια δωρεάν γενικού τύπου βιβλιοθήκη προγράμματος που να μπορεί να διαχειριστεί, πολλών διαφορετικών μεταβλητών γραφικών μοντέλων, τεχνικές συμπερασμού και εκμάθησης. Το BNT είναι μία προσπάθεια να δημιουργηθεί μία δωρεάν, ελεύθερη και που να επεκτείνεται εύκολα, βιβλιοθήκη στο Matlab λόγω της ευκολίας του στην διαχείριση Gaussian τυχαίων μεταβλητών. Το Matlab έχει αρκετά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, αλλά το βασικότερο μειονέκτημα του είναι ότι **είναι παρα πολύ αργό**.

Στην BNT, τα Bayesian Networks απεικονίζεται ως μία δομή που περιλαμβάνει γράφο, τις κατανομές των υπο συνθήκη πιθανοτήτων ή Condition Probability Distributions (CPD) και κάποιες άλλες πληροφορίες. Ένα DBN απεικονίζεται με ένα αρχικό και ένα μεταβατικό δίκτυο, κάνοντας το δυνατό να μοντελοποιήσουμε μόνο πρώτου βαθμού διαδικασίες. Το BNT προσφέρει ποικιλία αλγορίθμων συμπερασμού, κάθε ένα κάνει μικρο-ανταλλαγές μεταξύ ακρίβειας, γενικότητας, απλότητας, ταχύτητας κτλ. Όλοι οι μέθοδοι συμπερασμού έχουν το ίδιο API, οπότε μπορείς εύκολα να τις εναλλάσσεις. Οι υπο συνθήκη πιθανότητες των καθορισμένων μεταβλητών μπορούν να είναι συνεχής ή διακριτές. Δομική και παραμετρική μάθηση υποστηρίζονται επίσης αρκετά ικανοποιητικά.

Η εργαλειοθήκη ήταν πρώτη στο είδος της και έθεσε το πρότυπο των DBN βιβλιοθηκών. Είναι και σήμερα ευρέως διαδεδομένη η χρήση της, επειδή ο κώδικας είναι εύκολα να επεκταθεί και είναι και πολύ καλά καταγεγραμμένος. Ωστόσο η λειτουργικότητα του πρέπει να επεκταθεί για να γίνει πραγματικά ένα γενικής χρήσης εργαλείο, όπως τα δενδροειδούς τύπου CPDs, Bayesian μοντελοποίηση, σε απευθείας σύνδεση συμπερασμός, μάθηση, πρόβλεψη κτλ.

Η Graphical Model Toolkit

Το The Graphical Model Toolkit (GMTK) είναι μία, διαθέσιμη δωρεάν, ανοιχτού λογισμικού εργαλειοθήκη γραμμένη σε c++, η οποία είναι ειδικευμένη στην ανάπτυξη αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας, βασισμένη σε DBN. Το GMTK

έχει έναν μεγάλο αριθμό λειτουργιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μία μεγάλη ομάδα στατιστικών μοντέλων. Αυτές οι λειτουργίες περιλαμβάνουν αρκετές τεχνικές συμπερασμού, συνεχής μεταβλητές παρατήρησης και διακριτής εξάρτησης προδιαγραφές μεταξύ διακριτών μεταβλητών. Το DBN μοντέλο χρειάζεται να είναι συγκεκριμένο σε μία ειδικού τύπου γλώσσα. Σε αυτήν την γλώσσα, ένα DBN καθορίζονται ως ένα περίγραμμα που περιλαμβάνει αρκετές χρονικές στιγμές (time slices). Η συλλογή των χρονικών στιγμών ξεδιπλώνεται στον χρόνο για δημιουργηθεί ένα ξεδιπλωμένο DBN (Unrolled DBN). Οι χρονικές στιγμές στο περίγραμμα χωρίζονται σε ένα σύνολο πρόλογου, στις επαναλαμβανόμενες και σε αυτές του επίλογου και μόνο τα επαναλαμβανόμενα καρέ αντιγράφονται στον χρόνο. Αυτή η προσέγγιση για την μοντελοποίηση DBNs έχει μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και επίσης απαιτεί πολύ δουλειά για να καθοριστεί το ίδιο DBN μοντέλο.

Η GMTK είναι μία αρκετά υποσχόμενη βιβλιοθήκη. Για να γίνει πραγματικά χρηστική, μερικά μειονεκτήματα πρέπει να ξεπεραστούν. Το βασικότερο μειονέκτημα της είναι ότι δεν είναι ένα γενικής χρήσης εργαλείο, γιατί επικεντρώνεται στην αυτόματη αναγνώριση φωνής και για αυτόν τον λόγο περιορίζεται η λειτουργικότητα της που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και από άλλες εφαρμογές. Επιπλέον, τα έγγραφα χρήσης έχουν πολύ δρόμο στο να ολοκληρωθούν, κάνοντας σχεδόν αδύνατον, για έναν χρήστη που δεν ασχοληθεί στενά στην υλοποίηση της, να καταλάβει την εργαλειοθήκη. <http://melodi.ee.washington.edu/gmtk/>

Η Probabilistic Network Library

Το ερευνητικό εργαστήριο της Intel στο Saint Petersburg στην Ρωσία είναι υπεύθυνο για το Probabilistic network Library (PLN). Το οποίο είναι μία ανοιχτού-λογισμικού βιβλιοθήκη γραμμένη σε c++, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον συμπερασμό και την μάθηση γραφικών μοντέλων. Η PNL υποστηρίζει μία μεγάλη ποικιλία γραφικών μοντέλων, συμπεριλαμβανομένης και των DBN. Στην πραγματικότητα, η PNL μπορεί να θεωρηθεί ως μία c++ εφαρμογή της BNT, μιας και ο σχεδιασμός της είναι πολύ στενά βασισμένος σε αυτήν την βιβλιοθήκη. Η PNL δεν υποστηρίζει όλες τις λειτουργίες που προσφέρει η BNT ακόμα, αλλά σε βάθος χρόνου έχει στόχο να της ξεπεράσει.

Η επηρροή της BNT είναι ξεκάθαρη όταν εντυπώσεις στην API της PNL. Ένα DBN καθορίζεται επίσης ως ένα αρχικό και ένα μεταβατικό δίκτυο και οι BN τεχνικές βασίζονται σε αυτή εμφανώς. Λόγω του ότι η προσέγγιση είναι παρεμφερής, η PNL μπορεί να μοντελοποιήσει μόνο πρώτου βαθμού διαδικασίες. Το API είναι πολύ καλά καταγεγραμμένη, το οποίο την κάνει μία καλή επιλογή για κάποιον που θέλει να μοντελοποιήσει ένα DBN (ή άλλα γραφικά μοντέλα). Ωστόσο, η εφαρμογή έχει πολύ δρόμο για να ολοκληρωθεί και υπολείπεται αρκετών λειτουργιών που το BNT προσφέρει.

A.3

DBN εργαλεία μοντελοποίησης

Θα παρουσιάσουμε τα τρία πιο βασικά εργαλεία μοντελοποίησης που υποστηρίζουν χρονικό συλλογισμό και έχουν και γραφικό περιβάλλον. Αυτά είναι:

- BayesianLAB
- Netica
- GeNIe

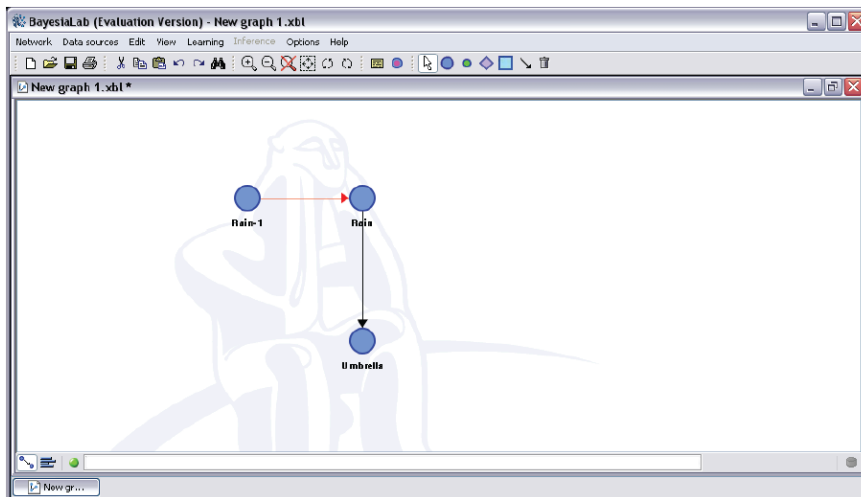
BayesianLAB

Το BayesianLAB είναι ένα λογισμικό εργαλειοθήκη που αναπτύχθηκε από την γαλλική εταιρεία Bayesian. Το BayesianLAB έχει δύο λειτουργίες. Μία λειτουργία που ονομάζεται «modeling mode» για τον σχεδιασμό BN και την λειτουργία «validation mode» για το βήμα του συλλογισμού (inference). Στην «modeling mode», είναι δυνατόν να προστεθούν χρονικά βέλη σε ένα BN ώστε να υποδεικνύει ότι οι γονείς κόμβοι των συγκεκριμένων κόμβων είναι σε προηγούμενη χρονική στιγμή. Μόνο τα Markov μοντέλα πρώτου βαθμού μπορούν να σχεδιαστούν κατά αυτόν τον τρόπο. Τα χρονικές ακμές έχουν διαφορετικό χρώμα (κόκκινο). Ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει την αρχική κατάσταση και τις χρονικές πιθανότητες των κόμβων. Μετα τον προσδιορισμό, στο «validation mode» μπορεί να γίνει η επιλογή να ακολουθήσει τις αλλαγές του συστήματος κατά την διάρκεια του χρόνου καθώς εναλλάσσονται οι χρονικές στιγμές (μόνο ευθεία βήματα επιτρέπονται) ή καθορίζοντας τον αριθμό των βημάτων και μετα με χρονικό διάγραμμα να απεικονίζονται οι μεταβλητές. Το DBN δεν γίνεται να το ξετυλίξουμε γραφικά, μόνο τις τιμές μπορούμε να δούμε. Δίνεται η δυνατότητα να θέτουμε κάποιες πληροφορίες (evidences) με το χέρι ή φορτώνοντας κάποιο αρχείο. Παρακάτω βλέπουμε στο **Σχήμα A.1** βλέπουμε ενδεικτικά το περιβάλλον του BayesianLAB.

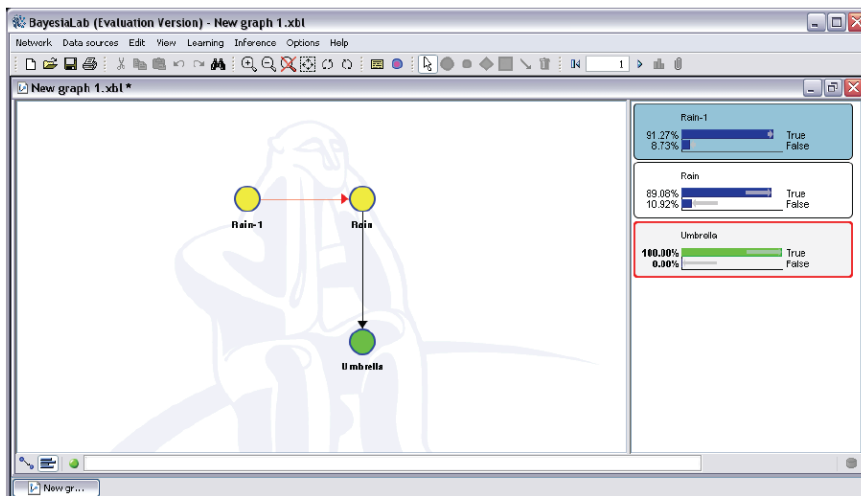
Netica

Το Netica είναι ένα πρόγραμμα της Norsys, η οποία έχει την έδρα της στον Καναδά. Στο Netica, ο χρήστης σχεδιάζει το (D)BN και μετα το μεταγλωττίζει (compile). Στην συνέχεια μόνο είναι δυνατός ο συλλογισμός. Μεταγλωττίζω ένα (D)BN ουσιαστικά σημαίνει ότι το μετατρέπουμε σε απεικόνιση Junction tree. Όταν σχεδιάζεται το DBN, χρονικές ακμές μπορούν να τοποθετηθούν μεταξύ των κόμβων. Οι χρονικές ακμές έχουν κόκκινο χρώμα. Η διαφορά με το BayesianLAB είναι ότι καθορίζουμε αναλυτικά την χρονική σχέση των δύο κόμβων στον έναν κόμβο αντι της αναλυτικής προσέγγισης του BayesianLAB. Με αυτόν τον τρόπο, k βαθμού Markov διαδικασίες μπορούν να μοντελοποιηθούν. Όταν το DBN έχει

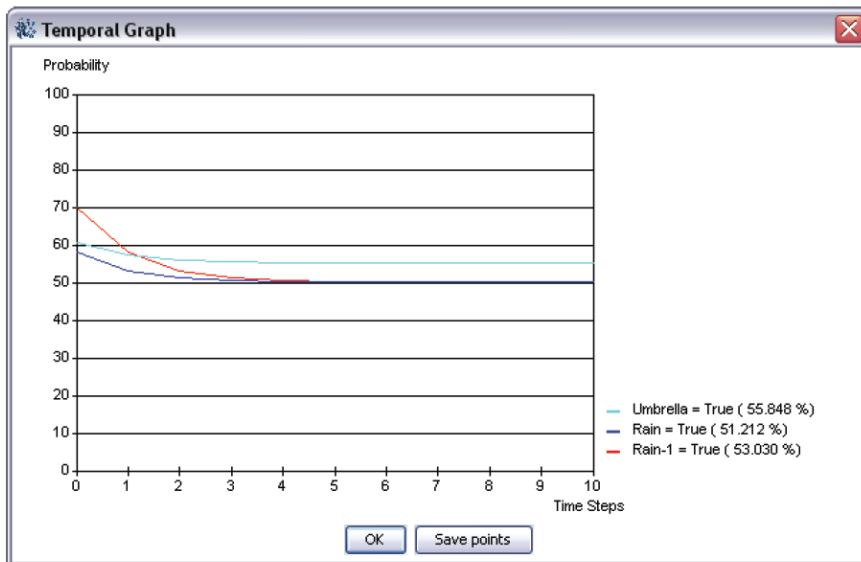
κόμβους με χρονική σχέση με τον εαυτό του (το οποίο είναι που συμβαίνει συνήθως), το DBN περιλαμβάνει βρόγχους. Αφού καθοριστεί το DBN, μπορεί να ξεδιπλωθεί για t χρονικές στιγμές και να μεταγλωττιστεί. Το τελικό BN ανοίγει σε καινούριο παράθυρο. Ο συμπερασμός μπορεί να γίνει σε αυτό το στάδιο. Όλες οι μέθοδοι συμπερασμού που έχουμε αναφέρει υποστηρίζονται. Πληροφορίες μπορούν να εισαχθούν είτε με το χέρι, είτε από αρχείο. Στο Σχήμα Α.2 φαίνεται το γραφικό περιβάλλον.



(a)

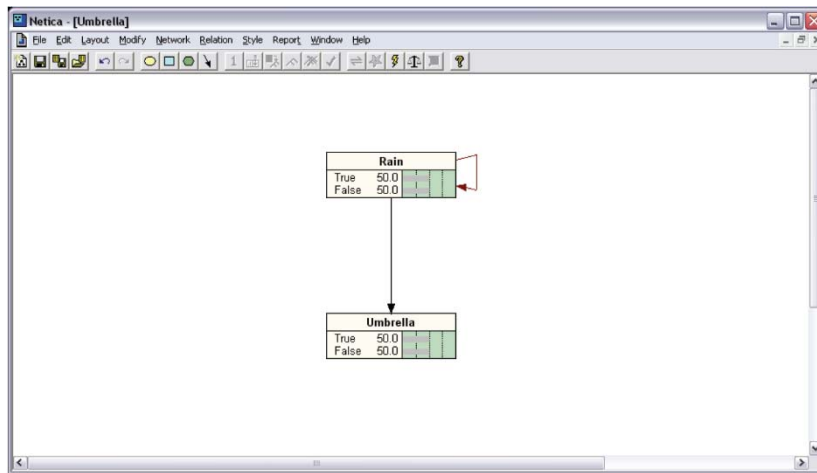


(b)

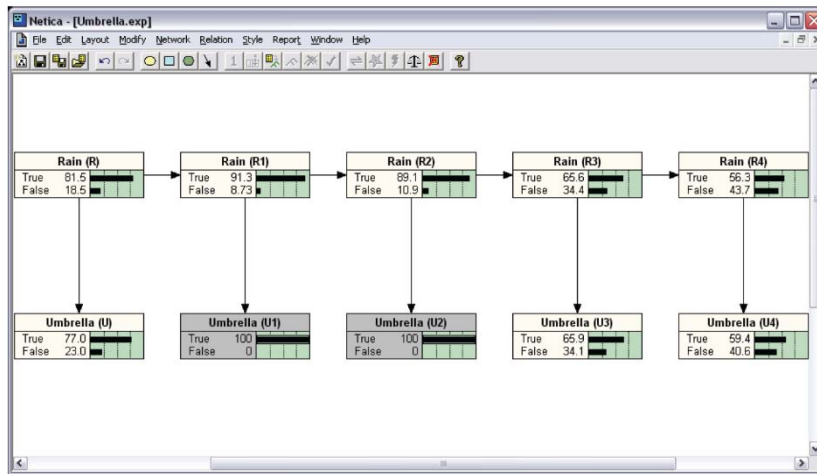


(c)

Σχήμα A.1: BayesianLAB (a) Η «design mode» λειτουργία, όπου ο χρήστης σχεδιάζει το (D)BN. (b) Η «validation mode» λειτουργία όπου μπορεί να γίνει ο συμπερασμός. (c) Έχα χρονικό διάγραμμα όπου φαίνονται οι τιμές των μεταβλητών.



(a)



(b)

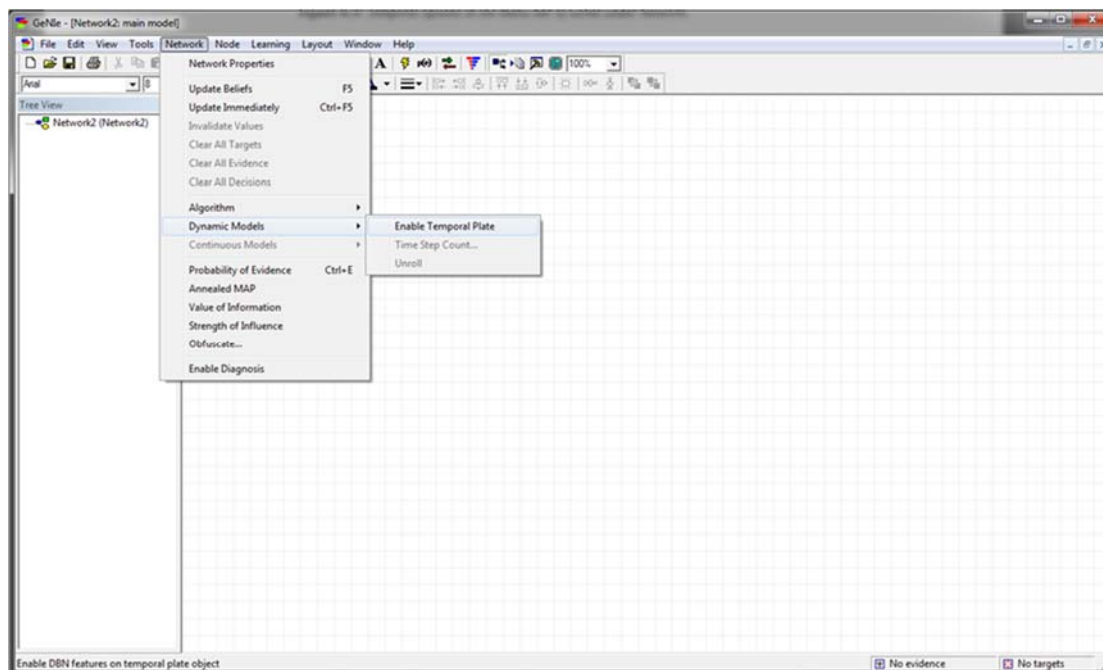
Σχήμα Α.2: Netica (a) Ο σχεδιασμός του DBN (b) Το ξεδίπλωμα του DBN.

GeNIe

Το GeNIe είναι το πρόγραμμα που έχει επιλεγεί για τον σχεδιασμό της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Θεωρούμε ότι το γραφικό του περιβάλλον είναι τέτοιο, ώστε να δίνει την δυνατότητα σε κάποιον χρήστη, που δεν έχει πρότερη εμπειρία με τα Bayesian Networks, να εγκλιματιστεί και να εντρυφήσει σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης διαθέτει και μία πλήρη βιβλιοθήκη εγγράφων χρήσης, με αναλυτικά tutorial, βήμα προς βήμα για το σύνολο των λειτουργιών. Είναι ένα δωρεάν γρήγορο πρόγραμμα που δεν υπολείπεται σε σχέση με τους ανταγωνιστές του. Για τον λόγο αυτό θα γίνει μία αναλυτική παρουσίαση με την χρήση του παρακάτω κλασσικού παραδείγματος.

Θα χρησιμοποιήσουμε το παράδειγμα όπου αναζητούμε την κατανομή της πιθανότητας να βρέχει ή όχι. Θεωρητικά βρισκόμαστε στις μυστικές υπόγειες εγκαταστάσεις που βρίσκονται είτε στο Pittsburg, είτε στην Sahara. Ο προϊστάμενος έρχεται κάθε μέρα από την επιφάνεια, ενώ εμείς δεν εκεί δεν έχουμε καθόλου πρόσβαση. Αν ο προϊστάμενος κρατάει ή όχι ομπρέλα, ποιες θα είναι οι πιθανότητες να βρέχει στην επιφάνεια; Ο δυναμικός κόμβος θα είναι αυτό της βροχής και η χρονική αλληλεπίδραση θα είναι με τον εαυτό της.

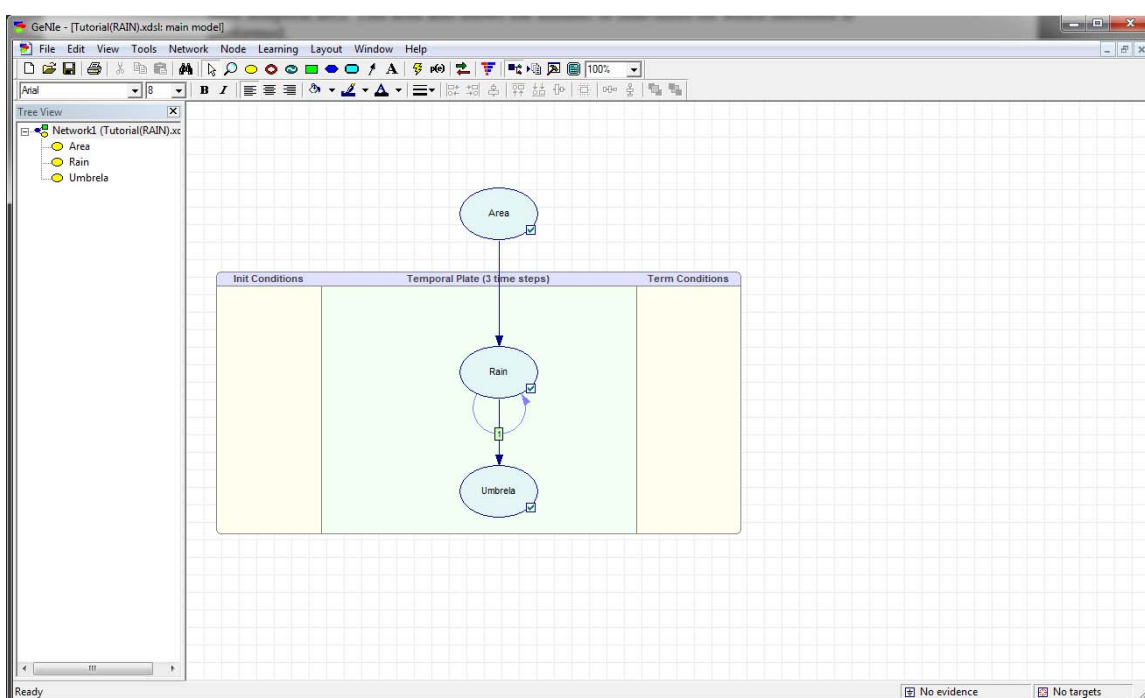
Ο φορμαλισμός των DBN περιλαμβάνει τέσσερις χρονικούς τύπους κόμβων: anchor, contemporal, plate και terminal. Σε ένα στατικό μοντέλο, το σενάριο χρονικού τύπου μεταβλητών δεν υπάρχει. Όταν ο σχεδιαστής του δικτύου αποφασίσει να συμπεριλάβει και χρονικές σχέσεις στο δίκτυο θα πάει Network → Dynamic Model → Enable Temporal Plate στην μπάρα menu.



Σχήμα A.3: «Enable Temporal Plate»

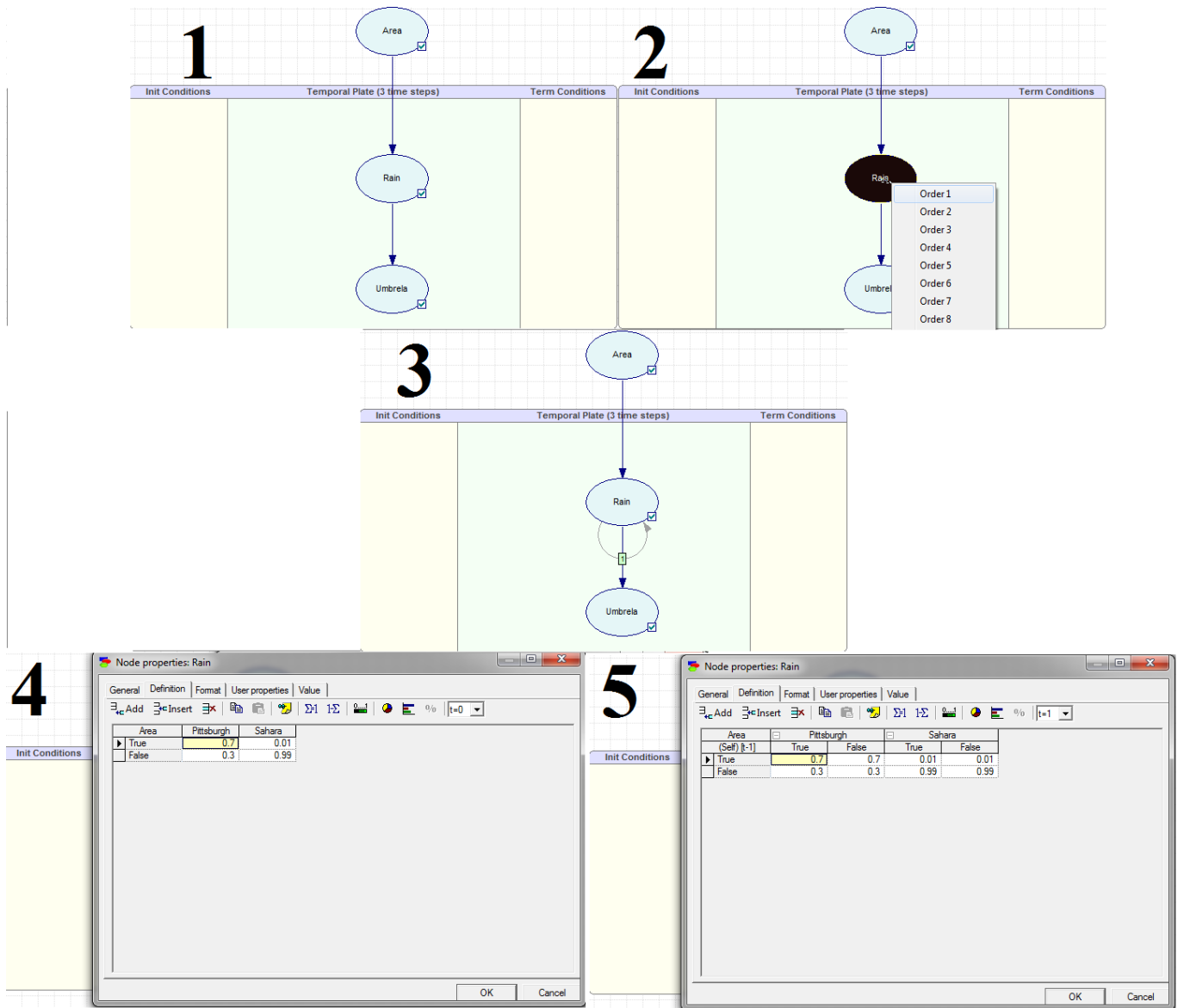
Ως αποτέλεσμα θα έχουμε ένα πεδίο όπου θα τοποθετούνται του διαφορετικού τύπου οι κόμβοι.

- **Contemporal:** Αυτό είναι το μέρος του δικτύου όπου οι κόμβοι αποθηκεύονται ως στατικοί αυτόματα
- **Initial condition:** Αυτό είναι το μέρος του δικτύου όπου αποθηκεύονται οι anchor κόμβοι.
- **Temporal plate:** Αυτό είναι μέρος όπου επιτρέπεται η χρήση χρονικών ακμών. Οι κόμβοι σε αυτό το μέρος δεν είναι απαραίτητα δυναμικοί. Αυτή η περιοχή δείχνει επίσης τον αριθμό των χρονικών στιγμών για τις οποίες θα εκτελεστεί ο συμπερασμός.
- **Terminal Condition:** Αυτό είναι το μέρος που αποθηκεύονται οι τελικοί κόμβοι.



Σχήμα Α.4: Παράδειγμα Dynamic Bayesian Network (Rain – Umbrella)

Τα όρια των διάφορων μερών μπορούν να αλλάξουν απλα μετακινώντας τα με το ποντίκι. Επίσης μπορούμε να αλλάξουμε και τον τύπο του κόμβου απλα σύροντας τον από το ένα μέρος στο άλλο. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα βήματα για το ορισμό του χρονικού πεδίου, την μετατροπή ενός κόμβου από απλό σε δυναμικό και την συμπλήρωση των υπο συνθήκη πιθανοτήτων.



Σχήμα Α.5: Διαδικασία μετατροπή ενός απλού κόμβου σε δυναμικό

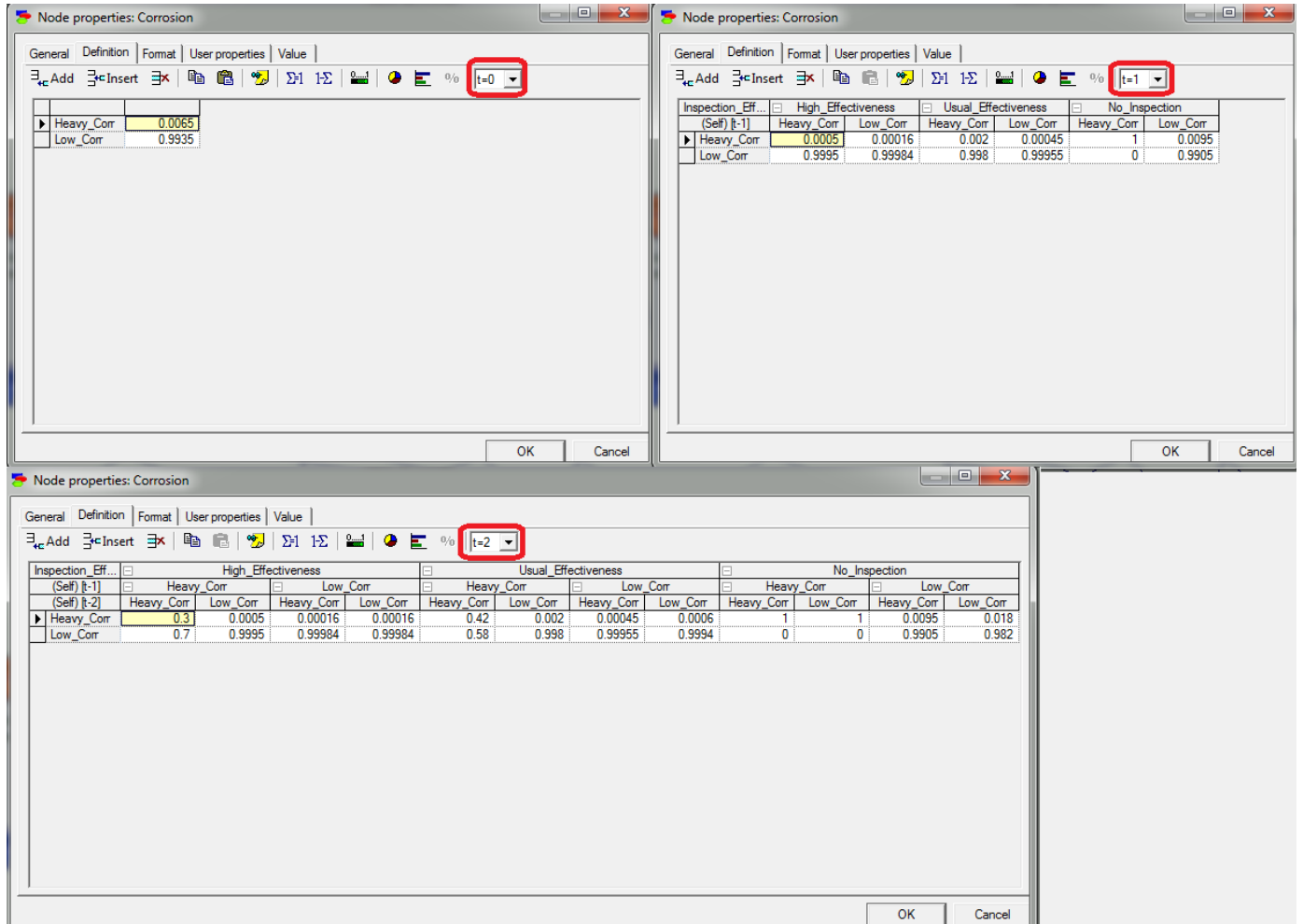
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄

ΔΕΣΜΕΥΜΕΝΕΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΤΟΥ DYNAMIC BAYESIAN NETWORK

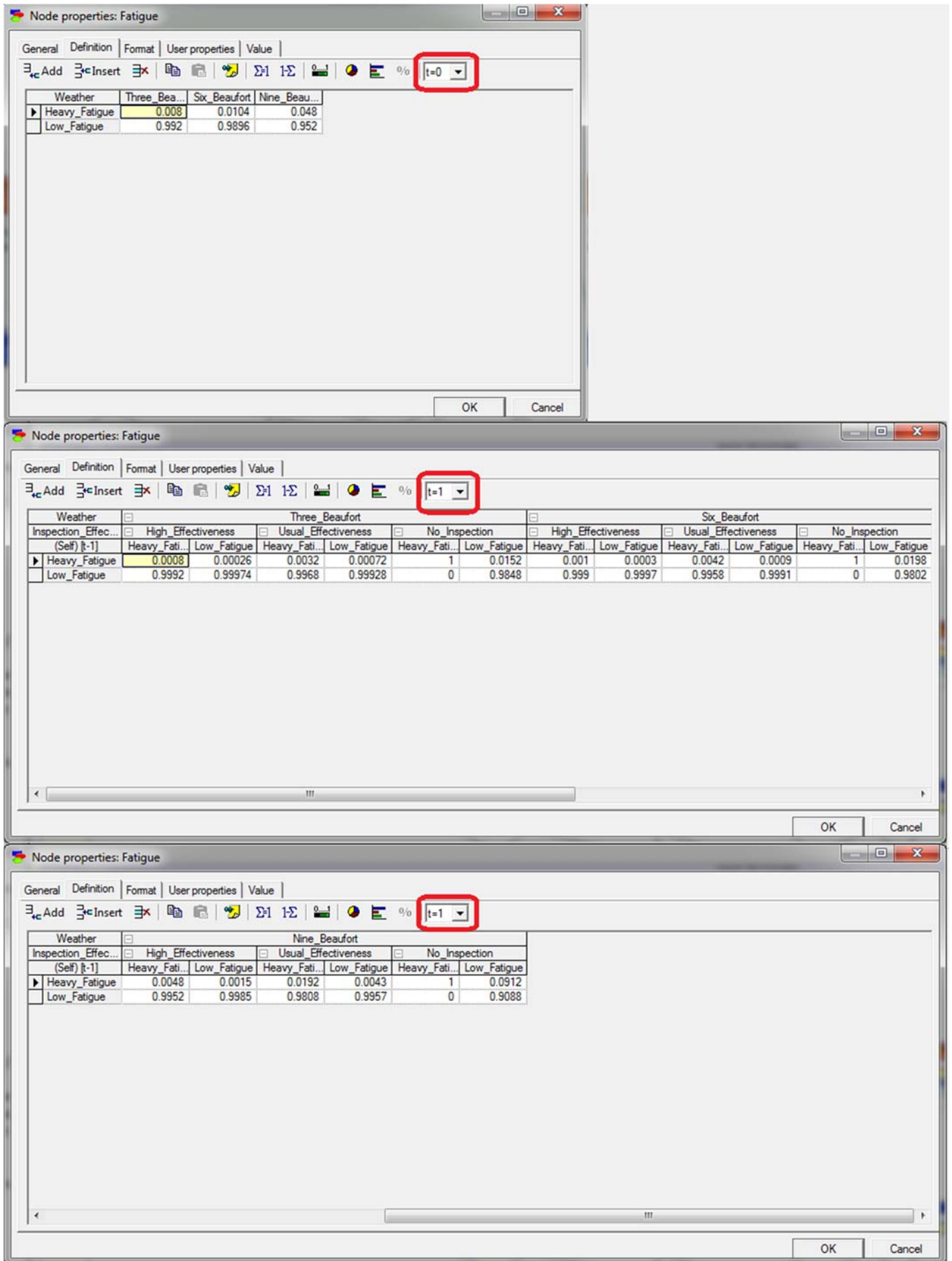
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Β1

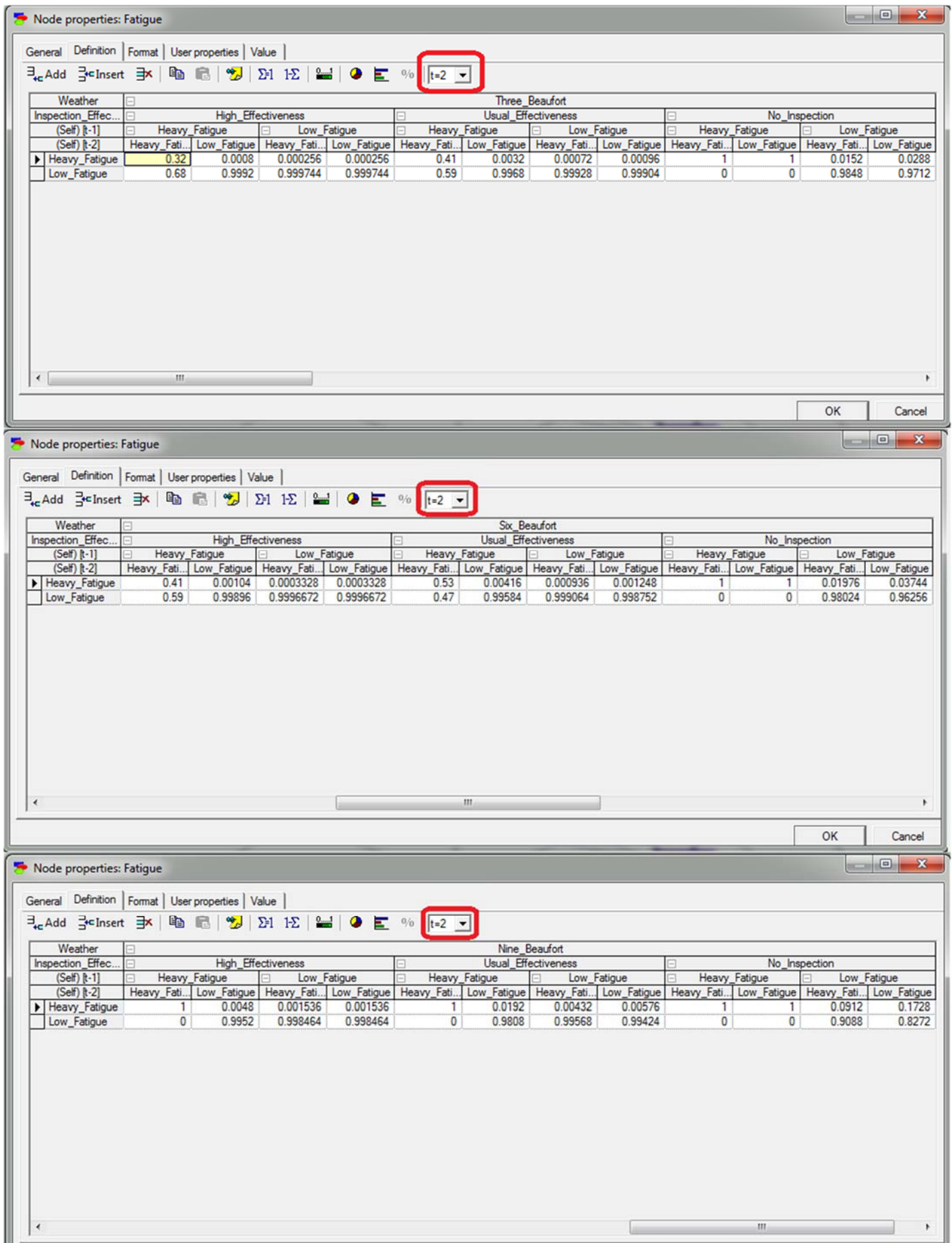
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ



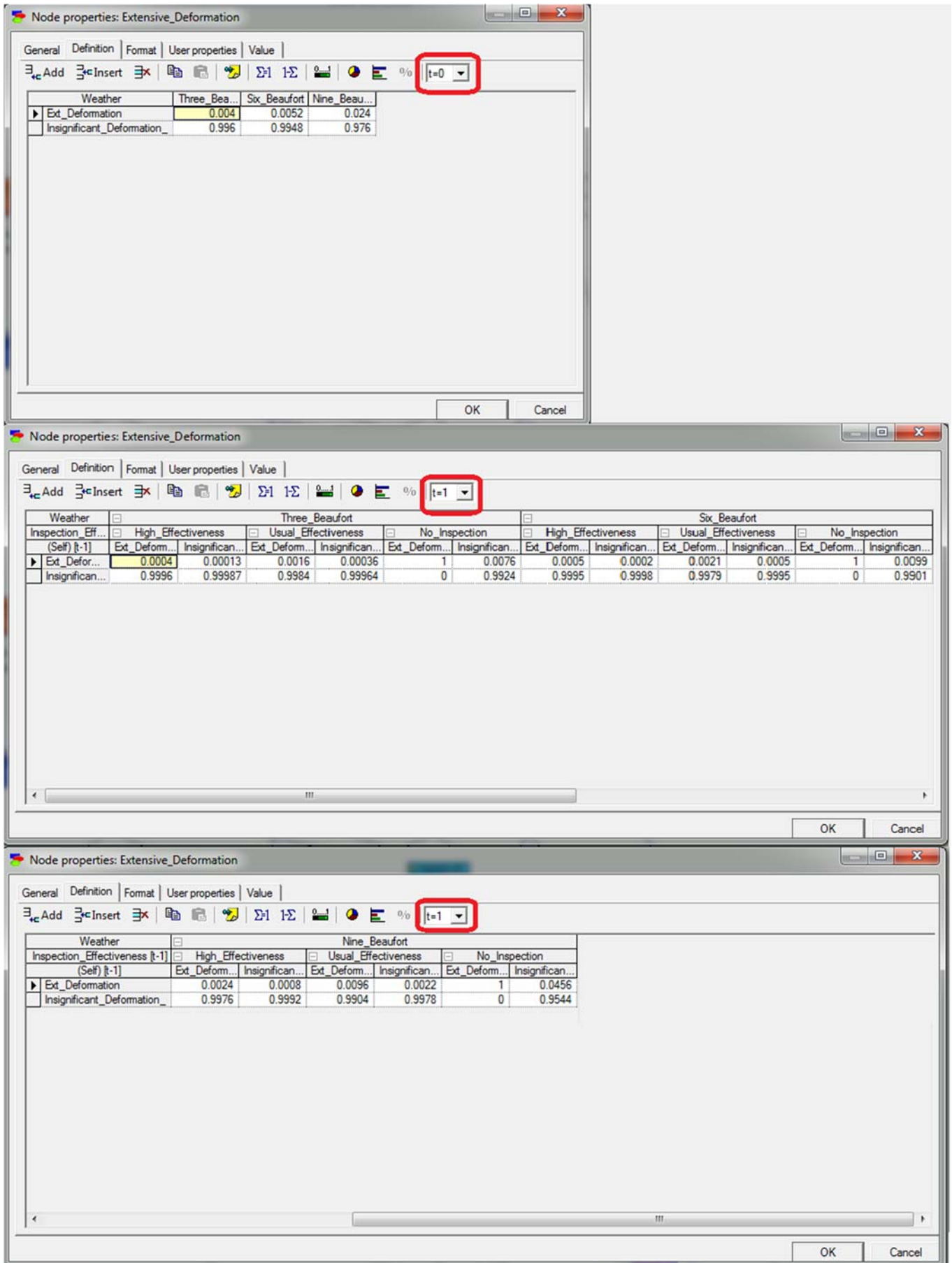
Εικόνα Β.1: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Corrosion» για όλες τις χρονικές αλληλεπιδράσεις.



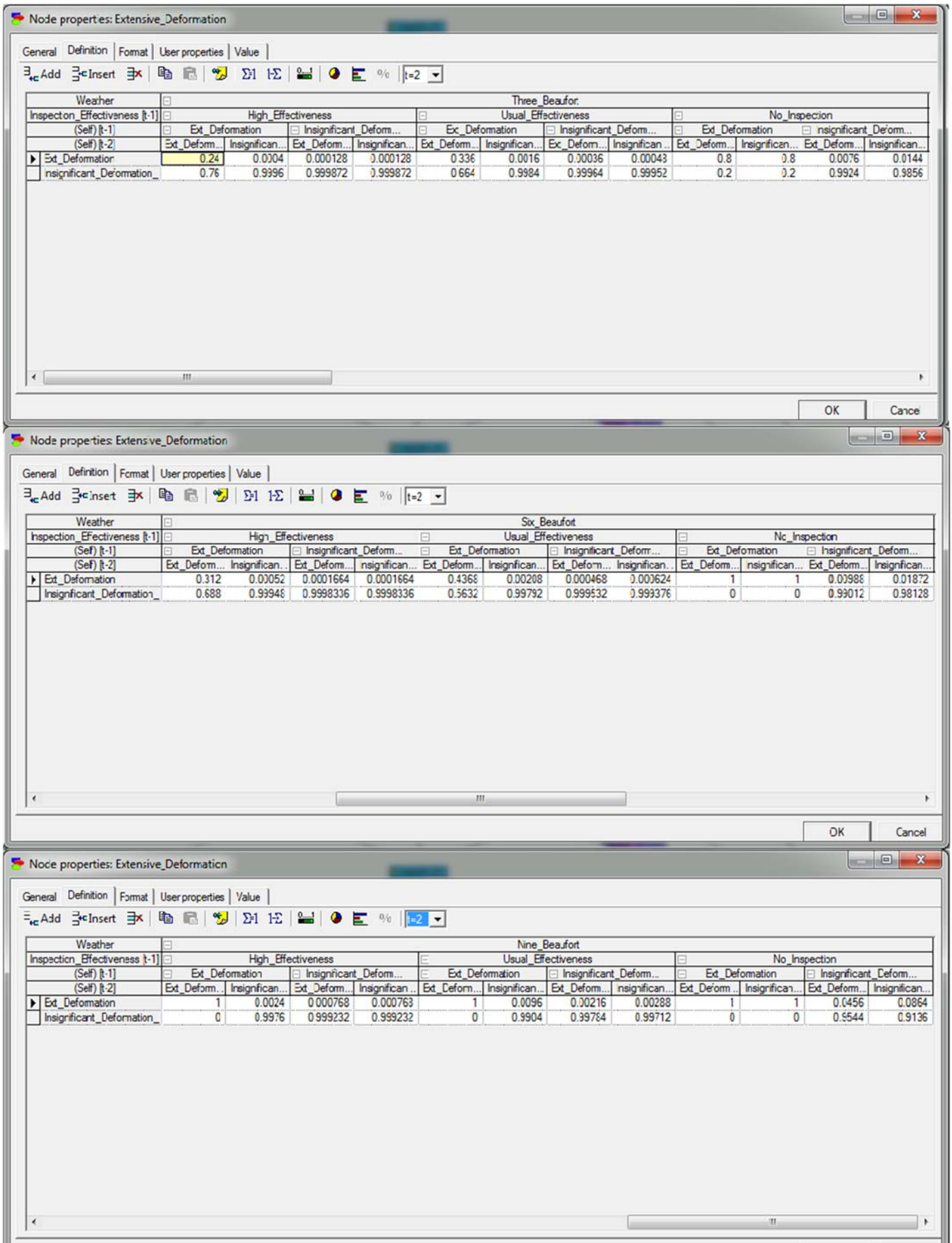
Εικόνα Β.2: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Fatigue» για τις δυο πρώτες χρονικές αλληλεπιδράσεις.



Εικόνα Β.3.: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Fatigue» για την Τρίτη χρονική αλληλεπίδραση.



Εικόνα Β.4: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Extensive_Ddeformation» για τις δυο πρώτες χρονικές αλληλεπιδράσεις.



Εικόνα Β.5: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Extensive_Deformation» για τις δυο πρώτες χρονικές αλληλεπιδράσεις.

B2

Κύρια κατασκευαστικά στοιχεία της πρόρας της μεταλλικής κατασκευής

Extensive_Defoma...	Ext_Deformation				Insignificant_Deformation_...			
	Heavy_Fatigue		Low_Fatigue		Heavy_Fatigue		Low_Fatigue	
Corrosion	Heavy_Corr	Low_Corr	Heavy_Corr	Low_Corr	Heavy_Corr	Low_Corr	Heavy_Corr	Low_Corr
High_Deg_Floors	0.8	0.65	0.53	0.42	0.16	0.13	0.012	0.008
Low_Deg_Floors	0.2	0.35	0.47	0.58	0.84	0.87	0.988	0.992

Εικόνα Α.6: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Floors».

Stringers	High_Deg_Str				Low_Deg_Str			
	Heavy_Fatigue		Low_Fatigue		Heavy_Fatigue		Low_Fatigue	
Corrosion	Heavy_Corr	Low_Corr	Heavy_Corr	Low_Corr	Heavy_Corr	Low_Corr	Heavy_Corr	Low_Corr
High_Deg_WF	0.9	0.69	0.45	0.36	0.085	0.062	0.007	0.005
Low_Deg_WF	0.1	0.31	0.55	0.64	0.915	0.938	0.993	0.995

Εικόνα Β.8: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Web_Frames».

Extensive_Defo...	Ext_Deformation				Insignificant_Defomation_			
	Fatigue	Heavy_Fatigue	Low_Fatigue		Heavy_Fatigue	Low_Fatigue		
Corosion	Heavy_Corr	Low_Corr	Heavy_Corr	Low_Corr	Heavy_Corr	Low_Corr	Heavy_Corr	Low_Corr
High_Deg_Str	1	0.81	0.6	0.49	0.015	0.009	0.007	0.005
Low_Deg_Str	0	0.19	0.4	0.51	0.985	0.991	0.993	0.995

Εικόνα Α.9: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Stringers».

B3

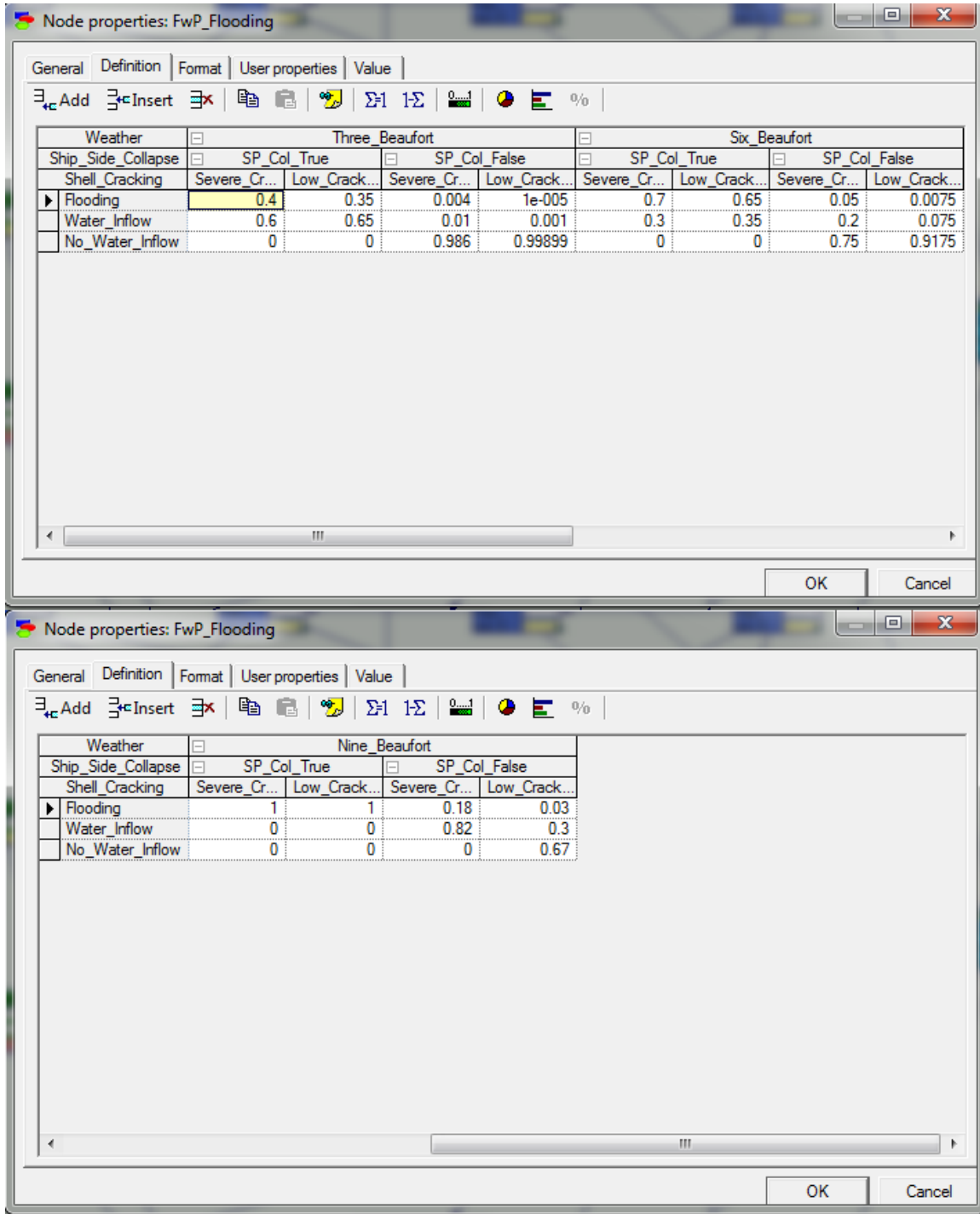
Αρχή και διάδοση βλάβης

Long_Stiffeners	High_Deg_...	Low_Deg_...
SP_Col_True	0.9	0.001
SP_Col_False	0.1	0.999

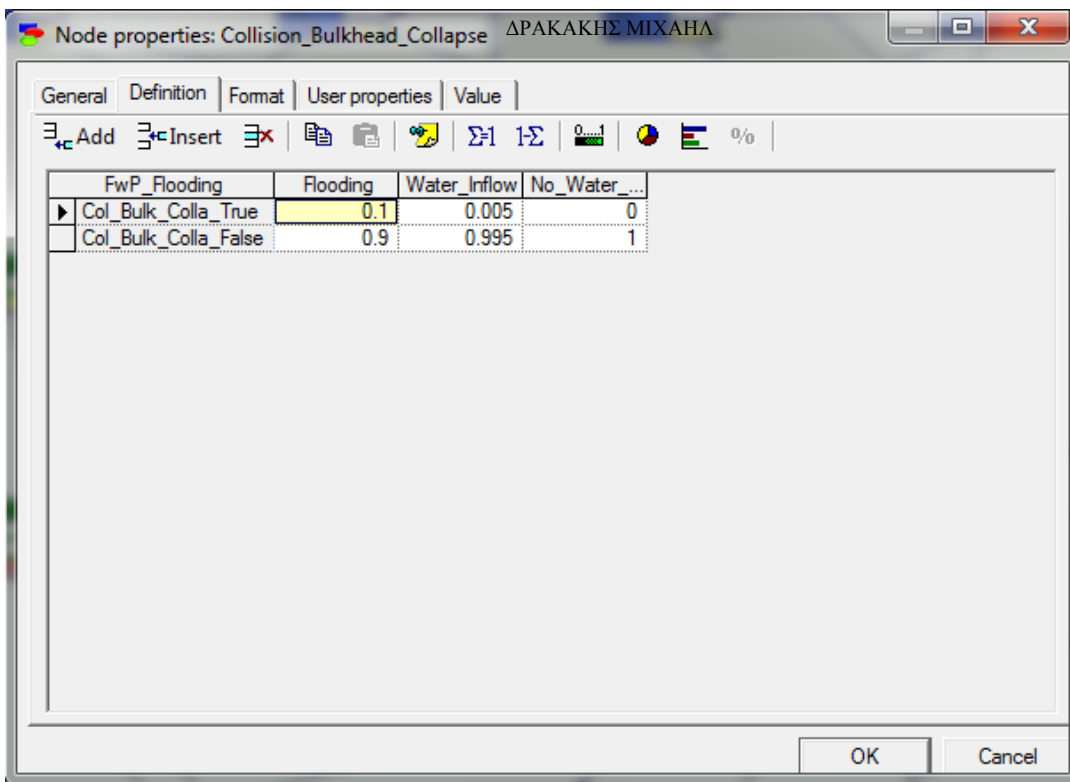
Εικόνα Β.10: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «ship_Side_Collapse».

Fatigue		Heavy_Fatigue				Low_Fatigue			
Stringers	High_Deg_Str	Low_Deg_Str	High_Deg_Str	Low_Deg_Str	High_Deg_Str	Low_Deg_Str	High_Deg_Str	Low_Deg_Str	
Floors	High_Deg_...	Low_Deg_...	High_Deg_...	Low_Deg_...	High_Deg_...	Low_Deg_...	High_Deg_...	Low_Deg_...	
▶ Severe_Cracking	1	0.45	0.16	0.01	0.7	0.25	0.013	0.001	
Low_Cracking	0	0.55	0.84	0.99	0.3	0.75	0.987	0.999	

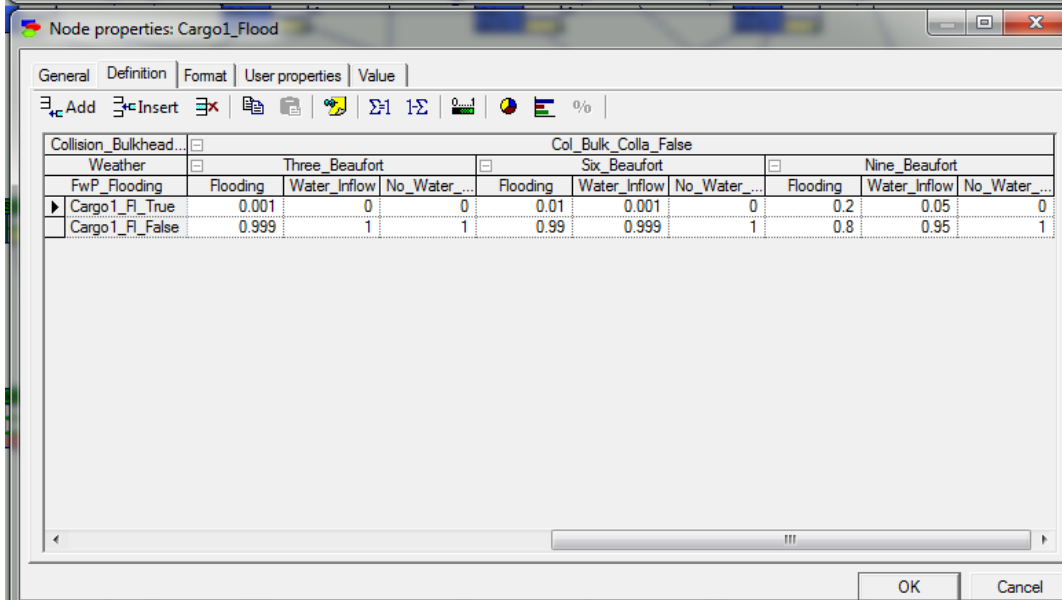
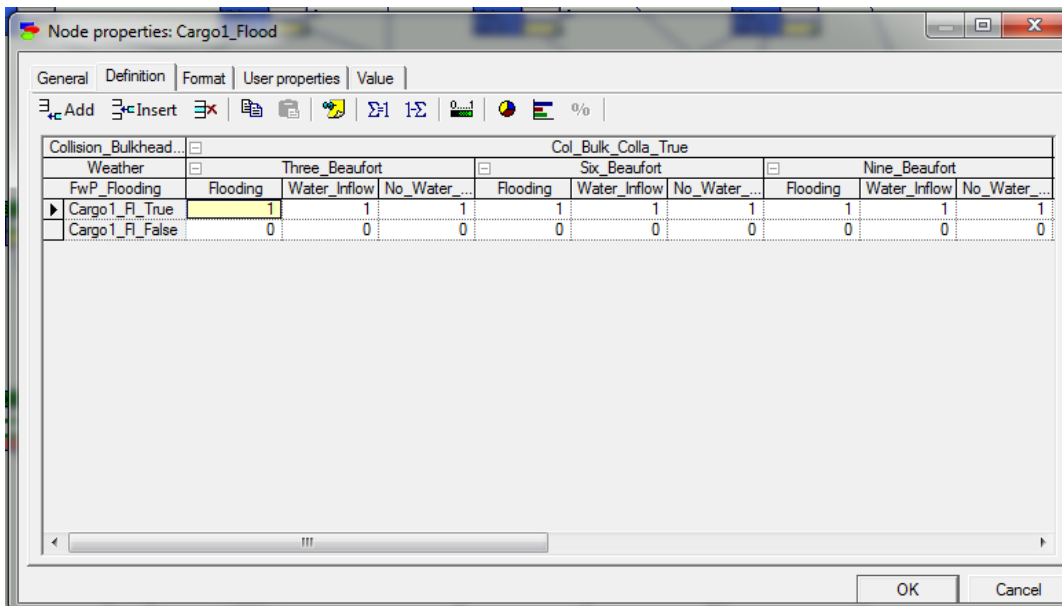
Εικόνα Β.11: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «shell_Cracking».



Εικόνα Β.12: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «FwP_Flooding».



Εικόνα Β.13: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Collision_Bulkhead_Collapse».



Εικόνα Β.14: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Cargo1_Flood».

Node properties: HULL_DAMAGE_STATE_STRUCTURE

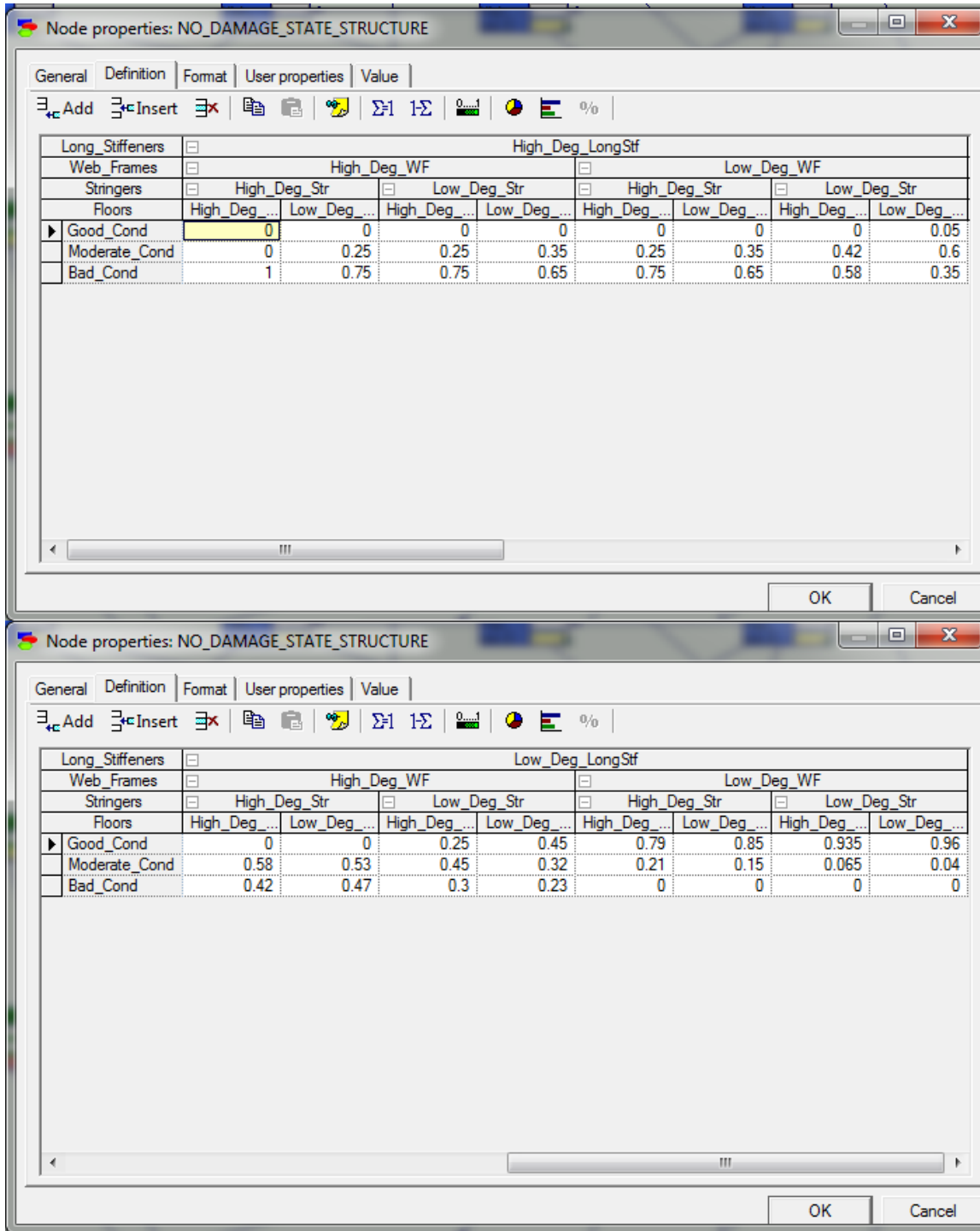
General Definition Format User properties Value

Add Insert

Cargo1_Flood	Cargo1_F_True						Cargo1_F_False					
	SP_Col_True			SP_Col_False			SP_Col_True			SP_Col_False		
Ship_Side_Collapse	Flooding	Water_Inflow	No_Water...	Flooding	Water_Inflow	No_Water...	Flooding	Water_Inflow	No_Water...	Flooding	Water_Inflow	No_Water...
FwP_Flooding	0.75	0.75	0.75	0.75	0.48	0.3	0.05	0.05	0.05	0	0	0
Total_Loss	0.25	0.25	0.25	0.25	0.52	0.7	0.95	0.95	0.95	1	0.25	0
Serious_Damage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	1
Minor_Damage												

OK Cancel

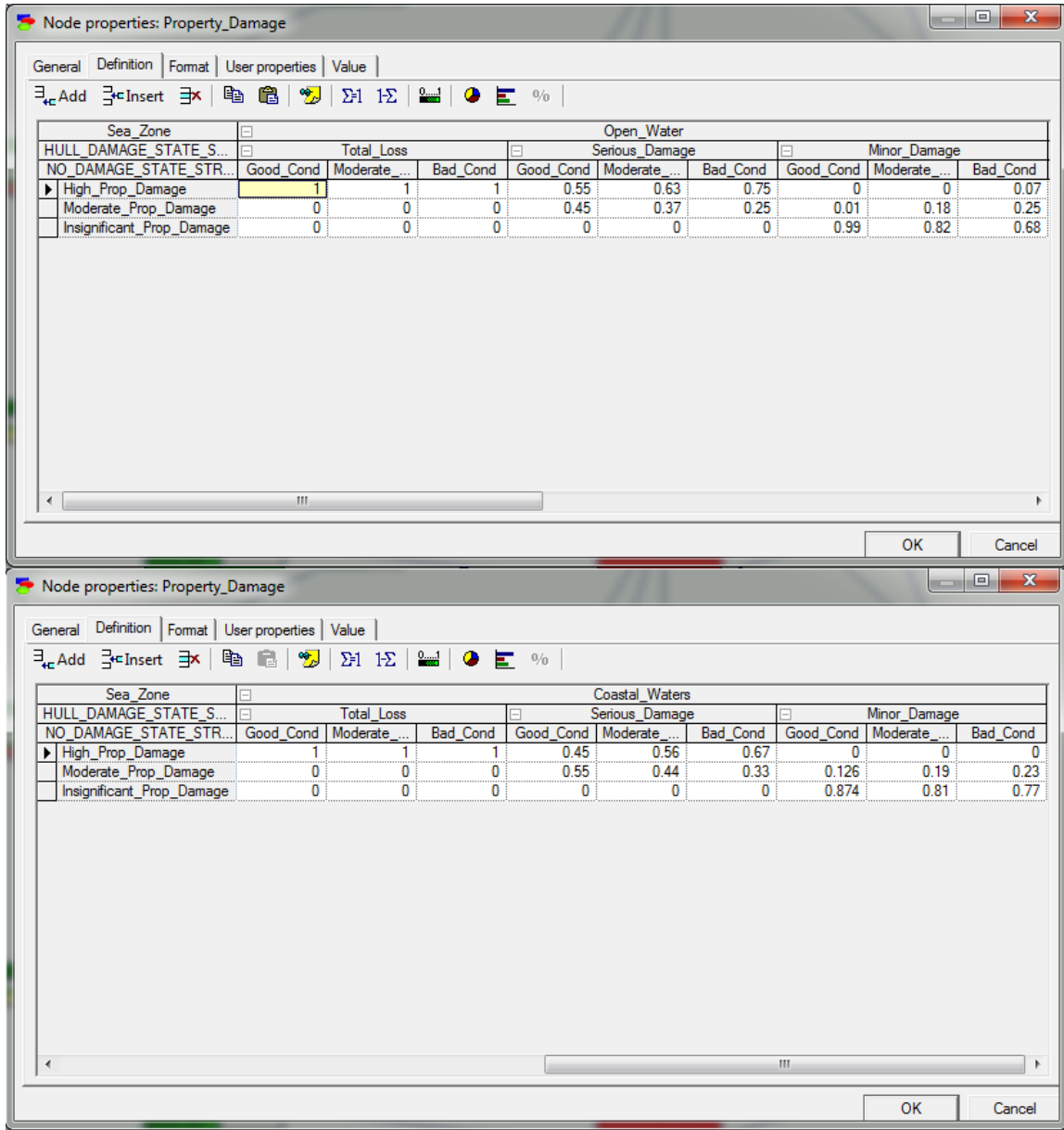
Εικόνα Β.15: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «HULL_DAMAGE_STATE_STRUCTURE».



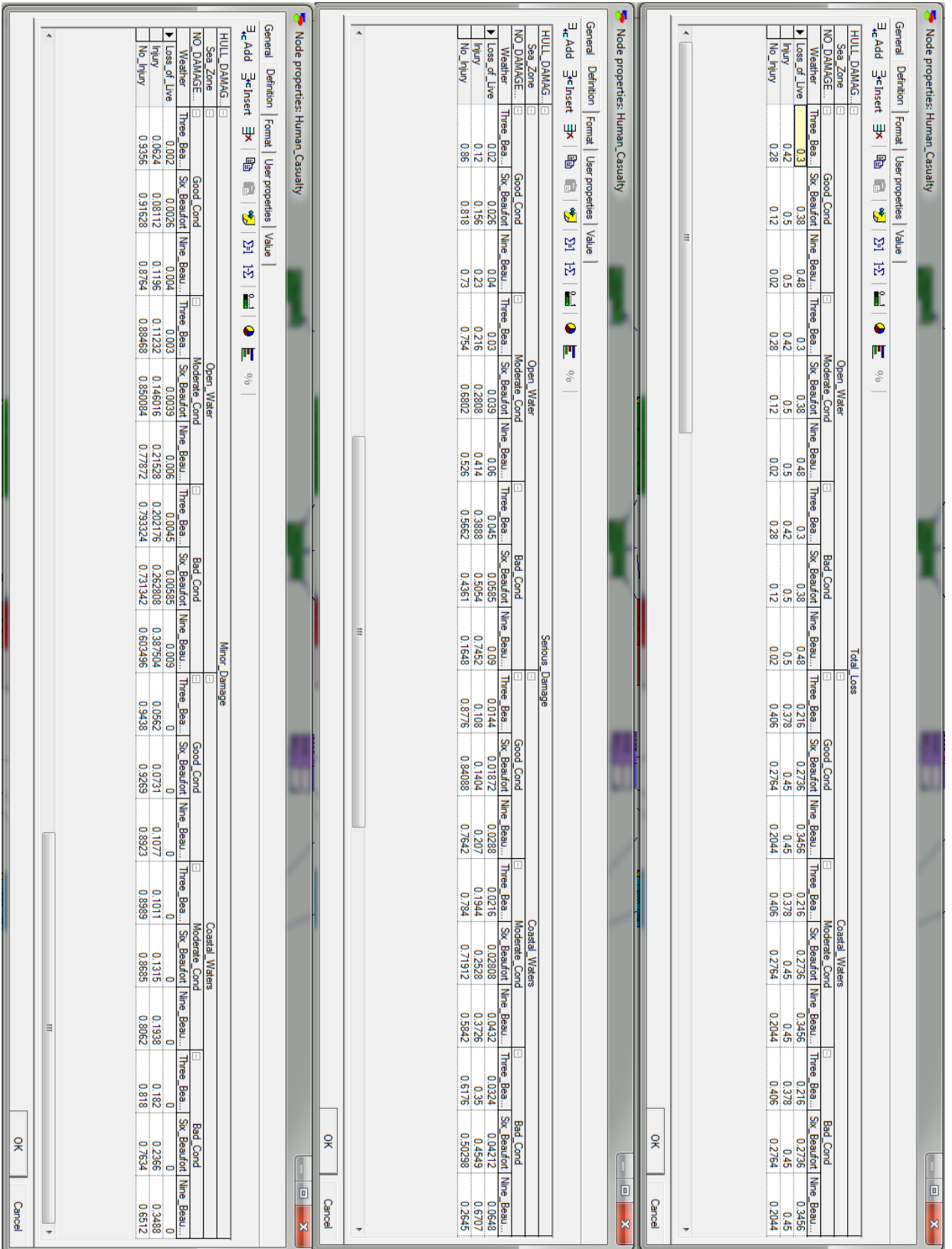
Εικόνα Β.16: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «NO_DAMAGE_STATE_STRUCTURE».

B4

Συνέπειες



Εικόνα Β.17: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Property_Damage».



Εικόνα Β.18: Οι δεκαεπιώνες πιθανότητες του κόμβου «Human_Casualty».

Node properties: Environmental_Impact

General Definition Format User properties Value

Sea Zone

HULL_DAMAGE_STATE...	Total Loss						Open Water					
	Moderate Cond		Serious Damage		Bad Cond		Moderate Cond		Serious Damage		Bad Cond	
Weather	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..
High_Env_Impact	0.75	0.89	1	0.75	0.89	1	0	0	0	0.058	0.1287	0.525
Moderate_Env_Impact	0.25	0.11	0	0.25	0.11	0	0	0.000145	0.00143	0.0625	0.342	0.475
Insignificant_Env_Impact	0	0	0	0	0	0	0	0.999855	0.99857	0.9375	0.942	0.9275

OK Cancel

Node properties: Environmental_Impact

General Definition Format User properties Value

Sea Zone

HULL_DAMAGE_STATE...	Total Loss						Tanker					
	Moderate Cond		Serious Damage		Bad Cond		Moderate Cond		Serious Damage		Bad Cond	
Weather	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..
High_Env_Impact	0	0.0001716	0.01525	0.00377	0.01573	0.01625	0	0.00435	0.020592	0.0225	0.975	1
Moderate_Env_Impact	0.9998926	0.998294	0.98475	0.98523	0.98427	0.98375	0	0.99565	0.979408	0.9775	0	0
Insignificant_Env_Impact	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

OK Cancel

Node properties: Environmental_Impact

General Definition Format User properties Value

Sea Zone

HULL_DAMAGE_STATE...	Total Loss						Coastal Waters					
	Moderate Cond		Serious Damage		Bad Cond		Moderate Cond		Serious Damage		Bad Cond	
Weather	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..	Three_Bea..	Six_Beaufort	Nine_Bea..
High_Env_Impact	0	0.00203	0.00202	0.0075	0.0812	0.18018	0	0.75	0.25	0.1015	0.24024	0
Moderate_Env_Impact	0.999797	0.997998	0.9125	0.9188	0.9192	0.9188	0.265	0.8985	0.79976	0.05	2.436e-005	0.00024024
Insignificant_Env_Impact	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9997564	0.99975976	0.97865

OK Cancel

Εικόνα Β.19: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Environmental_Impact» 01.

Node properties: Environmental_Impact

General Definition Format User properties Value

Sea Zone

Cargo Type	Total Loss											
	Sea Zone			Open Water			Senous Damage			Bad Cond		
HULL DAMAGE STATE...	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond
NO_DAMAGE_STATE_ST...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...
Weather	0.19	0.23	0.28	0.21	0.24	0.29	0.25	0.31	0.4	0.47	0.54	0.62
High_Env_Impact	0.81	0.77	0.72	0.79	0.76	0.71	0.75	0.69	0.6	0.55	0.5	0.45
Moderate_Env_Impact	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.99995	0.9895	0.975
Insignificant_Env_Impact	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.99995	0.9895	0.975

OK Cancel

Node properties: Environmental_Impact

General Definition Format User properties Value

Sea Zone

Cargo Type	Total Loss											
	Sea Zone			Minor Damage			Moderate Cond			Bad Cond		
HULL DAMAGE STATE...	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond
NO_DAMAGE_STATE_ST...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...
Weather	0	0	0	0.0013	0.0055	0.0115	0.0017	0.009	0.019	0.247	0.299	0.364
High_Env_Impact	66-006	66-005	0.0061	0.0013	0.0055	0.0115	0.0017	0.009	0.019	0.247	0.299	0.364
Moderate_Env_Impact	0.999994	0.99994	0.99939	0.9987	0.9945	0.9935	0.9985	0.9928	0.991	0	0	0
Insignificant_Env_Impact	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Other Types of Cargo Ships

OK Cancel

Node properties: Environmental_Impact

General Definition Format User properties Value

Sea Zone

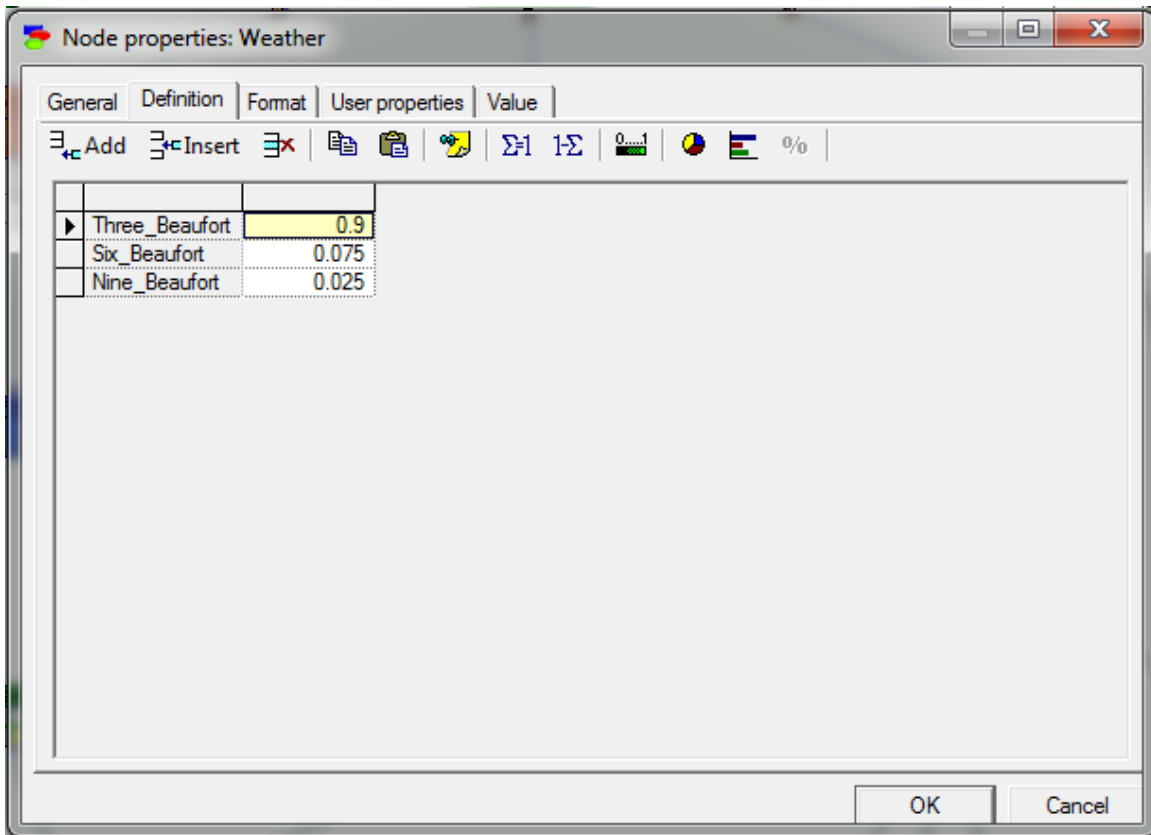
Cargo Type	Total Loss											
	Sea Zone			Coastal Waters			Minor Damage			Bad Cond		
HULL DAMAGE STATE...	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond	Good Cond	Moderate Cond	Bad Cond
NO_DAMAGE_STATE_ST...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...	Three_Bea...	Six_Beauford	Nine_Beau...
Weather	76-005	0.0007	0.035	0.028	0.063	0.294	0.035	0.084	0.405	8.4-005	8.4-005	0.00654
High_Env_Impact	0	0	0.028	0.063	0.294	0.035	0.084	0.405	0.999916	8.4-005	8.4-005	0.00654
Moderate_Env_Impact	0.99993	0.9993	0.972	0.937	0.706	0.594	0.999916	0.99146	0.9918	0.99122	0.00177	0.0091
Insignificant_Env_Impact	0	0	0	0	0	0	0.999916	0.99146	0.9918	0.99122	0.00177	0.0091

OK Cancel

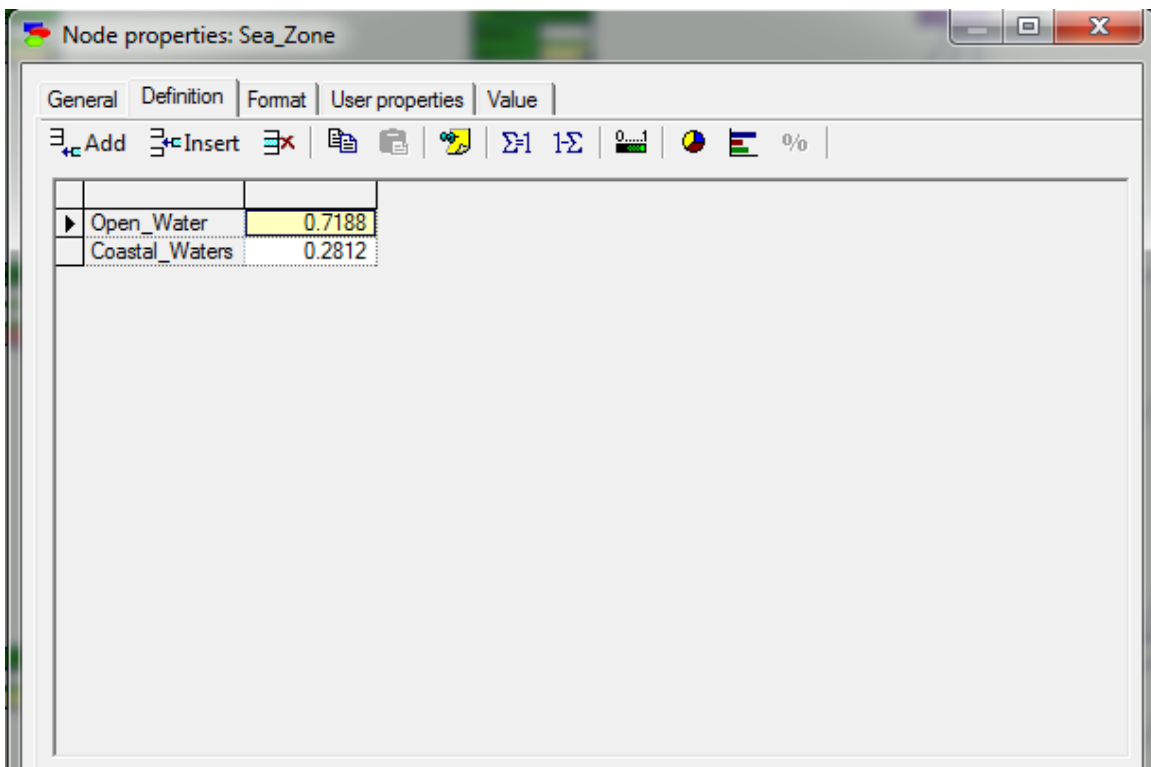
Εικόνα Β.20: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Environmental_Impact» 02.

B5

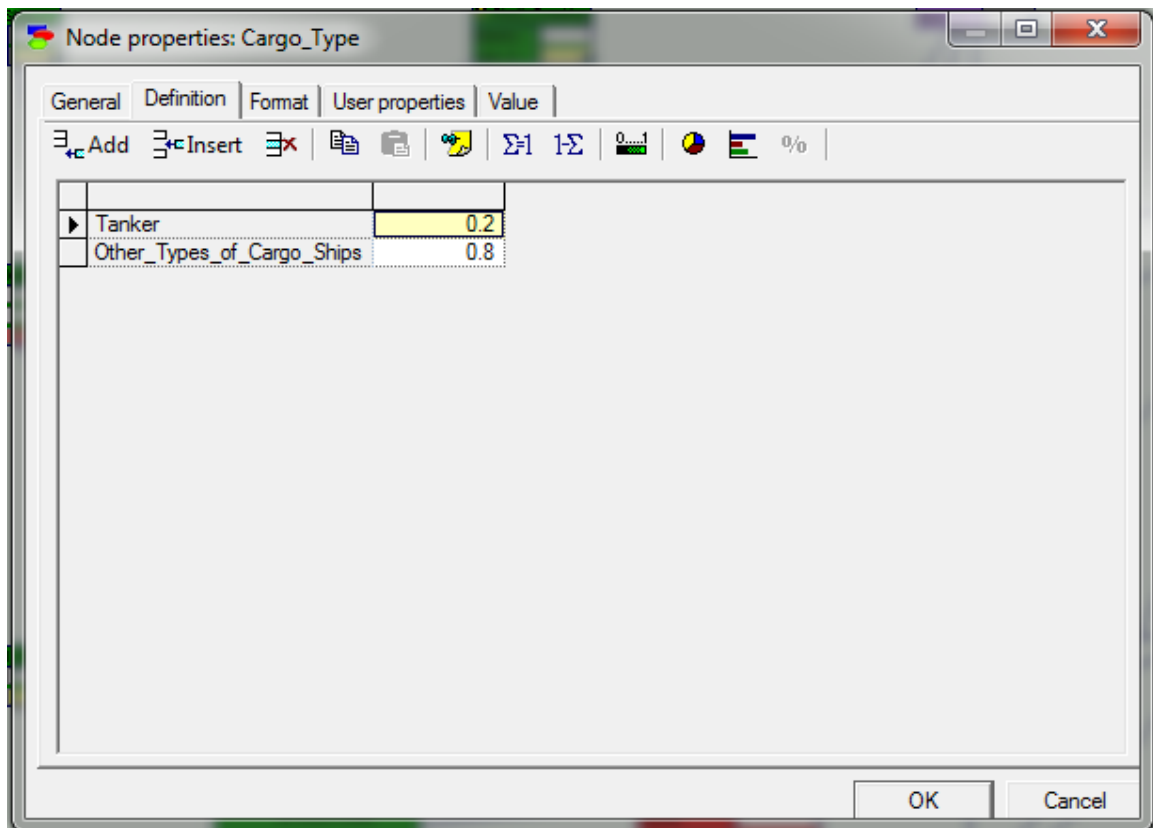
Επιπλέον παράγοντες ρίσκου



Εικόνα B.21: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Weather».



Εικόνα B.21: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Sea_Zone».



Εικόνα Β.22: Οι δεσμευμένες πιθανότητες του κόμβου «Cargo_Type».

Για τον κόμβο «Inpection_Plan» δεν μας ενδιαφέρει η κατανομή της πιθανότητας μεταξύ των καταστάσεων του κόμβου γιατί σε κάθε χρόνο είναι ορισμένη η πληροφορία για τον συγκεκριμένο κόμβο.

