

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ ΜΕΣΩ
ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΥΠΟΥ DARP WITH TIME
WINDOWS**

υπό

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΜΠΕΡΤΟΥ

Διπλωματούχου Μηχανικού Αεροσκαφών Σ.Μ.Α., 2008

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

2011

© 2011 Νικόλαος Μπέρτος

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Αθανάσιος Ζηλιασκόπουλος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Δημήτριος Παντελής
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Αθανάσιο Ζηλιασκόπουλο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Ξεχωριστές ευχαριστίες απονέμω στον μεταδιδακτορικό φοιτητή Δρ. κ. Αθανάσιο Λόη για την κομβική συμβολή του όσον αφορά την επεξεργασία και εκτέλεση των αλγορίθμων καθώς και τις χρήσιμες συμβουλές του κατά τη διεξαγωγή της μελέτης. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο, Δημήτριο Παντελή, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Οφείλω ευχαριστίες στον φίλο και συνάδελφο Βαρβασούδη Αντώνιο για την βοήθειά του κατά την υλοποίηση των μετρήσεων πάνω στο αεροσκάφος. Επίσης, ευχαριστώ την Μυστακίδου Θεοδώρα για την κατανόησή της, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των

τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Βασίλειο και Παναγιώτα Μπέρτου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτήν την μεταπτυχιακή εργασία στην μητέρα μου και στον πατέρα μου.

Νίκος Μπέρτος

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ ΜΕΣΩ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΥΠΟΥ DARP WITH TIME WINDOWS

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΠΕΡΤΟΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2011

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Αθανάσιος Ζηλιασκόπουλος, Καθηγητής
Βελτιστοποίησης Συστημάτων Παραγωγής/Μεταφορών

Περίληψη

Σε αυτή τη μεταπτυχιακή εργασία εφαρμόζεται ένας ευρετικός (heuristic) και ένας απόλυτος (exact) αλγόριθμος δρομολόγησης πάνω σε μαχητικό αεροσκάφος τύπου F-XX με σκοπό την εύρεση βέλτιστης λύσης κατά την επιθεώρηση αυτού από το τεχνικό προσωπικό.

Αρχικά, αναλύουμε τις διαδικασίες της Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρησης (Μ.Π.Ε) και της Επαναδιάθεσης (Q.T) του αεροσκάφους σύμφωνα με τα τεχνικά εγχειρίδια.

Στη συνέχεια, μοντελοποιούμε το πρόβλημα της Μ.Π.Ε και του Q.T, κατατάσσοντας όλους τους κόμβους επιθεώρησης σε μια εμπειρικά βέλτιστη ακολουθία σχηματίζοντας το αρχικό δίκτυο $G=(N,A)$ το οποίο θα κληθούν να επεξεργαστούν οι κώδικες με σκοπό την εύρεση βέλτιστης λύσης, δηλαδή εκείνης της επιθεώρησης όπου το κόστος ή χρόνος ελαχιστοποιείται.

Τέλος, εφαρμόζουμε τους αλγορίθμους αρχικά στα προαναφερθέντα δίκτυα χρησιμοποιώντας διαφορετικό αριθμό οχημάτων κάθε φορά και στη συνέχεια στα δίκτυα που προέκυψαν από την ομαδοποίηση όλων των κόμβων επιθεώρησης σε μεγαλύτερες περιοχές με σκοπό την εύρεση ακόμα πιο βέλτιστης λύσης.

Η εργασία ολοκληρώνεται με τον σχολιασμό και τη σύγκριση όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων τα οποία δείχνουν τελικά την επίτευξη μιας γρηγορότερης

επιθεώρησης, μαθηματικά υποστηριζόμενης, κατά την οποία τηρούνται όλοι οι περιορισμοί και τα μέτρα ασφαλείας που αναγράφονται στα τεχνικά εγχειρίδια.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	19
1.1	Κίνητρο και Υπόβαθρο.....	19
1.2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	20
1.3	Οργάνωση Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	28
Κεφάλαιο 2	Επιθεώρηση Αεροσκάφους.....	31
2.1	Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρηση - Thruflight Inspection.....	31
2.1.1	Παραδοχές.....	31
2.1.2	Επιθεώρηση.....	39
2.1.3	Συμπεράσματα.....	71
2.2	Επαναδιάθεση – Quick Turnaround.....	73
2.2.1	Παραδοχές.....	73
2.2.2	Επιθεώρηση.....	75
2.2.3	Συμπεράσματα.....	85
Κεφάλαιο 3	Θεωρία VRP (Vehicle Routing Problems).....	87
3.1	Μαθηματική Διατύπωση.....	88
3.2	VRPPD μοναδικού οχήματος.....	90
3.2.1	PDTSP (Pickup and Delivery Traveling Salesman Problem).....	91
3.2.2	SPDP (Single Pickup and Delivery Problem).....	91
3.2.3	SDARP (Single Dial and Ride Problem).....	92
3.3	Παράθυρα Χρόνου.....	92
3.4	VRPPD πολλών οχημάτων.....	93
3.4.1	PDVRP (Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem).....	94
3.4.2	PDP (Pickup and Delivery Problem).....	95
3.4.3	DARP (Dial-A-Ride Problem).....	95

3.5	Επιπρόσθετοι Περιορισμοί	96
3.6	Εξεταζόμενοι Αλγόριθμοι	96
3.6.1	InsertionH Algorithm	96
3.6.2	Regret Algorithm	98
3.6.3	Exact Algorithm.....	100
Κεφάλαιο 4 Μοντελοποίηση Προβλήματος		103
4.1	Μοντελοποίηση Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρησης	103
4.1.1	Επιθεώρηση	103
4.1.2	Συμπεράσματα	123
4.2	Μοντελοποίηση Επαναδιάθεσης	125
4.2.1	Επιθεώρηση	125
4.2.2	Συμπεράσματα	128
Κεφάλαιο 5 Εφαρμογή αλγορίθμου DARP		129
5.1	DARP στη μοντελοποιημένη Μ.Π.Ε	129
5.1.1	Χρήση ενός οχήματος-τεχνικού	130
5.1.1.1	Εύρεση λύσης για δίκτυο 94 κόμβων.....	130
5.1.1.2	Εύρεση λύσης για δίκτυο 20 περιοχών-κόμβων.....	152
5.1.1.3	Εύρεση λύσης για κάθε μία περιοχή	156
5.1.1.3.1	Βέλτιστη διαδρομή 1ης περιοχής.....	156
5.1.1.3.2	Βέλτιστη διαδρομή 2ης περιοχής.....	158
5.1.1.3.3	Βέλτιστη διαδρομή 3ης περιοχής.....	161
5.1.1.3.4	Βέλτιστη διαδρομή 4 ^{ης} περιοχής.....	163
5.1.1.3.5	Βέλτιστη διαδρομή 5 ^{ης} περιοχής.....	164
5.1.1.3.6	Βέλτιστη διαδρομή 6 ^{ης} περιοχής.....	167

5.1.1.3.7	Βέλτιστη διαδρομή 7 ^{ης} περιοχής.....	168
5.1.1.3.8	Βέλτιστη διαδρομή 8 ^{ης} περιοχής.....	170
5.1.1.3.9	Βέλτιστη διαδρομή 9 ^{ης} περιοχής.....	171
5.1.1.3.10	Βέλτιστη διαδρομή 10 ^{ης} διαδρομής	173
5.1.1.3.11	Βέλτιστη διαδρομή 11 ^{ης} περιοχής.....	175
5.1.1.3.12	Βέλτιστη διαδρομή 12 ^{ης} περιοχής.....	177
5.1.1.3.13	Βέλτιστη διαδρομή 13 ^{ης} περιοχής.....	179
5.1.1.3.14	Βέλτιστη διαδρομή 14 ^{ης} περιοχής.....	181
5.1.1.3.15	Βέλτιστη διαδρομή 15 ^{ης} περιοχής.....	183
5.1.1.3.16	Βέλτιστη διαδρομή 16 ^{ης} περιοχής.....	186
5.1.1.3.17	Βέλτιστη διαδρομή 17 ^{ης} περιοχής.....	187
5.1.1.3.18	Βέλτιστη διαδρομή 18 ^{ης} περιοχής.....	190
5.1.1.3.19	Βέλτιστη διαδρομή 19 ^{ης} περιοχής.....	191
5.1.2	Χρήση δύο οχημάτων-τεχνικών	194
5.1.2.1	Εύρεση λύσης για δίκτυο 94 κόμβων με 2 τεχνικούς	194
5.1.2.2	Εύρεση λύσης για δίκτυο 20 κόμβων-περιοχών με 2 τεχνικούς ..	200
5.1.3	Χρήση τριών οχημάτων-τεχνικών	203
5.1.3.1	Εύρεση λύσης για δίκτυο 94 κόμβων με 3 τεχνικούς	203
5.1.3.2	Εύρεση λύσης για δίκτυο 20 κόμβων-περιοχών με 3 τεχνικούς ..	209
5.1.4	Σύγκριση αποτελεσμάτων	212
5.2	DARP στη μοντελοποιημένη Επαναδιάθεση (Quick Turnaround)	215
5.2.1	Χρήση ενός οχήματος-τεχνικού	215
5.2.2	Χρήση δύο οχημάτων-τεχνικών	217

5.2.3 Συμπεράσματα Επαναδιάθεσης (Quick Turnaround).....	219
Κεφάλαιο 6 Σύνοψη Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	221
Βιβλιογραφία	225

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4-1: Ονομασία περιοχών και πλήθος κόμβων από τους οποίους αποτελούνται	105
Πίνακας 4-2: 1 ^η περιοχή κόμβων	107
Πίνακας 4-3: 2 ^η περιοχή κόμβων	108
Πίνακας 4-4: 3 ^η περιοχή κόμβων	109
Πίνακας 4-5: 4 ^η περιοχή κόμβων	110
Πίνακας 4-6: 5 ^η περιοχή κόμβων	111
Πίνακας 4-7: 6 ^η περιοχή κόμβων	112
Πίνακας 4-8: 7 ^η περιοχή κόμβων	113
Πίνακας 4-9: 8 ^η περιοχή κόμβων	114
Πίνακας 4-10: 9 ^η περιοχή κόμβων	115
Πίνακας 4-11: 10 ^η περιοχή κόμβων	116
Πίνακας 4-12: 11 ^η περιοχή κόμβων	116
Πίνακας 4-13: 12 ^η περιοχή κόμβων	117
Πίνακας 4-14: 13 ^η περιοχή κόμβων	118
Πίνακας 4-15: 14 ^η περιοχή κόμβων	118
Πίνακας 4-16: 15 ^η περιοχή κόμβων	119
Πίνακας 4-17: 16 ^η περιοχή κόμβων	120
Πίνακας 4-18: 17 ^η περιοχή κόμβων	121

Πίνακας 4-19: 18 ^η περιοχή κόμβων	121
Πίνακας 4-20: 19 ^η περιοχή κόμβων	122
Πίνακας 4-21: Κόμβοι επιθεώρησης κατά την επαναδιάθεση αεροσκάφους.....	127
Πίνακας 5-1: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης κατά την Μ.Π.Ε.....	151
Πίνακας 5-2: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης κατά την ομαδοποιημένη Μ.Π.Ε....	156
Πίνακας 5-3: Βέλτιστη διαδρομή 1 ^{ης} περιοχής.....	158
Πίνακας 5-4: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 2 ^{ης} περιοχής.....	160
Πίνακας 5-5: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 3 ^{ης} περιοχής.....	163
Πίνακας 5-6: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 4 ^{ης} περιοχής.....	164
Πίνακας 5-7: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 5 ^{ης} περιοχής.....	167
Πίνακας 5-8: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 6 ^{ης} περιοχής.....	168
Πίνακας 5-9: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 7 ^{ης} περιοχής.....	170
Πίνακας 5-10: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 8 ^{ης} περιοχής.....	171
Πίνακας 5-11: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 9 ^{ης} περιοχής.....	173
Πίνακας 5-12: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 10 ^{ης} περιοχής.....	175
Πίνακας 5-13: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 11 ^{ης} περιοχής.....	176
Πίνακας 5-14: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 12 ^{ης} περιοχής.....	179
Πίνακας 5-15: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 13 ^{ης} περιοχής.....	181
Πίνακας 5-16: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 14 ^{ης} περιοχής.....	183
Πίνακας 5-17: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 15 ^{ης} περιοχής.....	186
Πίνακας 5-18: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 16 ^{ης} περιοχής.....	187
Πίνακας 5-19: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 17 ^{ης} περιοχής.....	189

Πίνακας 5-20: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 18 ^{ης} περιοχής.....	191
Πίνακας 5-21: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 19 ^{ης} περιοχής.....	193

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2-1: Παραπάνω παρουσιάζεται η εξεταζόμενη διαμόρφωση του αεροσκάφους.	31
Σχήμα 2-2: Η συσκευή Halon βρίσκεται στο αριστερό σκέλος προσγείωσης του αεροσκάφους και χρησιμοποιείται κατά τη πολεμική περίοδο σε περίπτωση εμπλοκής του σε αερομαχία.	32
Σχήμα 2-3: Εδώ φαίνεται η θέση στο αεροσκάφος των πείρων ασφαλείας του ρηναίου συστήματος προσγείωσης και του μηχανισμού επείγουσας ανάσχεσης, καθώς επίσης διακρίνονται η γείωση και οι τροχοεμποδιστήρες.	33
Σχήμα 2-4: Διαδικασία πλήρωσης του ειδικού μετατροπέα με υγρό οξυγόνο.....	34
Σχήμα 2-5: Εξυπηρέτηση του Α', Β' υδραυλικού συστήματος του αεροσκάφους με άζωτο.....	34
Σχήμα 2-6: Παραπάνω φαίνεται η συσκευή παροχής υδραυλικού μέσου στο αεροσκάφος.....	35
Σχήμα 2-7: Πλήρωση ελαίου της αντίστοιχης δεξαμενής του αεροσκάφους.....	35
Σχήμα 2-8: Το παραπάνω σχήμα μας παρουσιάζει την θέση των πείρων ασφαλείας της θέσης χειριστού και της καλύπτρας.....	36
Σχήμα 2-9: Εδώ φαίνεται αναλυτικά η θέση κάθε διακόπτη μέσα στη θέση χειριστού με σκοπό να γίνει κατανοητός ο λόγος της μεγάλης διάρκειας παραμονής του τεχνικού μέσα στο cockpit.	37
Σχήμα 2-10: 1 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	39

Σχήμα 2-11: 2 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	40
Σχήμα 2-12: 3 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	41
Σχήμα 2-13: 4 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	42
Σχήμα 2-14: 5 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	43
Σχήμα 2-15: 6 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	44
Σχήμα 2-16: 7 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	45
Σχήμα 2-17: 8 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	46
Σχήμα 2-18: 9 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	47
Σχήμα 2-19: 10 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	48
Σχήμα 2-20: 11 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	49
Σχήμα 2-21: 12 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	50
Σχήμα 2-22: 13 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	51
Σχήμα 2-23: 14 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	52
Σχήμα 2-24: 15 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	53
Σχήμα 2-25: 16 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	54
Σχήμα 2-26: 17 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	55
Σχήμα 2-27: 18 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	56
Σχήμα 2-28: 19 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	57
Σχήμα 2-29: 20 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	58
Σχήμα 2-30: 21 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	59
Σχήμα 2-31: 22 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	59
Σχήμα 2-32: 23 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	60

Σχήμα 2-33: 24 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	61
Σχήμα 2-34: 25 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	62
Σχήμα 2-35: 26 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	62
Σχήμα 2-36: 27 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	63
Σχήμα 2-37: 28 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	64
Σχήμα 2-38: 29 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	65
Σχήμα 2-39: 30 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	66
Σχήμα 2-40: 31 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	67
Σχήμα 2-41: 32 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	68
Σχήμα 2-42: 33 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	69
Σχήμα 2-43: 34 ^η διαδικασία επιθεώρησης.....	70
Σχήμα 2-44: Όπως φαίνεται πιο πάνω, είναι εμφανές το γεγονός ότι ο τεχνικός καλείται να επισκεφθεί ορισμένες περιοχές του αεροσκάφους πάνω από μια φορά με σκοπό να επιθεωρήσει διαφορετικά σημεία κάθε φορά τα οποία ανήκουν στην ίδια περιοχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθυστερεί ο τεχνικός λόγω των επιπλέον μεταβάσεων σε αυτές τις περιοχές.....	71
Σχήμα 2-45: Εδώ φαίνεται το ίδιο πρόβλημα με το προηγούμενο σχήμα από διαφορετική οπτική γωνία του αεροσκάφους.	72
Σχήμα 2-46: Ομοίως, παρατηρείται από διαφορετική όψη η έλλειψη κλιμάκωσης της επιθεώρησης κάποιων σημείων που ανήκουν σε κοινές περιοχές.	72
Σχήμα 2-47: Εδώ παρουσιάζεται η εξεταζόμενη διαμόρφωση του αεροσκάφους.	73
Σχήμα 2-48: 1 ^η διαδικασία επαναδιάθεσης	75
Σχήμα 2-49: 2 ^η διαδικασία επαναδιάθεσης	76

Σχήμα 2-50: 3 ^η διαδικασία επαναδιάθεσης	77
Σχήμα 2-51: 4 ^η διαδικασία επαναδιάθεσης	78
Σχήμα 2-52: 5 ^η διαδικασία επαναδιάθεσης	79
Σχήμα 2-53: 6 ^η διαδικασία επαναδιάθεσης	80
Σχήμα 2-54: 7 ^η διαδικασία επαναδιάθεσης	81
Σχήμα 2-55: 8 ^η διαδικασία επαναδιάθεσης	82
Σχήμα 2-56: 9 ^η διαδικασία επαναδιάθεσης	83
Σχήμα 2-57: 10 ^η διαδικασία επαναδιάθεσης.....	84
Σχήμα 3-1: Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες Pickup and Delivery προβλημάτων.	88
Σχήμα 4-1: Στο συγκεκριμένο σχήμα φαίνεται ξεκάθαρα η διαδρομή που ακολουθεί ο τεχνικός κατά τη διαδικασία του walkaround.....	104
Σχήμα 4-2: Σε αντίθεση με την Μ.Π.Ε η οποία εφαρμόζεται σύμφωνα με τα τεχνικά εγχειρίδια (σχήμα 2-44), εδώ παρατηρούμε το γεγονός ότι ο έμπειρος τεχνικός επισκέπτεται τις διάφορες περιοχές του αεροσκάφους επιθεωρώντας τα σχετικά σημεία χωρίς να επανέρχεται σε αυτές για 1 ή περισσότερες φορές.....	123
Σχήμα 4-3: Εδώ φαίνεται ξεκάθαρα η ομοιόμορφη κατανομή των επισκέψεων του έμπειρου τεχνικού όπως και στο προηγούμενο σχήμα από διαφορετική όμως οπτική γωνία του αεροσκάφους.	124
Σχήμα 4-4: Ομοίως, παρατηρείται από διαφορετική όψη η κλιμάκωση της επιθεώρησης των σημείων που ανήκουν σε κοινές περιοχές.....	124
Σχήμα 4-5: Εδώ φαίνεται η θέση της θυρίδα ανεφοδιασμού του αεροσκάφους με καύσιμο.	125

Σχήμα 5-1: Οι παραπάνω αριθμοί εκφράζουν τη διαδρομή που ακολουθεί ο τεχνικός κατά τη Μ.Π.Ε, η οποία προέκυψε μετά από την εφαρμογή του αλγορίθμου στο μοντελοποιημένο δίκτυο. Οι κόμβοι οι οποίοι είναι αριθμημένοι με μαύρο χρώμα σημαίνει ότι έχουν αλλάξει σειρά επιθεώρησης κατά τη βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε ενώ αυτοί με το πράσινο έχουν παραμείνει σταθεροί (όπως στην εμπειρική). Το γεγονός της κλιμάκωσης των επιθεωρήσεων ορισμένων κόμβων που ανήκουν σε κοινές περιοχές παρατηρείται και στη βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε, όπως ήταν αναμενόμενο, σε μικρότερο όμως βαθμό απ' ότι στη Μ.Π.Ε ενός έμπειρου τεχνικού (ο οποίος δεν έχει κάνει απόλυτα σωστή διαχείριση του χρόνου και χρειάζεται να περιμένει σε ορισμένους κόμβους που απαιτούν επιθεώρηση μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά όρια). Αυτό συμβαίνει διότι κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου λαμβάνονται υπόψη όλοι οι χρονικοί περιορισμοί επιθεώρησης των κόμβων.137

Σχήμα 5-2: Εδώ φαίνεται η βέλτιστη σειρά επιθεώρησης των κόμβων από άλλη οπτική γωνία του αεροσκάφους. Όπως και στο προηγούμενο σχήμα έτσι και σε αυτό δεν παρατηρείται η απόλυτη κλιμάκωση των σημείων επιθεώρησης λόγω της πιστής τήρησης όλων των χρονικών περιορισμών από τον αλγόριθμο.....138

Σχήμα 5-3: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης από μία διαφορετική όψη.....138

Σχήμα 5-4: Πιο πάνω παρουσιάζεται η αναλυτική διαδρομή που ακολουθούν οι δύο τεχνικοί κατά την Μ.Π.Ε η οποία προέκυψε από την εφαρμογή του ευρετικού αλγορίθμου πάνω στο δίκτυο 94 κόμβων. Με μπλε χρώμα διακρίνουμε τη διαδρομή του 1^{ου} τεχνικού ενώ με μαύρο τη διαδρομή του 2^{ου}. Παρατηρούμε ότι ο 2^{ος} τεχνικός είναι επιφορτισμένος με αρκετά σημεία επιθεώρησης, ωστόσο δεν χρειάζεται να περιμένει σε κανένα κόμβο για ώρα πριν ξεκινήσει την επιθεώρησή του, όπως στη περίπτωση του 1^{ου} ο οποίος περιμένει για 625'' έξω

από τον κόμβο 21 οπότε και ολοκληρώνεται ο χρονικός περιορισμός επίσκεψής του.....	198
Σχήμα 5-5: Ομοίως παρατηρείται η βεβαρημένη επιθεώρηση του 2 ^{ου} τεχνικού σε σχέση με τον 1 ^ο ο οποίος πριν ξεκινήσει την επιθεώρηση του κόμβου 22 περιμένει για 211''.....	199
Σχήμα 5-6: Από διαφορετική οπτική γωνία φαίνονται οι δύο ξεχωριστές διαδρομές που ακολουθούν οι τεχνικοί μας.	199
Σχήμα 5-7: Πιο πάνω παρουσιάζονται οι αναλυτικές διαδρομές που ακολουθούν οι τρεις τεχνικοί κατά την Μ.Π.Ε οι οποίες προέκυψαν από την εφαρμογή του ευρετικού αλγορίθμου πάνω στο δίκτυο 94 κόμβων. Με μπλε χρώμα διακρίνουμε τη διαδρομή του 1 ^{ου} τεχνικού, με πράσινο τη διαδρομή του 2 ^{ου} ενώ με μαύρο φαίνεται η διαδρομή του 3 ^{ου} τεχνικού. Παρατηρούμε ότι ο 1 ^{ος} τεχνικός τυχαίνει να επισκέπτεται μόλις 8 σημεία επιθεώρησης, ενώ ο 2 ^{ος} τεχνικός επισκέπτεται 59 σημεία ενώ περιμένει πριν την επιθεώρηση του κόμβου 59 για 112''. Τέλος, ο 3 ^{ος} τεχνικός αναλαμβάνει την επιθεώρηση των υπολοίπων 26 σημείων περιμένοντας πριν εισέλθει στον κόμβο 26 για 293'', οπότε και ολοκληρώνεται ο χρονικός περιορισμός του κόμβου.....	207
Σχήμα 5-8: Ο 2 ^{ος} τεχνικός ολοκληρώνει την επιθεώρηση που του αναλογεί περιμένοντας πριν εισέλθει στον κόμβο 59 για 112''.	208
Σχήμα 5-9: Από διαφορετική οπτική γωνία φαίνονται οι 3 διαφορετικές διαδρομές που ακολουθούν οι τεχνικοί.	208

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα που δίνουν το κίνητρο και το υπόβαθρο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, παραθέτουμε μια ανασκόπηση της σχετικής με την εργασία βιβλιογραφίας και περιγράφουμε συνοπτικά τις βασικές ενότητες της μεταπτυχιακής εργασίας.

1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο

Εδώ και δύο (2) δεκαετίες εφαρμόζεται στα ελληνικά μαχητικά αεροσκάφη τύπου F-XX Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρηση (Thruflight Inspection) σύμφωνα με την βιβλιογραφία, η οποία είχε παραληφθεί μαζί με την αγορά των πρώτων α/φων από την χώρα μας. Η πιστή τήρηση των όσων αναφέρονται μέσα στη βιβλιογραφία αποτελεί καθοριστικό ρόλο στην ασφάλεια πτήσεων και εδάφους καθώς επίσης και στη διαθεσιμότητα ενός α/φους ως επιχειρησιακό.

Ένα προφανές πρόβλημα που συναντάει οποιοσδήποτε εφαρμόσει όλες τις διαδικασίες μίας Μ.Π.Ε αποτελεί ο χρόνος που θα πρέπει να διαθέσει. Υπάρχουν πολλά σημεία του α/φους τα οποία ο υπόλογος-τεχνικός πρέπει να επιθεωρήσει. Η βιβλιογραφία αναφέρει απλά ποια είναι αυτά τα σημεία, τις διάρκειες επιθεώρησης, τους χρονικούς περιορισμούς επιθεώρησης σε κάποια από αυτά, γεγονός το οποίο δυσκολεύει ακόμη περισσότερο την εκπόνηση της εργασίας και τα μέτρα ασφαλείας κατά τη προσέγγιση και επιθεώρηση αυτών των σημείων στο α/φος. Όπως καταλαβαίνουμε δεν αναφέρεται κάποιο βέλτιστο δρομολόγιο-διαδρομή με την οποία ο υπόλογος θα επισκέπτεται όλα αυτά τα σημεία επιθεώρησης μόνο μια φορά δηλαδή να επιθεωρηθεί το α/φος σωστά και όπως προβλέπεται, τηρώντας όλα τα μέτρα ασφαλείας και διαδικασίες συντήρησης, με το μικρότερο συνολικό κόστος όπου στη

περίπτωσή μας είναι ο χρόνος. Αυτό ακριβώς το πρόβλημα καλείται να λύσει η παρούσα διπλωματική εργασία μέσω της εφαρμογής αλγορίθμων δρομολόγησης.

Η συνεισφορά της εργασίας έγκειται στην ελαχιστοποίηση του χρόνου επιθεώρησης, με χρήση αλγορίθμων DARP, ο οποίος αποτελεί κομβικό παράγοντα όχι μόνο στη Μ.Π.Ε αλλά πολύ περισσότερο στην Επαναδιάθεση (Quick Turnaround) του α/φους. Η τελευταία είναι στην ουσία μία πολύ γρήγορη Μ.Π.Ε η οποία εφαρμόζεται σε πολεμικές περιόδους, σε ασκήσεις καθώς επίσης και σε καταστάσεις επιφυλακής ή αλλιώς Readiness. Όταν επιστρέφει ένα α/φος από μια τέτοιου είδους πτήση, ο υπόλογος εφαρμόζει το Quick Turnaround όσο το δυνατόν γρηγορότερα ώστε να επαναδιαθέσει το α/φος για την επόμενη άμεση απογείωση γνωστή και ως Scramble, η οποία σε περίοδο πολέμου ή κατάσταση επιφυλακής (Readiness) έχει τεράστια συχνότητα. Συνεπώς γίνεται αντιληπτή η σημασία της εργασίας από το γεγονός ότι μέχρι και σήμερα εφαρμόζονται τα Quick Turnaround με μη βέλτιστο τρόπο χάνοντας έτσι πολύτιμο χρόνο.

1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η βιβλιογραφία που είναι σχετική με την βελτιστοποίηση της επιθεώρησης του μαχητικού αεροσκάφους F-XX χωρίζεται σε δύο κατηγορίες.

Στη πρώτη εντάσσονται όλα τα Τεχνικά Εγχειρίδια [13] που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη διαδικασία και τα οποία είχαν παραληφθεί από τη χώρα μας μαζί με την αγορά των πρώτων αεροσκαφών. Σημειώνεται ότι τα συγκεκριμένα εγχειρίδια ανανεώνονται συνεχώς από τη κατασκευάστρια εταιρεία με σκοπό τη διατήρηση του υψηλού δείκτη αποτελεσματικότητας στον τομέα της τεχνικής υποστήριξης. Επίσης πληροφορίες επί του θέματος αντλούμε από ορισμένα βιβλία τα οποία διδάσκονται στα Σχολεία Οπλικών Συστημάτων και Μέσων Επιφανείας της Πολεμικής

Αεροπορίας όπου αναλύονται εις βάθος βασικές αρχές συντήρησης και ποιοτικού ελέγχου πάνω σε μαχητικό αεροσκάφος.

Στη δεύτερη εντάσσεται η βασική θεωρία των προβλημάτων δρομολόγησης η οποία αναλύεται εκτενώς στο 3^ο κεφάλαιο. Τα προβλήματα Dial-a-Ride έχουν λάβει ιδιαίτερη προσοχή στη βιβλιογραφία. Διάφορες εκδόσεις του DARP έχουν μελετηθεί τα τελευταία 30 χρόνια. Το γεγονός ότι κανένα δεν είναι ίδιο με ένα άλλο, βοηθά συγκριτικά στην αξιολόγηση της καταλληλότητάς τους για online εφαρμογές. Δεδομένου ότι ο ορισμός του DARP ποικίλλει από τον ένα συγγραφέα στον άλλον, λαμβάνουμε υπόψη μόνο αυτές τις περιπτώσεις όπου επιβάλλονται περιορισμοί χρονικών παραθύρων.

Οι πρώτες δημοσιεύσεις στο χώρο χρονολογούνται περίπου στα τέλη της δεκαετίας 1960 και αρχές της δεκαετίας 1970 (Wilson και Weissberg, Wilson και Colvin). Αξιολογήσεις πάνω σε μεθόδους επίλυσης είναι δυνατόν να βρει κάποιος στις δουλειές του Cordeau [1] και Laporte [5] (2003b, 2007). Ακολουθούν ορισμένες αναπτύξεις διαφόρων συγγραφέων, μείζονος σημασίας όσον αφορά τα Dial-a-Ride προβλήματα όπου αρχικά παρουσιάζονται αναλυτικοί αλγόριθμοι και αργότερα κάποιοι ευρετικοί.

- **Αναλυτικοί αλγόριθμοι**

Το πρόβλημα του μοναδικού οχήματος (single vehicle problem) μελετήθηκε για πρώτη φορά από τον Psarafti [4], ο οποίος ανέπτυξε έναν αναλυτικό αλγόριθμο δυναμικού προγραμματισμού για την περίπτωση όπου επιβάλλονται χρονικά παράθυρα-περιορισμοί σε κάθε σημείο παραλαβής (pick-up) και σημείο παράδοσης (drop-off). Η απογοήτευση του πελάτη καταμετρούταν και ελεγχόταν μέσω ενός περιορισμού Μέγιστης Αλλαγής Θέσεως (maximum position shift-MPS), μειώνοντας τη διαφορά μεταξύ του απαιτούμενου προορισμού και της πραγματικής θέσης του οχήματος. Ο αλγόριθμος καθορίζει την σταθερά MPS με σκοπό να ελέγξει τη μέγιστη

διάρκεια ταξιδιού μέσα στο όχημα για κάθε πελάτη. Μέσω του συγκεκριμένου αλγορίθμου μπορούν να επιλυθούν μόνο περιπτώσεις μικρών προβλημάτων. Στον εξεταζόμενο αλγόριθμο χρησιμοποιείται η μέθοδος των σταδίων-καταστάσεων για να αναπαρασταθεί κάθε βήμα εκτέλεσης ως το τρέχον στάδιο. Γίνεται χρήση των τριών (3) εντολών FEASBL, V, NEXT -για τη πλήρη περιγραφή των εφικτών σταδίων και για το επόμενο βήμα- όπου κάθε ένα στάδιο αποτελείται από $(2N+1)3^N$ τοποθεσίες αποθήκευσης, όπου N: ο αριθμός των αιτήσεων. Ο αλγόριθμος λειτουργεί αναδρομικά και ο χρόνος οριοθετείται σε $(2n+1)^2 \cdot 3^N$ στάδια επεξεργασίας. Μια δυναμική εκδοχή του προβλήματος, έχει οριστεί επίσης από τον ίδιο συγγραφέα. Στη δυναμική εκδοχή, όταν προκύπτει ένα νέο αίτημα, ο αλγόριθμος επαναφέρει τον αρχικό χρόνο και τρέχει εκ νέου τη στατική εκδοχή του προβλήματος. Εξαιτίας αυτού του ορίου $(2N+1)3^N$, μόνο μικρές περιπτώσεις προβλημάτων μπορούν να λυθούν ακόμα και με την τρέχουσα υπολογιστική ισχύ. Αλλά τουλάχιστον αυτός ο αλγόριθμος παρέχει μια ακριβή λύση. Χρόνοι αναμονής δεν εξετάζονται στην παρούσα μελέτη.

Ο Desrosiers [2,7,8] αναδιατύπωσε το DARP μοναδικού οχήματος ως ένα ακέραιο δυναμικό πρόγραμμα. Η διατύπωση περιλαμβάνει παράθυρα χρόνου, χωρητικότητα οχήματος και περιορισμούς προτεραιότητας. Λύνεται ακριβώς με δυναμικό προγραμματισμό. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου αλγορίθμου οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση αποτελεσματικών κριτηρίων εξάλειψης για τα στάδια που είναι ανέφικτα, λόγω των πρόσθετων περιορισμών της διαδρομής. Η μέθοδος επίλυσης μπορεί να περιγραφεί ως εξής: Το πρόβλημα λύνεται χρησιμοποιώντας εμπρόσθιο δυναμικό προγραμματισμό. Το όχημα αρχικά βρίσκεται στον κόμβο αναχώρησης 0. Κατά την πρώτη επανάληψη, προβλήματα σταδίων δημιουργήθηκαν από διαδρομές που επισκέπτονται ένα μόνο κόμβο που επιλέγεται από την βάση. Σε κάθε μεταγενέστερη επανάληψη k ($2 \leq k$

$\leq 2n$), τα στάδια κατασκευάζονται από τα στάδια της προηγούμενης επανάληψης και αποτελούνται από διαδρομές που επισκέπτονται έναν επιπλέον κόμβο που επιλέγεται από τις αφετηρίες και τους προορισμούς. Για την εφαρμογή της διαδικασίας αποβολής σταδίων, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν μια σειρά από 9 κριτήρια που αφορούν στην εφικτότητα κάθε σταδίου. Τα κριτήρια μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

1. Κριτήρια σχετικά με την ακολουθία επίσκεψης
2. Κριτήρια σχετικά την χωρητικότητα του οχήματος
3. Κριτήρια που αφορούν τους χρονικούς περιορισμούς (όπως οι μικρότερες και οι μεγαλύτερες χρονικές στιγμές επίσκεψης)
4. Κριτήρια για την περίπτωση κατά την οποία αρκετοί πελάτες βρίσκονται στην ίδια θέση.

Ένα σύστημα διπλής σήμανσης (κόστους και χρόνου) χρησιμοποιείται επίσης για να χαρακτηρίσει κάθε δυνατή διαδρομή. Μόνο ένα υποσύνολο όλων των δυνατών διαδρομών είναι αποθηκευμένο. Εκμεταλλευόμενοι της μνήμης των συγγραφέων για την αποθήκευση, τα εφικτά στάδια δεν αποτελούν θέμα, λόγω του μικρού αριθμού τους. Βέλτιστες λύσεις αποκτήθηκαν για 40 αιτήματα ($n = 40$). Δυναμικά χαρακτηριστικά δεν έχουν συμπεριληφθεί καθόλου στην παρούσα μελέτη. Οι συγγραφείς συνιστούν τη χρήση του προτεινόμενου αλγορίθμου, ως υπο-αλγόριθμο σε ένα DARP με πολλά οχήματα. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση αλγορίθμου δεν χρησιμοποιήθηκε εκτενώς από μεταγενέστερες μελέτες.

Ο Dumas et al [2] παρουσίασε έναν αναλυτικό αλγόριθμο που λύνει το PDP κατά τη μεταφορά εμπορευμάτων. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ένα ειδικό γράφημα στηλών (column generation) με ένα περιορισμένο βέλτιστο μονοπάτι ως υπο-πρόβλημα. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος επιλύει μόνο ορισμένες περιπτώσεις του "PDPTW" (Pickup and Deliver Problem with Time Windows-παράθυρα χρόνου) και δεν έχει σχεδιαστεί για μεγάλης κλίμακας προβλήματα. Το πρώτο βήμα της προτεινόμενης μεθόδου είναι η παραγωγή αποδεκτών μονοπατιών, χρησιμοποιώντας τη συντομότερη διαδρομή με περιορισμούς. Μετά από αυτό, το κύριο πρόβλημα λύνεται από έναν αλγόριθμο γεννήτριας στηλών και ένα δέντρο branch and bound exploration. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο στηλών ή κάποια επιτρεπτά μονοπάτια, το περιορισμένο κύριο πρόβλημα λύνεται με τον αλγόριθμο simplex. Οι συντάκτες χρησιμοποιούν μια νέα στρατηγική διακλάδωσης η οποία εφαρμόζεται άμεσα στα αιτήματα, πιο συγκεκριμένα στην ακολουθία των pickup. Αυτή η στρατηγική έχει το πλεονέκτημα της εξάλειψης του πιθανού αριθμού των διακλαδώσεων κατά το ήμισυ. Επίσης, προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος εκτέλεσης έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές στρατηγικές. Η μία είναι να επιβληθεί διακριτικά μια περικοπή του αριθμού των οχημάτων πολύ πριν επιτευχθεί η βέλτιστη γραμμική λύση του κύριου προβλήματος. Μια άλλη είναι να μειωθούν τα προβλήματα συντομότερης διαδρομής σε ένα μικρό τμήμα του δικτύου που αποτελείται από το 30% των καλύτερων τόξων. Το μέγεθος του προβλήματος κυμαινόταν μεταξύ 19 έως 55 αιτήσεων (20 έως 112 κόμβους, συμπεριλαμβανομένων των κόμβων στάθμευσης-αμαξοστάσιο). Η προτεινόμενη λύση δίνει καλά αποτελέσματα μόνο για μικρά προβλήματα. Υπάρχει επίσης πολύ μεγάλη προσαρμοστικότητα στους πελάτες με σκοπό να επιταχυνθεί η εκτέλεση του αλγορίθμου. Η έννοια της δυναμικότητας δεν λαμβάνεται υπόψη σε αυτή τη μεθοδολογία και είναι ίσως δύσκολο να επιτευχθεί κάποια προσθήκη.

Οι Κοζανίδης - Ζηλιασκόπουλος παρουσίασαν έναν DP αναλυτικό αλγόριθμο για την περίπτωση DARP με 1 και 2 οχήματα. Ο αλγόριθμος βασίζεται σε μια εφαρμογή δεδομένων και αποτελεί επέκταση του αλγορίθμου που υλοποίησε ο Psaraftis [4]. Τα αριθμητικά αποτελέσματα απεικονίζουν σαφώς την εκθετική συμπεριφορά αυτής της αλγοριθμικής εφαρμογής. Το μεγαλύτερο μέγεθος προβλήματος που μπορεί να λύσει ο αλγόριθμος μοναδικού οχήματος περιορίζεται σε εννέα ($N = 9$) απαιτήσεις, ενώ ο αντίστοιχος με 2 οχήματα περιορίζεται σε επτά ($N = 7$) απαιτήσεις. Φυσικά, ο περιορισμένος αριθμός των αιτήσεων που μπορούν να επιλυθούν περιορίζει τη χρήση αυτής της αλγοριθμικής εφαρμογής σε περιπτώσεις όπου το μέγεθος του προβλήματος είναι πολύ μικρό. Αυτό που είναι σημαντικό σε αυτή τη μελέτη είναι ότι υπάρχει μια προσέγγιση για τη βέλτιστη λύση για περισσότερα από ένα οχήματα.

Ο Kikuchi αναπτύσσει ένα ισορροπημένο LP πρόβλημα μεταφοράς για τη περίπτωση πολλών οχημάτων, ελαχιστοποιώντας τις διαδρομές όπου το όχημα είναι άδειο όπως επίσης και τους νεκρούς χρόνους, οπότε και το μέγεθος του στόλου. Σε ένα στάδιο προ-επεξεργασίας, η περιοχή εξυπηρέτησης χωρίζεται σε ζώνες, ενώ ο χρονικός ορίζοντας σε χρονικές περιόδους. Κάθε αίτηση κατατάσσεται σύμφωνα με μια ζώνη προέλευσης και προορισμού, καθώς επίσης και με μια περίοδο άφιξης και αναχώρησης.

Ο Cordeau [1] παρουσίασε έναν αλγόριθμο branch and cut για το στατικό DARP. Ο αλγόριθμος βασίζεται σε μία διατύπωση 3πλού δείκτη μικτού-ακεραίου προβλήματος. Νέες βάσιμες ανισότητες όπως αυτές που αναπτύχθηκαν προηγουμένως για το PDP και το VRP εφαρμόζονται. Το μεγαλύτερο πρόβλημα το οποίο εξήγαγε βέλτιστη λύση περιέχει 36 αιτήσεις.

Οι Ropke-Cordeau-Laporte [10] εισήγαγαν 2 (δύο) νέα μοντέλα για το PDPTW και το συγγενικό DARP στο οποίο επιβάλεται ένα όριο στο χρόνο που έχει διανυθεί μεταξύ μιας παραλαβής και μιας παράδοσης κάποιας αίτησης. Αρκετές οικογένειες

έγκυρων ανισοτήτων συστήνονται με σκοπό την ενίσχυση αυτών των δύο μοντέλων. Αυτές οι ανισότητες χρησιμοποιούνται μέσα στον branch and cut αλγόριθμο. Έχουν δοκιμαστεί σε αρκετά πακέτα περιπτώσεων είτε για PDPTW είτε για DARP. Περιπτώσεις με έως και 8 (οχτώ) οχήματα και 96 αιτήσεις (194 κόμβοι) καταλήγουν σε βέλτιστη λύση.

- **Ευρετικοί αλγόριθμοι**

Οι Fisher-Jaikumar παρουσίασαν μια παραλλαγή του κλασικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων, κατά την οποία ένας στόλος οχημάτων που παραδίδει τα προϊόντα σταθμεύει σε μια κεντρική αποθήκη για να ικανοποιήσει τις παραγγελίες των πελατών. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος είναι ένα γενικευμένο πρόβλημα ανάθεσης με περιορισμούς και μια αντικειμενική συνάρτηση, που προσεγγίζει το κόστος των δρομολογίων του Traveling Salesman Problem (πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή) που απαιτείται για κάθε όχημα για να εξυπηρετήσει τους πελάτες που του έχουν ανατεθεί. Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η ανάθεση, μια πλήρη λύση προκύπτει από την εφαρμογή οποιουδήποτε ευρετικού-υποβέλτιστου (heuristic) ή βέλτιστου TSP αλγόριθμου, οπότε εξάγεται η σειρά παράδοσης των πελατών που αποδίδονται σε κάθε όχημα. Πρώτον, επειδή οι περιορισμοί εφικτότητας του προβλήματος περιλαμβάνονται στο γενικευμένο πρόβλημα ανάθεσης, ο ευρετικός αλγόριθμος θα βρίσκει πάντα μια εφικτή λύση, αν υπάρχει. Δεύτερον, το γενικευμένο πρόβλημα ανάθεσης έχει λυθεί εάν εξετάσει κάποιος τις επιπτώσεις μιας εκχώρησης ενός πελάτη σε ένα όχημα προς κάθε άλλη πιθανή εκχώρηση, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς χωρητικότητας ενός οχήματος. Αυτό αποφεύγει ένα πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίζουν οι διαδοχικές αναθέσεις, που μπορεί να «ζωγραφίσει τους εαυτούς τους σε μια γωνία» κάνοντας αρχικές αναθέσεις από άγνοια, οι οποίες οδηγούν σε πολύ ακριβές επόμενες αποστολές-αναθέσεις, ώστε να διατηρείται η εφικτότητα. Η άποψη του συγγραφέα είναι ότι η μέθοδος αυτή μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί για

να διευθετήσει μια σειρά σημαντικών προβλημάτων πολυπλοκότητας , συμπεριλαμβανομένων των πολλαπλών αποθηκών, πολλαπλών χρονικών περιόδων, της επιλογής να μην παραδίδει στον προορισμό του κάποιο πελάτη σε περίπτωση ποινής, των περιορισμών στη χρονική διάρκεια μιας διαδρομής του οχήματος, και των περιορισμών πολλαπλής χωρητικότητας (π.χ., το βάρος και τον όγκο).

Ο αλγόριθμος ανάθεσης βασίζεται σε μια ειδική μέθοδο η οποία δημιουργεί ομάδες πελατών σύμφωνα με το γένος -που παράγεται από μια ιδιαίτερη διαδικασία- και μετά ένας TSP αλγόριθμος βρίσκει την καλύτερη βέλτιστη πορεία. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος έχει δοκιμαστεί με το ανώτατο όριο των 10 (δέκα) οχημάτων και 100 (εκατό) αιτήσεων. Παράθυρα χρόνου και διάρκειες εξυπηρέτησης λαμβάνονται υπόψη, ενώ η μέθοδος της ομαδοποίησης βασίζεται σε μια ευρετική (heuristic).

Οι Sexton και Bodin ανέπτυξαν έναν ευρετικό αλγόριθμο για το “Multi Vehicle Static Dial-and-Ride Problem” (στατικό DARP με πολλά οχήματα). Ο προτεινόμενος αλγόριθμος έχει ως εξής: Πρώτον, χώρισε όλους τους πελάτες σε M οχήματα κατά ομάδες. Δεύτερον, λύσε το DARP μοναδικού οχήματος για κάθε ομάδα. Τρίτον, μετακίνησε τους πελάτες από το ένα όχημα στο άλλο προσπαθώντας να μειώσεις την συνολική ενόχλησή τους. Τέταρτον, για κάθε μια από τις απορρέουσες ομάδες λύσε το προκύπτον πρόβλημα-χρονοδιάγραμμα μοναδικού οχήματος δρομολόγησης (VRP). Ο αλγόριθμος ελέγχει 2 (δύο) είδη ενόχλησης: “ Παραπανίσια Διάρκεια Μεταφοράς (Excess Ride)”-που καθορίζεται ως τη διαφορά μεταξύ της πραγματικής διάρκειας μεταφοράς και της διάρκειας άμεσης μεταφοράς και “Χρονική Στιγμή και Παράδοση (Time and Delivery)”- που καθορίζεται ως τη διαφορά μεταξύ της επιθυμητής χρονικής στιγμής παράδοσης και της πραγματικής χρονικής στιγμής παράδοσης. Για να λύσει το στατικό DARP μοναδικού οχήματος, ο συγγραφέας χρησιμοποιεί μια προσέγγιση βασισμένη σε 2 (δύο) διαφορετικές υπομονάδες (modules). Η πρώτη είναι υπεύθυνη να αναγνωρίσει τη βέλτιστη χρονική ακολουθία

για μια συγκεκριμένη διαδρομή. Η δεύτερη χρησιμοποιεί μια υποβέλτιστη (heuristic) προσέγγιση για να αναγνωρίσει μια σειρά πιθανών διαδρομών. Η προτεινόμενη μέθοδος αποτελεί συνδυασμό ενός ευρετικού και ενός αναλυτικού τμήματος τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν από έναν ανώτερο ευρετικό αλγόριθμο για DARP πολλών οχημάτων. Σημειώνεται ότι οι συγγραφείς δεν εγγυώνται της βέλτιστης λύσης ενώ δεν γίνεται καθόλου αναφορά για την online εκδοχή του προβλήματος.

1.3 Οργάνωση Μεταπτυχιακής Εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας χωρίζεται σε τέσσερις ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαιο 2 - 5, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στο 2^ο Κεφάλαιο αναλύουμε τη διαδικασία της Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρησης (Μ.Π.Ε) και της Επαναδιάθεσης (Q.T) του μαχητικού αεροσκάφους F-XX. Επίσης αναγράφονται οι χρόνοι εξυπηρέτησης κάθε εξεταζόμενου σημείου όπως και οι χρόνοι μετάβασης μεταξύ αυτών. Οι τελευταίοι αποτελούν ρεαλιστικά αποτελέσματα μιας επιθεώρησης ενός τεχνικού, επιπέδου δεξιότητας 3 που ανήκει στον 1^ο βαθμό συντήρησης, ενώ οι χρόνοι εξυπηρέτησης των σημείων είναι αυτοί που συστήνει η κατασκευάστρια εταιρεία.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναπτύσσουμε τη βασική θεωρία των προβλημάτων δρομολόγησης Vehicle Routing Problems (VRP) παρουσιάζοντας όλες τις υποκατηγορίες τους.

Στο 4^ο Κεφάλαιο υλοποιείται η μοντελοποίηση του προβλήματος όπου παρουσιάζεται μια Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρηση και μια Επαναδιάθεση οι οποίες προκύπτουν μετά από αρκετή εξάσκηση και χρόνια εμπειρίας του τεχνικού δίπλα στο αεροσκάφος.

Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζουμε αριθμητικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή ενός αναλυτικού (exact) και ενός ευρετικού (heuristic) αλγορίθμου

δρομολόγησης DARP πάνω στα δίκτυα της μοντελοποιημένης Μ.Π.Ε και Q.T, τα οποία αποτελέσματα επαληθεύονται από την εκτέλεση προγράμματος σε γλώσσα `amb1` μόνο για περιπτώσεις όπου το μέγεθος του προβλήματος το επιτρέπει.

Τα τελικά συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας και κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα παρουσιάζονται στο 6^ο και τελευταίο Κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 2 Επιθεώρηση Αεροσκάφους

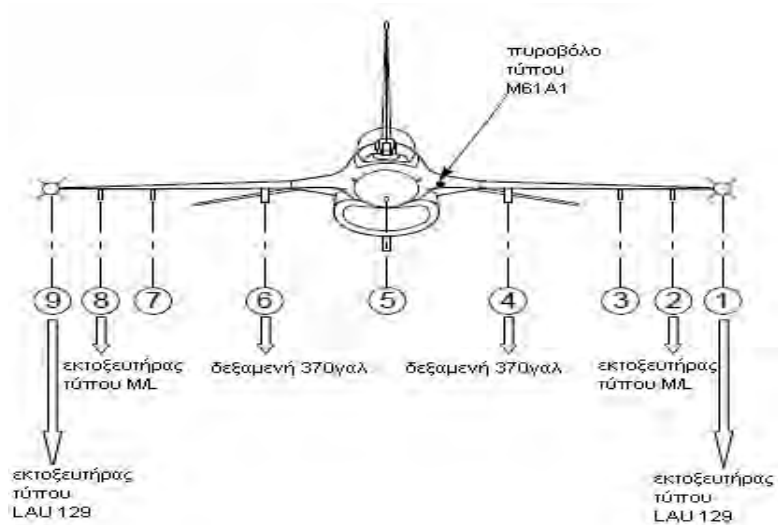
Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσουμε την επιθεώρηση του αεροσκάφους σύμφωνα με κάποια τεχνικά εγχειρίδια και την βιβλιογραφία συντήρησης του αεροσκάφους.

2.1 Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρηση - Thrufight Inspection

Στη συγκεκριμένη παράγραφο παρουσιάζεται η ακριβής διαδικασία της μεταξύ πτήσεων επιθεώρησης αφού προηγουμένως διατυπωθούν ορισμένες παραδοχές σύμφωνα με τις οποίες πραγματοποιείται η επιθεώρηση και τελικά προκύπτουν διάφορα συμπεράσματα.

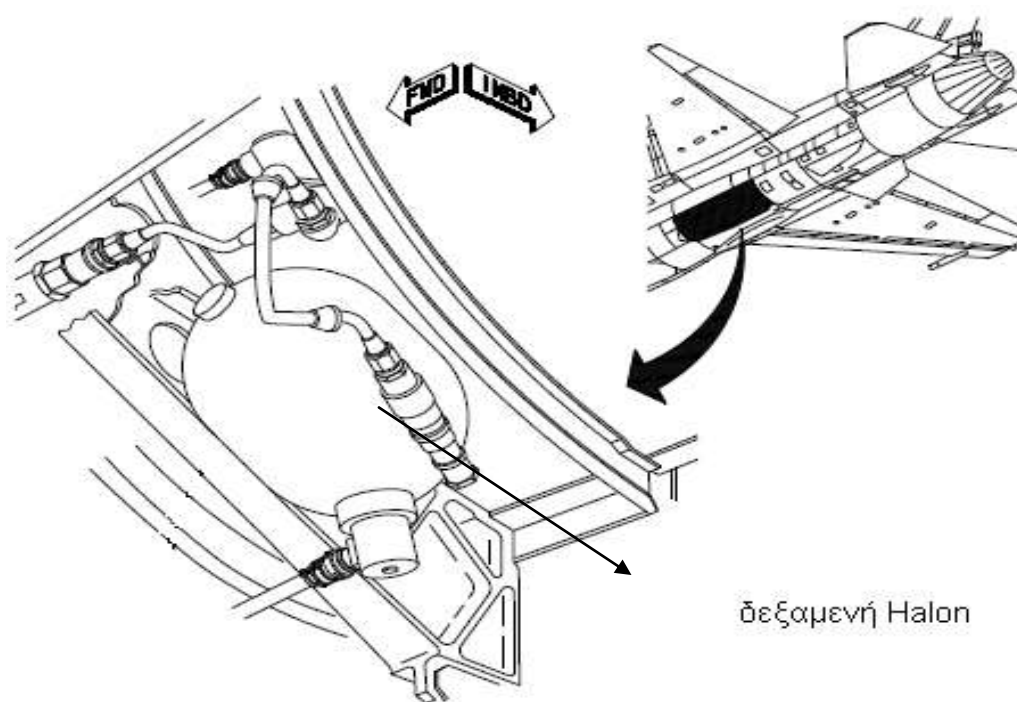
2.1.1 Παραδοχές

- Αναφερόμαστε σε ελληνικό μονοθέσιο μαχητικό αεροσκάφος τύπου F-XX, διαμόρφωσης Γ (περιλαμβάνει 2 εξωτερικές δεξαμενές καυσίμου 370 γαλονιών στους σταθμούς φόρτωσης 4, 6), με εκτοξευτήρες πυραύλων τύπου Missile Launcher στους σταθμούς 2,7 ή φορείς βομβών τύπου Wing Weapon Pylon στους σταθμούς 3,7 και εκτοξευτήρες πυραύλων τύπου LAU 129 στους σταθμούς 1,9.



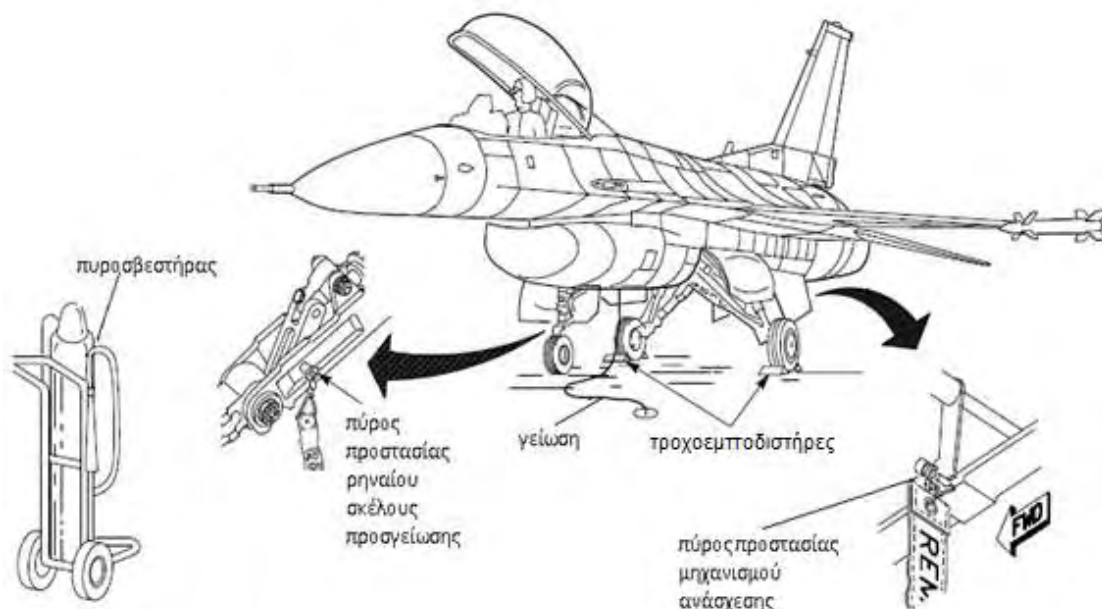
Σχήμα 2-1: Παραπάνω παρουσιάζεται η εξεταζόμενη διαμόρφωση του αεροσκάφους.

- Στη βιβλιογραφία του αεροσκάφους αναφέρεται για κάθε σημείο η χρονική διάρκεια επίσκεψής-επιθεώρησής του από τον υπόλογο ενώ παραλείπεται ο χρόνος μετάβασης από κάθε κόμβο στον επόμενο. Για τη τελευταία παράμετρο λήφθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές επιθεώρησης ενός μέσου υπολόγου 3^{ου} επιπέδου δεξιότητας (αρχικό επίπεδο).
- Επίσης θεωρούμε ότι η δεξαμενή του Halon δεν απαιτεί αντικατάσταση λόγω της μη λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος κατά τη διάρκεια της πτήσης.



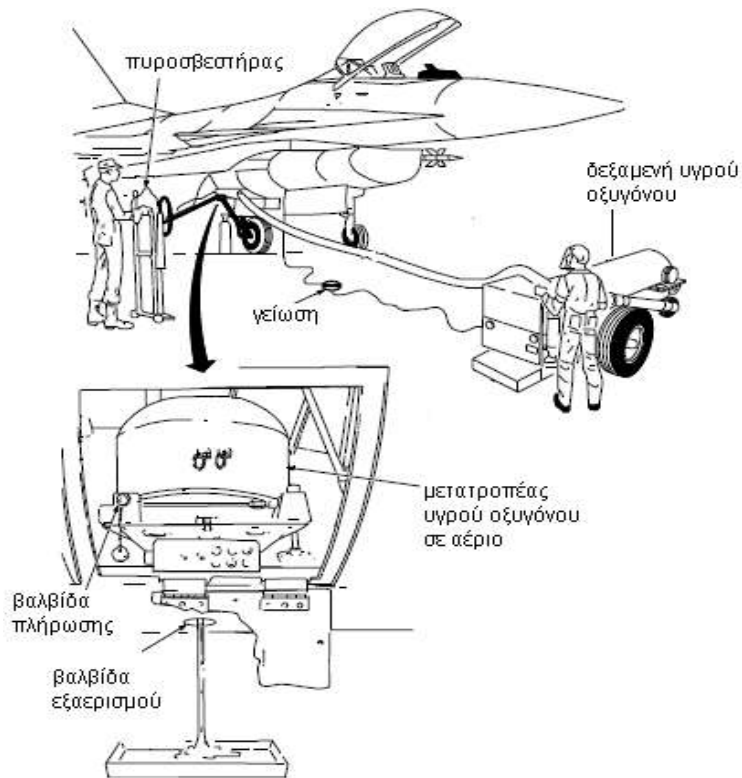
Σχήμα 2-2: Η συσκευή Halon βρίσκεται στο αριστερό σκέλος προσγείωσης του αεροσκάφους και χρησιμοποιείται κατά τη πολεμική περίοδο σε περίπτωση εμπλοκής του σε αερομαχία.

- Η επιθεώρηση ξεκινάει αφού πρώτα τοποθετηθούν ο πυροσβεστήρας, η γείωση, οι κατάλληλοι τροχοεμποδιστήρες (chocks) και οι απαραίτητοι πείροι προστασίας στο ρηναίο σκέλος προσγείωσης και στον μηχανισμό επείγουσας ανάσχεσης του α/φους (arresting gear).

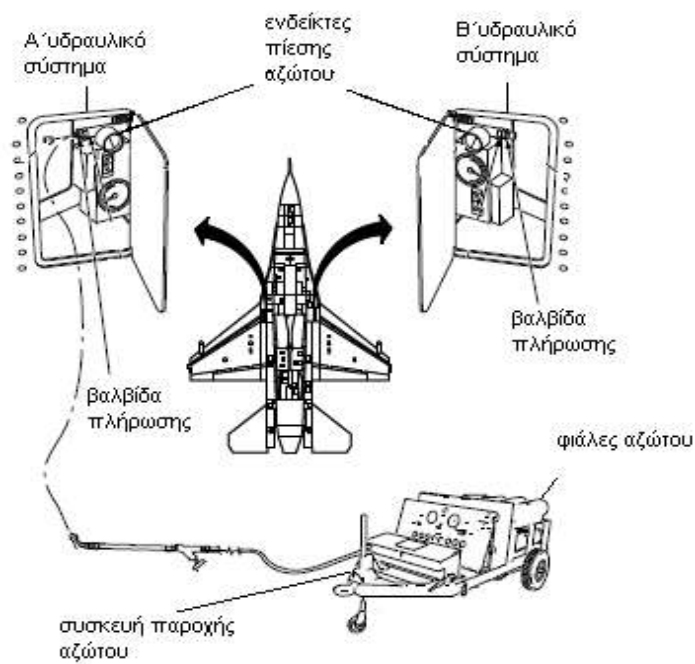


Σχήμα 2-3: Εδώ φαίνεται η θέση στο αεροσκάφος των πείρων ασφαλείας του ρηναίου συστήματος προσγείωσης και του μηχανισμού επείγουσας ανάσχεσης, καθώς επίσης διακρίνονται η γείωση και οι τροχοεμποδιστήρες.

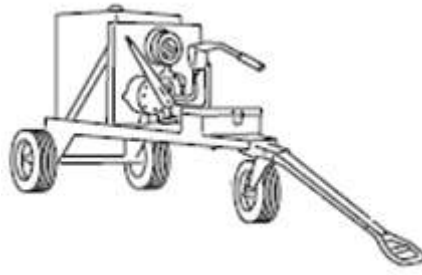
- Επισημαίνεται ότι **οι χρόνοι εξυπηρέτησης του α/φους με οξυγόνο, άζωτο, υδραυλικό και λάδι προστίθενται στο τέλος στην επιθεώρηση του υπολόγου.** Με τη σειρά που αναφέρθηκαν, παρουσιάζονται παρακάτω οι διαδικασίες πλήρωσης με οξυγόνο του ειδικού μετατροπέα, εξυπηρέτησης με άζωτο του συσσωρευτή (accumulator) ενός τυχαίου συστήματος του α/φους (Α', Β' υδραυλικό σύστημα) και πλήρωσης με υδραυλικό και λάδι των αντίστοιχων δεξαμεμών.



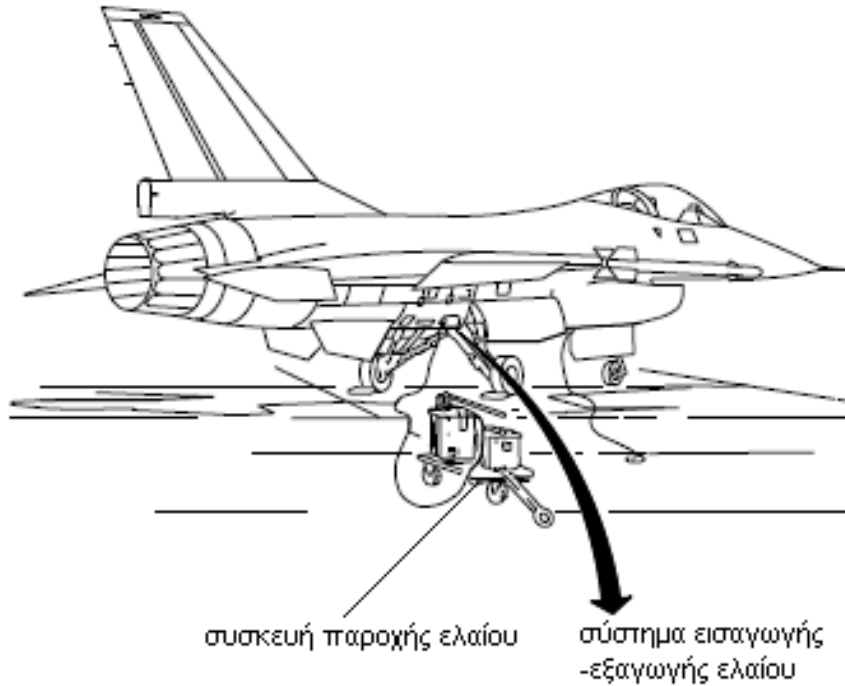
Σχήμα 2-4: Διαδικασία πλήρωσης του ειδικού μετατροπέα με υγρό οξυγόνο.



Σχήμα 2-5: Εξυπηρέτηση του Α', Β' υδραυλικού συστήματος του αεροσκάφους με άζωτο.

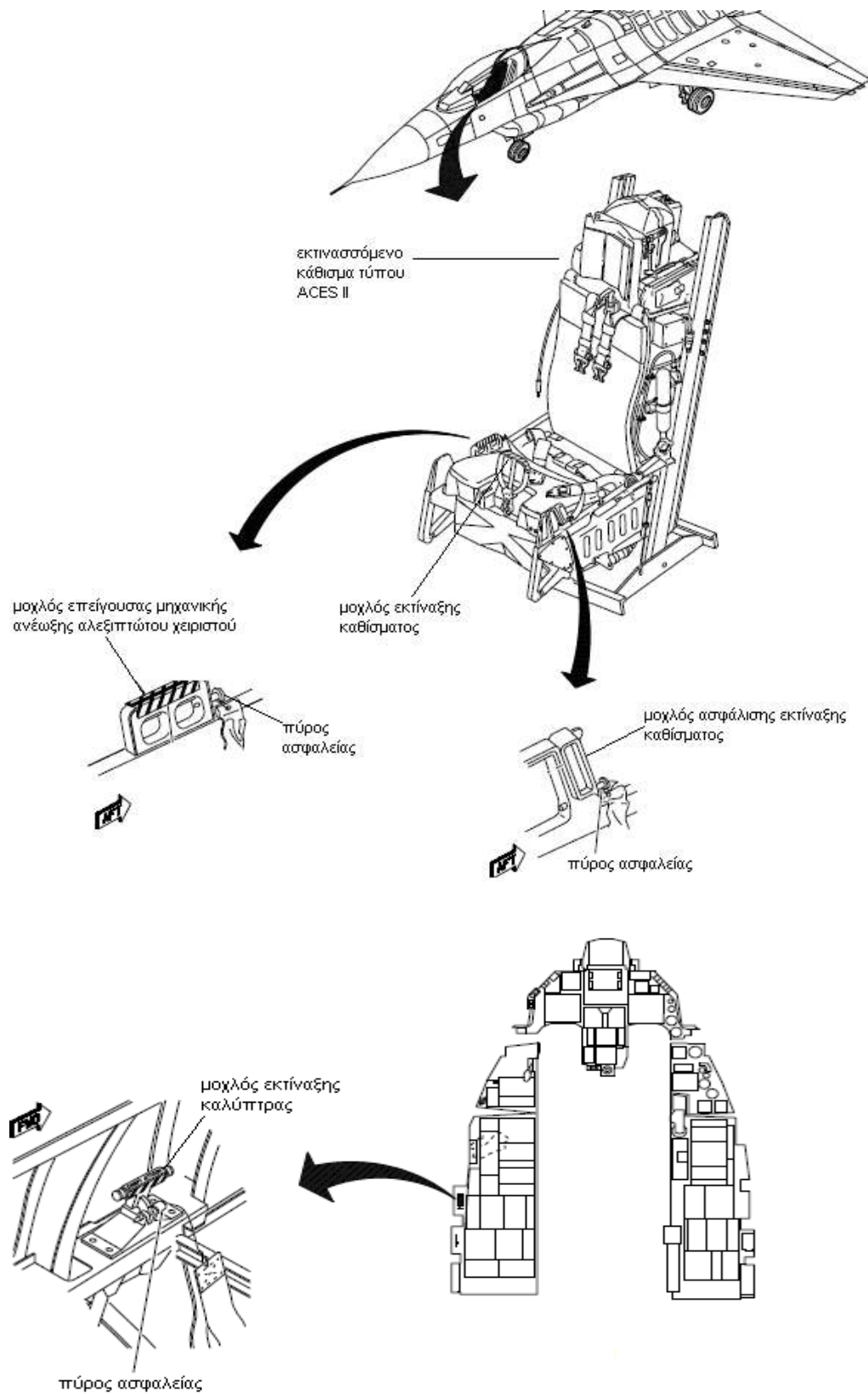


Σχήμα 2-6: Παραπάνω φαίνεται η συσκευή παροχής υδραυλικού μέσου στο αεροσκάφος.

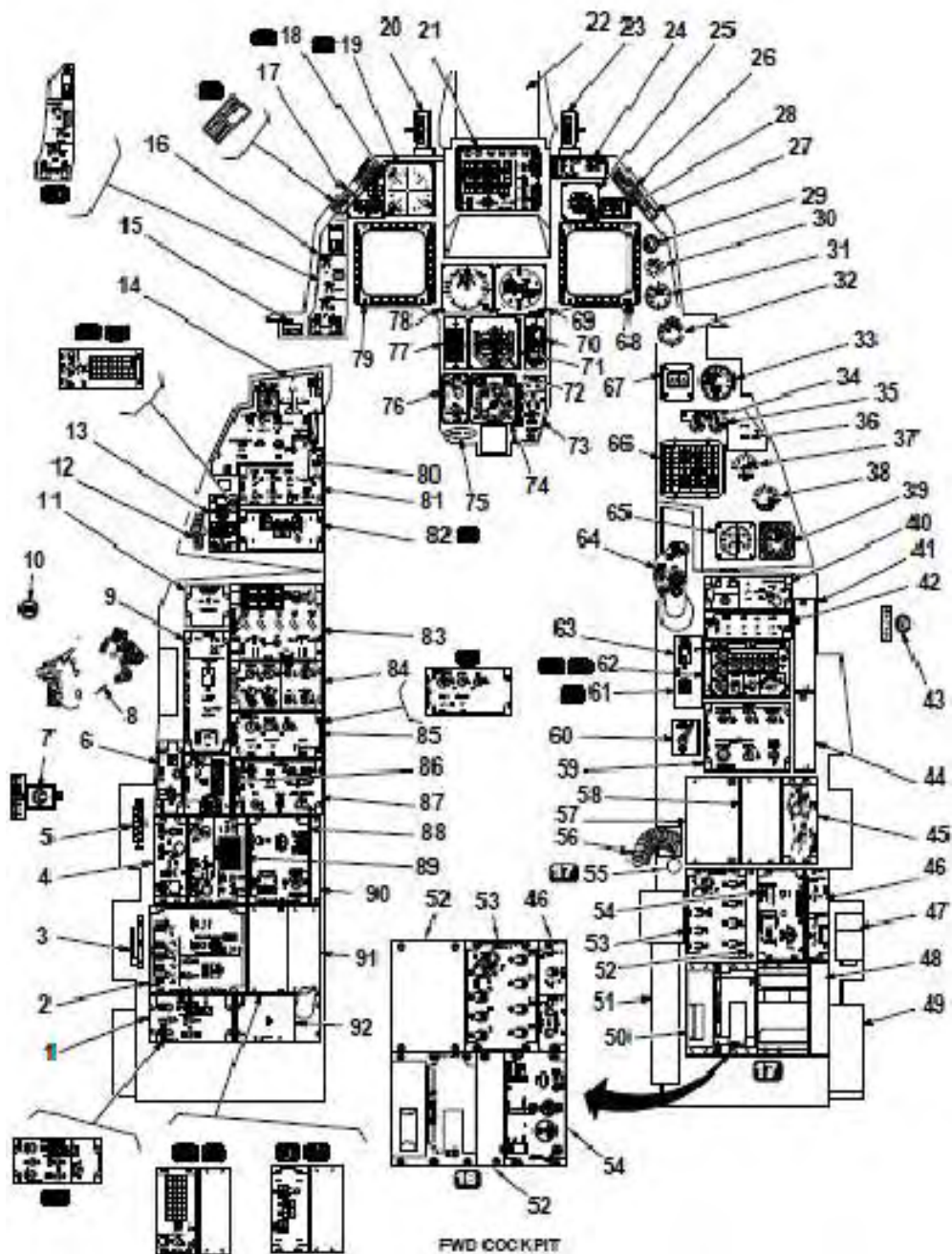


Σχήμα 2-7: Πλήρωση ελαίου της αντίστοιχης δεξαμενής του αεροσκάφους.

- Τέλος, η διαδικασία τοποθέτησης των απαραίτητων πύρων ασφαλείας και όλων των διακοπών της θέσης χειριστού (cockpit) σε θέση ασφαλείας (safety) δεν αναλύεται για λόγους δυσκολίας στη κατανόησή τους παρά μόνο παρουσιάζεται η θέση τους μέσα στο cockpit. Ωστόσο υπολογίζεται και λαμβάνεται υπόψη στη μοντελοποίηση του προβλήματος.



Σχήμα 2-8: Το παραπάνω σχήμα μας παρουσιάζει την θέση των πείρων ασφαλείας της θέσης χειριστού και της καλύπτρας.



Σχήμα 2-9: Εδώ φαίνεται αναλυτικά η θέση κάθε διακόπτη μέσα στη θέση χειριστού με σκοπό να γίνει κατανοητός ο λόγος της μεγάλης διάρκειας παραμονής του τεχνικού μέσα στο cockpit.

1	TEST PANEL		
2	FLIGHT CONTROL PANEL		
3	DEFOG LEVER		
4	FUEL PANEL		
5	CANOPY JETTISON HANDLE		
6	EPU PANEL		
7	REDUCED IDLE THRUST SWITCH		
8	THROTTLE GRIP		
	• RDR CURSOR/ENABLE SWITCH		
	• SPD BRK SWITCH		
	• ANT ELEV CONTROL		
	• DOGFIGHT/CENTER/MISSILE OVERRIDE SWITCH		
	• MAN RNG/UNCAGE SWITCH		
	• VHF/HF/UHF SWITCH		
	• MIC SWITCH		
	• CUTOFF RELEASE LEVER		
	• FRICTION CONTROL		
9	ENG & JET START PANEL		
10	CHAFF/FLARE SWITCH		
11	MANUAL PITCH PANEL		
12	ALT GEAR HANDLE		
13	THREAT WARNING AUX PANEL		
14	LANDING GEAR (LG) PANEL		
	• HOOK SWITCH		
	• WHEELS POSITION LIGHTS		
	• EMER STORES JETTISON SWITCH		
	• GRD JETT SWITCH		
	• BRAKES SWITCH		
	• BRAKES SELECTOR SWITCH		
	• LG HANDLE		
	• DN LOCK REL BUTTON		
	• LIGHTS SWITCH		
	• HORN SILENCER SWITCH		
	• STORES CONFIG SWITCH		
	• DOWN PERMISSION SWITCH		
	• SPEEDBRAKE INDICATOR		
15	RADIO CALL INDICATOR		
16	MISC PANEL		
	• DRAG CHUTE DEPLOY BUTTON		
	• LASER ARM SWITCH		
	• ALT REL SWITCH		
	• OVRD LIGHT		
	• MASTER ARM SWITCH		
	• TERRAIN FOLLOWING (TF) SWITCH		
	• PITCH SWITCH		
	• ROLL SWITCH		
17	LEFT APT GLARESHIELD		
	• TF FAIL/ECM		
	• OBS WRN LIGHT		
	• ALT LOW LIGHT		
	• MASTER CAUTION LIGHT		
18	RWR PRIME CONTROL PANEL		
19	AZIMUTH DISPLAY INDICATOR		
20	ANGLE-OF-ATTACK (AOA) INDEXER		
21	INTEGRATED CONTROL PANEL (ICP)		
22	HEAD-UP DISPLAY (HUD) PILOT'S DISPLAY UNIT (PDU)		
23	AIR REFUELING INDICATOR		
24	DATA ENTRY DISPLAY (DED)		
25	STANDBY ATTITUDE INDICATOR (SAI)		
26	RIGHT APT GLARESHIELD		
	• ENG FIRE/ENGINE LIGHT		
	• HYD OIL PRESS LIGHT		
	• DUAL FC/CANOPY LIGHT		
	• TO LDG CONFIG LIGHT		
27	FUEL FLOW INDICATOR		
28	GROWTH		
29	ENGINE OIL PRESSURE INDICATOR		
30	NOZ POS INDICATOR		
31	RPM PERCENT INDICATOR		
32	FTTI INDICATOR		
33	FUEL INDICATOR		
34	HYD PRESS A INDICATOR		
35	HYD PRESS B INDICATOR		
36	OXY FLOW INDICATOR		
37	LIQUID OXYGEN INDICATOR		
38	EPU FUEL INDICATOR		
	• COUNTERMEASURES MANAGEMENT SWITCH		
	• PADDLE SWITCH		
	• EXPAND/OV SWITCH		
39	CLOCK		
40	AVTR PANEL		
41	BLANK PANEL		
42	SNSR PWR PANEL		
43	SEAT ADJ SWITCH		
44	BLANK PANEL		
45	AIR COND PANEL		
46	ANTI-ICE and ANT SEL PANEL		
47	UTILITY LIGHT		
48	AERP BRACKET		
49	LET DOWN CHART STOWAGE		
50	DATA TRANSFER UNIT (DTU)		
51	MAP AND DATA STOWAGE		
52	BLANK PANEL		
53	AVIONICS POWER PANEL		
54	OXYGEN REGULATOR PANEL		
55	AERP CONNECTOR		
56	OXYGEN SUPPLY/INTERPHONE CONNECTION		
57	BLANK PANEL		
58	BLANK PANEL		
59	LIGHTING PANEL		
60	VOICE MESSAGE INHIBIT SWITCH		
61	• NWS CONTROL BUTTON		
62	TACDS COCKPIT CONTROL UNIT		
63	MASTER ZEROIZE SWITCH		
64	SIDE STICK CONTROLLER		
	• CAMERA/GUN SWITCH		
	• NWS/AR DISC/MSL STEP SWITCH		
	• WPN REL SWITCH		
	• TRIM SWITCH		
	• DISPLAY MANAGEMENT SWITCH		
	• TARGET MANAGEMENT SWITCH		
65	CABIN PRESS ALTIMETER		
66	CAUTION LIGHT PANEL		
67	MAGNETIC COMPASS		
68	RIGHT MULTIFUNCTION DISPLAY (MFD) PANEL		
69	ALTIMETER		
70	VERTICAL VELOCITY INDICATOR (VVI)		
71	ATTITUDE DIRECTOR INDICATOR (ADI)		
72	MRK BCN LIGHT		
73	FUEL QTY SEL PANEL		
74	HORIZONTAL SITUATION INDICATOR (HSI)		
75	PEDAL ADJ CONTROL		
76	INSTR MODE SELECT COUPLER (IMSC)		
77	ANGLE-OF-ATTACK (AOA) INDICATOR		
78	AIRSPD/MACH INDICATOR (AMI)		
79	LEFT MULTIFUNCTION DISPLAY (MFD) PANEL		
80	LANDING GEAR (LG) HANDLE		
81	HUD PANEL		
82	• ECM/• IDIAS PANEL		
83	UHF RADIO		
84	AUDIO 1 PANEL		
85	AUDIO 2 PANEL		
86	ELEC PANEL		
87	EXT LIGHTING PANEL		
88	MANUAL TRIM PANEL		
89	AUX COMM PANEL		
90	BLANK PANEL		
91	BLANK PANEL		
92	• ECM PANEL		
93	ANTI G PANEL		

Ονομασία διακοπών θέσης χειριστού.

[38]

2.1.2 Επιθεώρηση

1. Τοποθέτησε προστατευτικά καλύμματα στα παρακάτω συστήματα του αεροσκάφους μετά το πέρας της επιθεώρησης:

A. Σωλήνα μέτρησης στατικής πίεσης (pitot-static probe)-30''**Διάρκεια επίσκεψης/1''**Μετάβαση στον επόμενο κόμβο.

B. Αισθητήρες γωνίας προσβολής (angle of attack transmitters)-30''**δ.ε/2''**μτβ.

Γ. Σωλήνα μέτρησης δεδομένων αέρα (air data probe)-30''**δ.ε/2''**μτβ.

Δ. Αεραγωγό (engine air inlet)-30''**δ.ε/7''**μτβ.

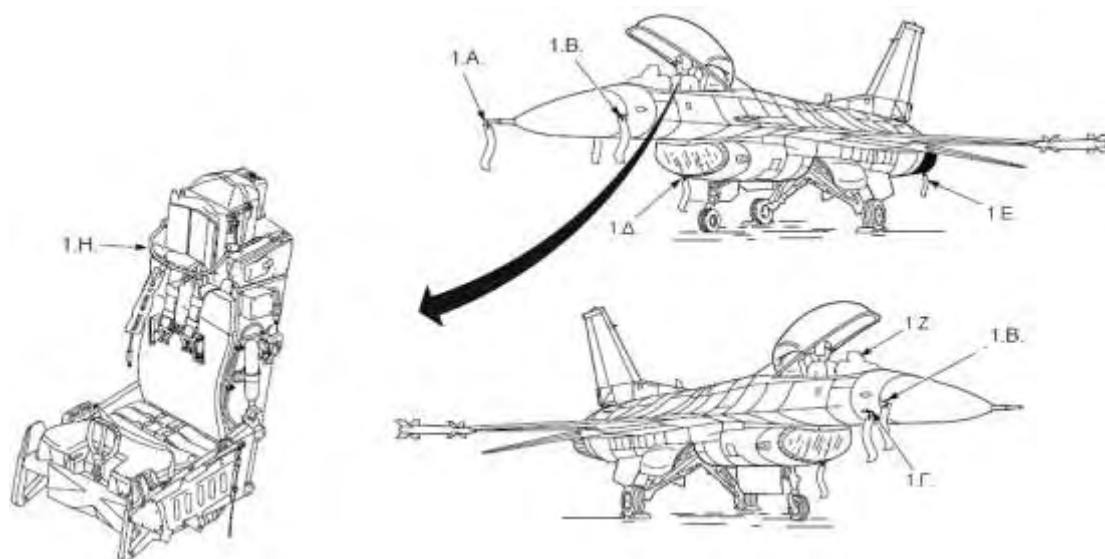
Ε. Ακροφύσιο (engine exhaust)-30''**δ.ε/17''**μτβ.

Προσοχή

Βεβαιώσου ότι τα καλύμματα είναι καθαρά και δεν περιέχουν ξένα αντικείμενα που θα προκαλούσαν φθορά στα συστήματα τα οποία προστατεύουν.

Z. Σύστημα απεικόνισης ενδείξεων ραντάρ (head-up display)-30''**δ.ε/1''**μτβ.

H. Σωλήνες μέτρησης στοιχείων αέρα εκτινασσόμενου καθίσματος (ejection seat pitots)-30''**δ.ε/10''**μτβ.



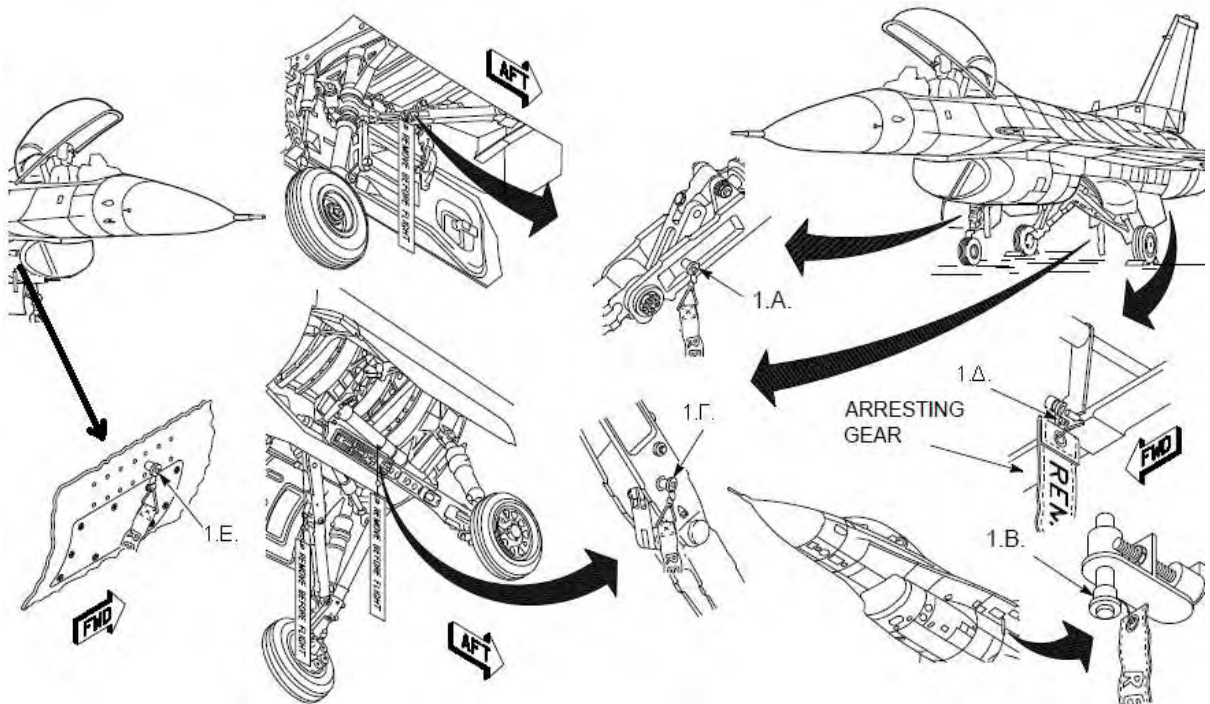
Σχήμα 2-10: 1^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Βεβαιώσου ότι έχουν τοποθετηθεί πύροι ασφαλείας στα παρακάτω συστήματα του αεροσκάφους:
 - A. Ρηναίο σύστημα προσγείωσης (nose landing gear)-15''δ.ε/5''μτβ.
 - B. Πυροδότηση πυροβόλου (gun firing circuit)-15''δ.ε/4''μτβ.
 - Γ. Κύριο σύστημα προσγείωσης (main landing gear)-15''δ.ε/3''μτβ.

Προειδοποίηση

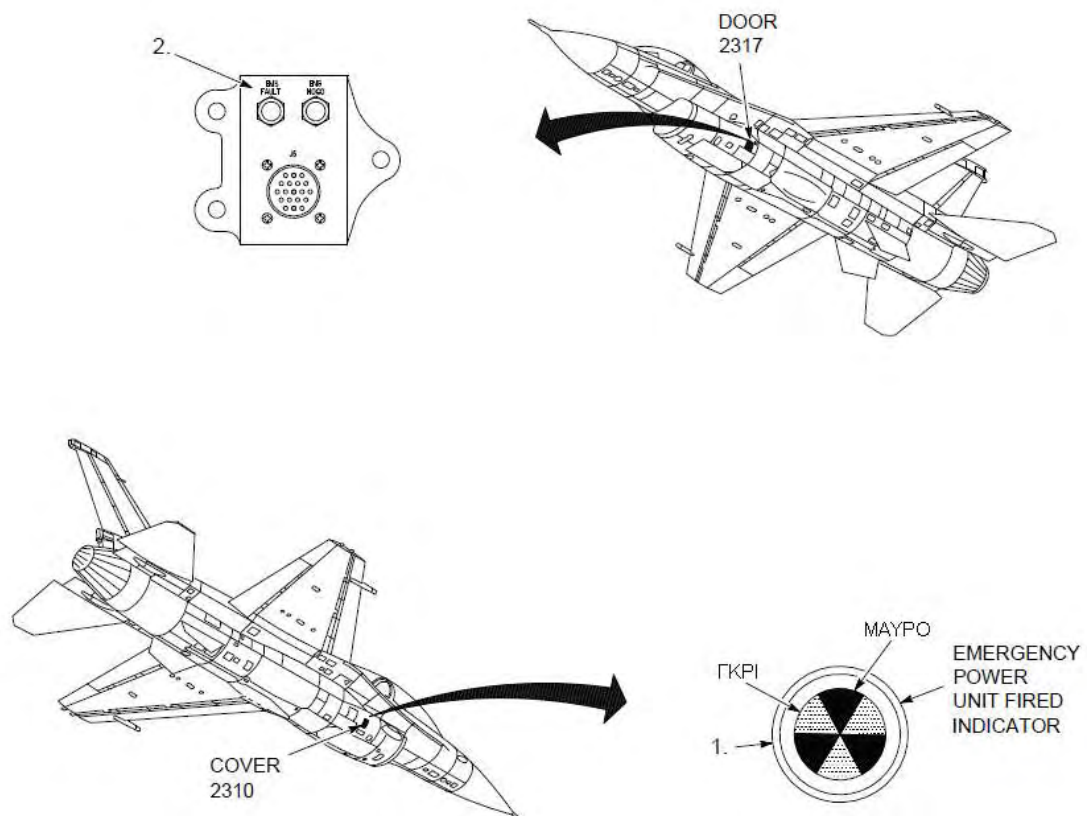
Βεβαιώσου ότι ο πύρος ασφαλείας του μηχανισμού επείγουσας ανάσχεσης έχει τοποθετηθεί από τα αριστερά προς τα δεξιά. Διαφορετική τοποθέτηση μπορεί να προκαλέσει ακούσια απελευθέρωση του συστήματος και/ή τραυματισμό προσωπικού ή θάνατο.

- Δ. Μηχανισμός επείγουσας ανάσχεσης (arresting gear)-15''δ.ε/7''μτβ.
- Ε. Μονάδα έκτακτης παροχής ισχύος (emergency power unit)-15''δ.ε/2''μτβ.



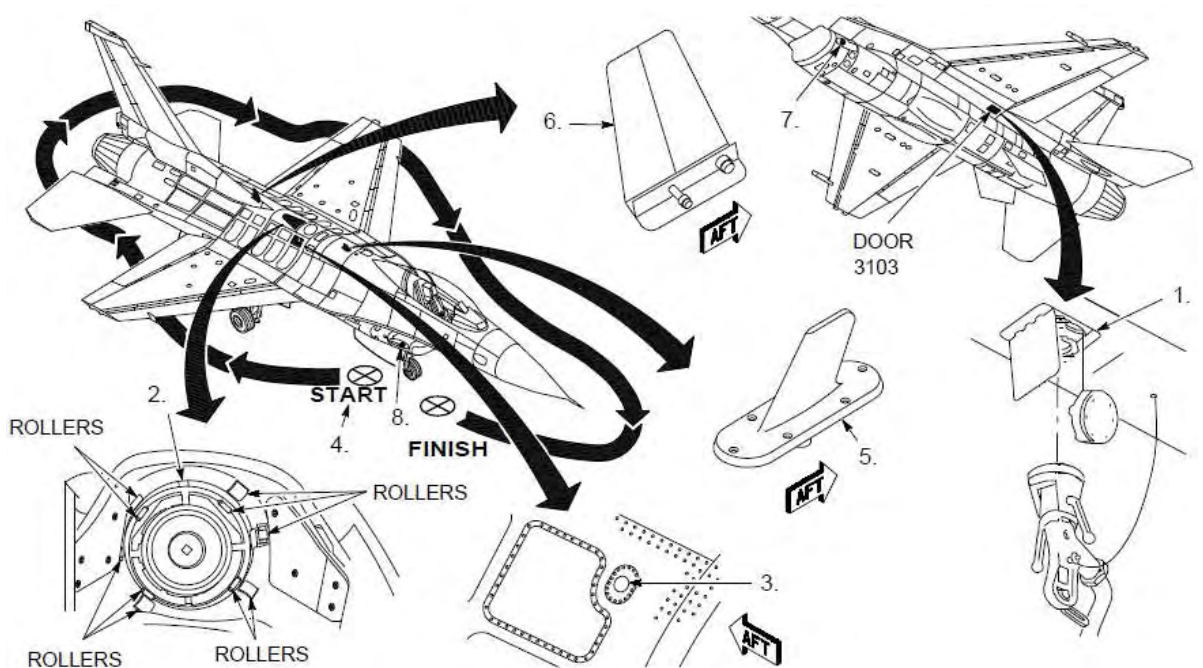
Σχήμα 2-11: 2^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε τον ενδείκτη ενεργοποίησης της μονάδος έκτακτης παροχής ισχύος (emergency power unit fired indicator) (θυρίδα 2310)-60''δ.ε/5''μτβ.
2. Έλεγε την ένδειξη βλάβης του υπολογιστή του κινητήρα (θυρίδα 2317)-30''δ.ε/4''μτβ.



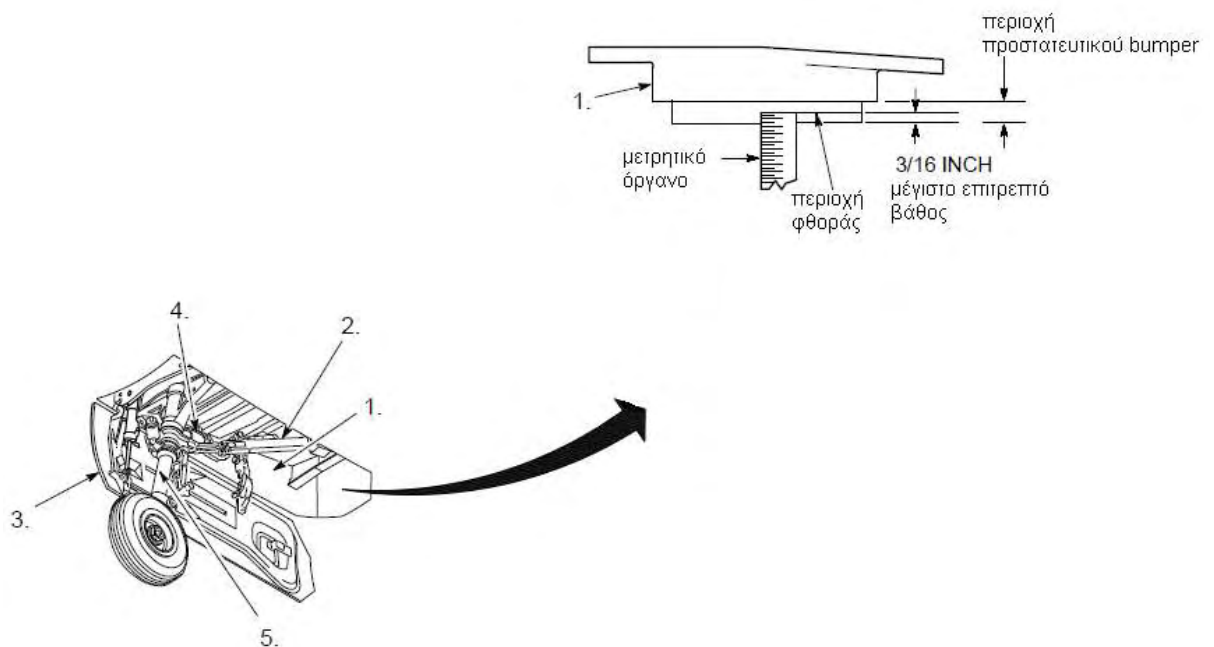
Σχήμα 2-12: 3^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Ανεφοδιάσε με καύσιμο το αεροσκάφος (θυρίδα 3103)-600''δ.ε/19''μτβ.
2. Έλεγξε την υποδοχή εναέριου ανεφοδιασμού για φθορές ή στοιχεία διαρροής και τους κυλίνδρους (rollers) για ελευθερία κίνησης-30''δ.ε/2''μτβ.
3. Έλεγξε την βαλβίδα αποτόνωσης αρνητικής πίεσης για κλειστή θέση-6''δ.ε/8''μτβ.
4. Πραγματοποίησε γρήγορο οπτικό έλεγχο περιμετρικά και πάνω στο αεροσκάφος για τυχόν στοιχεία διαρροής ή χτυπήματα (walkaround)-120''δ.ε/10''μτβ.
5. Έλεγξε την άνω κεραία TACAN για χτυπήματα ή ρωγμές-12''δ.ε/2''μτβ.
6. Έλεγξε την άνω κεραία εμπροσθεν του καθέτου σταθερού τμήματος για χτυπήματα ή ρωγμές-12''δ.ε/10''μτβ.
7. Έλεγξε το φώς ναυτιλίας αριστερά του αεραγωγού για φθορές-6''δ.ε/5''μτβ.
8. Έλεγξε το φώς ναυτιλίας δεξιά του αεραγωγού για φθορές-6''δ.ε/4''μτβ.



Σχήμα 2-13: 4^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε τον χώρο-κέλυφος του ρηναίου συστήματος προσγείωσης για φθορές. Μέτρησε το βάθος του προστατευτικού επαφής τροχού και σκάφους (bumper pad). Μέγιστο επιτρεπτό βάθος $3/16''$ - $12''$ δ.ε/ $1''$ μτβ.
2. Έλεγε το σύστημα drag brace για φθορές- $30''$ δ.ε/ $1''$ μτβ.
3. Έλεγε τη πόρτα-θυρίδα του ρηναίου σκέλους προσγείωσης για χτυπήματα- $12''$ δ.ε/ $1''$ μτβ.
4. Έλεγε τον μηχανισμό κίνησης (έκταση-ανάσυρση) του ρηναίου συστήματος προσγείωσης για διαρροές ή φθορές. Κοπήλιες και παξιμάδια τοποθετημένα- $30''$ δ.ε/ $1''$ μτβ.
5. Έλεγε το σύστημα shock strut για χτυπήματα και φθορές- $30''$ δ.ε/ $1''$ μτβ.



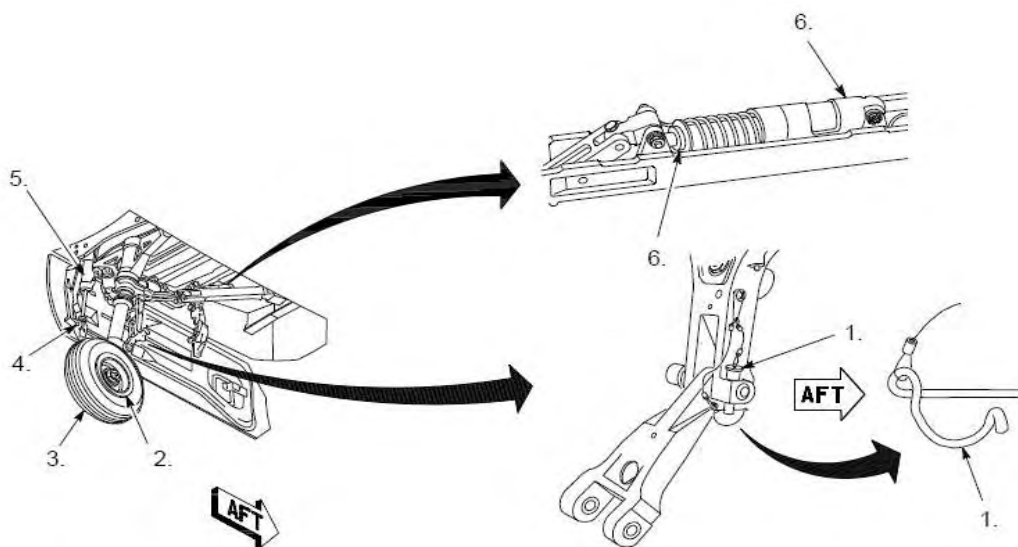
Σχήμα 2-14: 5^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγχε τον βραχίονα torque arm (ψαλίδα) για σωστή θέση. Τοποθετημένος ο πύρος και ασφαλισμένος-**6''δ.ε/1''μτβ.**

Προσοχή

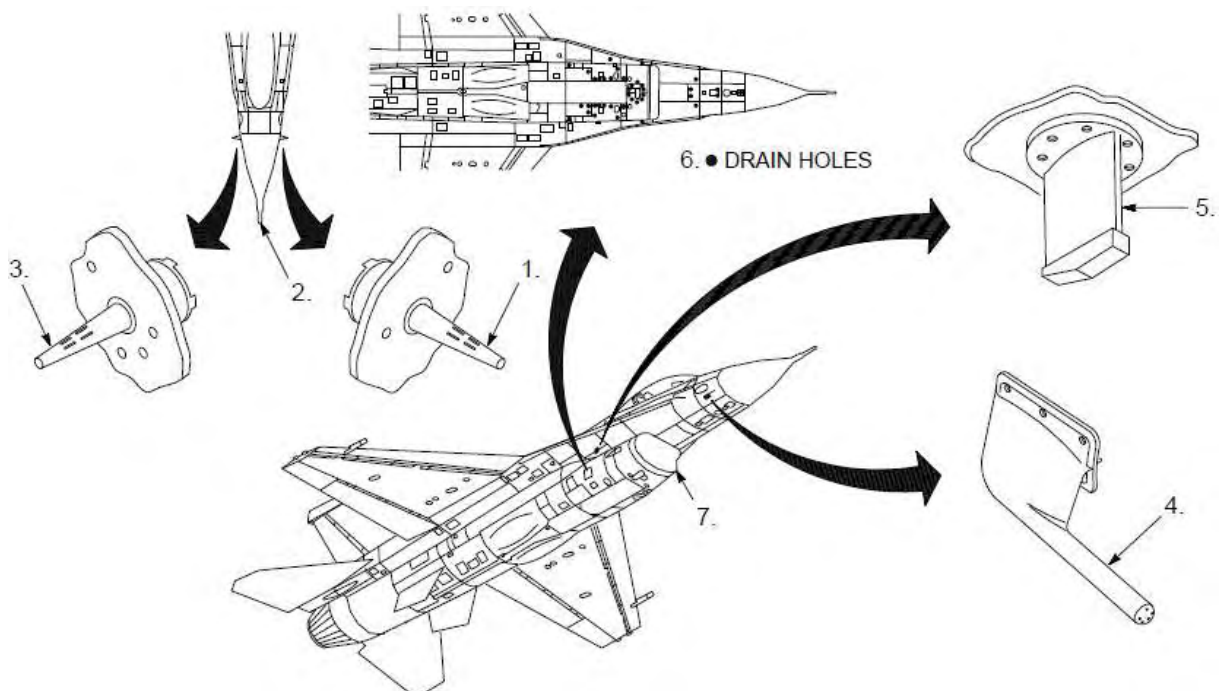
Πιθανή αμυχή-γρατζουνιά χρώματος στον τροχό εξαιτίας του bumper pad δεν αποτελεί ζημιά ή επισφαλή κατάσταση του συστήματος.

2. Έλεγχε τον ρηναίο τροχό για φθορές ή χτυπήματα-**12''δ.ε/0,5''μτβ.**
3. Έλεγχε το ελαστικό του ρηναίου τροχού για κοψίματα, εξογκώματα, φθορά ή εμφάνιση ανεπίτρεπτου ορίου λινών-**12''δ.ε/1''μτβ.**
4. Έλεγχε το πύρο πρόσδεσης στο άκρο του μηχανισμού κίνησης (έκταση-ανάσυρση) της πόρτας του ρηναίου σκέλους προσγείωσης με τη πόρτα-**6''δ.ε/1''μτβ.**
5. Έλεγχε τον μηχανισμό κίνησης (έκταση-ανάσυρση) της πόρτας του ρηναίου σκέλους προσγείωσης-**6''δ.ε/1''μτβ.**
6. Έλεγχε τον μηχανισμό κίνησης (έκταση-ανάσυρση) του κλειδώματος (ασφάλισης) του ρηναίου σκέλους προσγείωσης για φθορές, διαρροές, ρωγμές ή στοιχεία διάβρωσης-**6''δ.ε/3''μτβ.**



Σχήμα 2-15: 6^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε τον αριστερό αισθητήρα γωνίας προσβολής για φθορές και ελευθερία κίνησης-12''δ.ε/2''μτβ.
2. Έλεγε τον σωλήνα μέτρησης στατικής πίεσης για φθορές ή χτυπήματα-6''δ.ε/2''μτβ.
3. Έλεγε τον δεξί αισθητήρα γωνίας προσβολής για φθορές και ελευθερία κίνησης-12''δ.ε/2''μτβ.
4. Έλεγε τον σωλήνα μέτρησης δεδομένων αέρα για φθορές-6''δ.ε/1,5''μτβ.
5. Έλεγε τον σωλήνα μέτρησης θερμοκρασίας (total temperature probe) για ζημιές ή χτυπήματα-6''δ.ε/3''μτβ.
6. Έλεγε τις οπές αποστράγγισης (drain holes) στο κάτω μέρος της απράκτου.
Πιθανότητα προεξοχής πριτσινιών-6''δ.ε/1,5''μτβ.
7. Έλεγε την περιοχή του αεραγωγού για διαρροές, φθορές ή εγκοπές στο χείλος-30''δ.ε/14''μτβ.

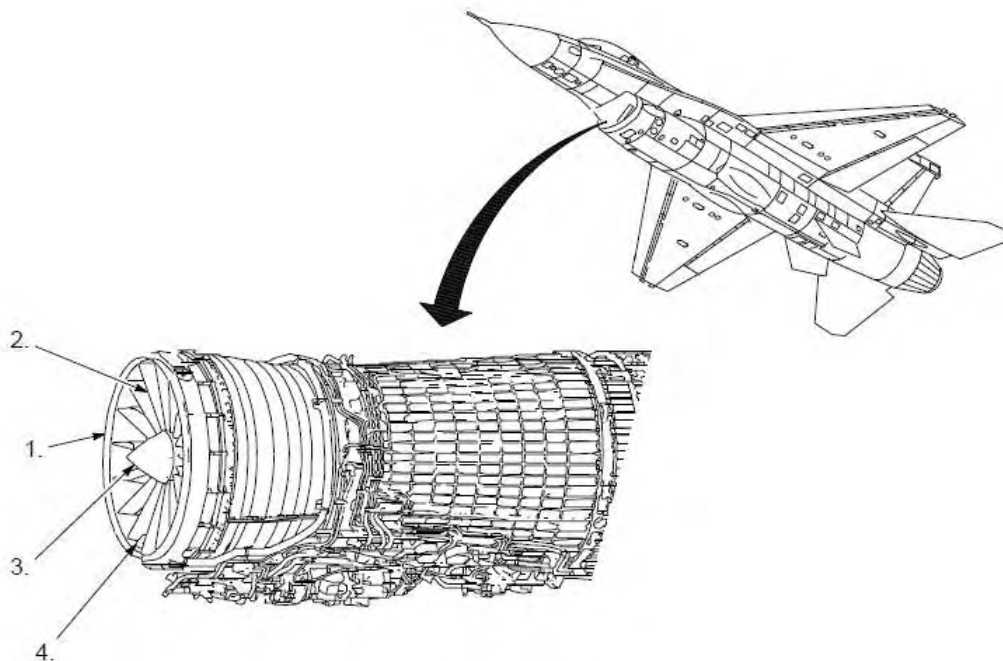


Σχήμα 2-16: 7^η διαδικασία επιθεώρησης

Προειδοποίηση

Απέφυγε επαφή με τον σωλήνα ανίχνευσης πάγου (ice detector) ο οποίος βρίσκεται 3 πόδια εμπροσθεν του κινητήρα. Οποιαδήποτε επαφή μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό προσωπικού και φθορά εξοπλισμού.

1. Έλεγξε το εμπροσθεν πλαίσιο του κινητήρα (front frame) για ρωγμές, οργανική ύλη (ίχνη χτυπήματος με ζωντανούς οργανισμούς) ή στρεβλωμένα σταθερά-δομικά πτερύγια-300''δ.ε/0,5''μτβ.
2. Έλεγξε τα οδηγία πτερύγια του πλαισίου για ρωγμές, οργανική ύλη ή χτυπήματα-90''δ.ε/0,5''μτβ.
3. Έλεγξε τον σταθερό κεντρικό κώνο για χτυπήματα, οργανική ύλη ή εγκοπές-30''δ.ε/0,5''μτβ.
4. Έλεγξε τον αισθητήρα T2 για ρωγμές, χτυπήματα ή ίχνη οργανικής ύλης-30''δ.ε/0,5''μτβ.



Σχήμα 2-17: 8^η διαδικασία επιθεώρησης

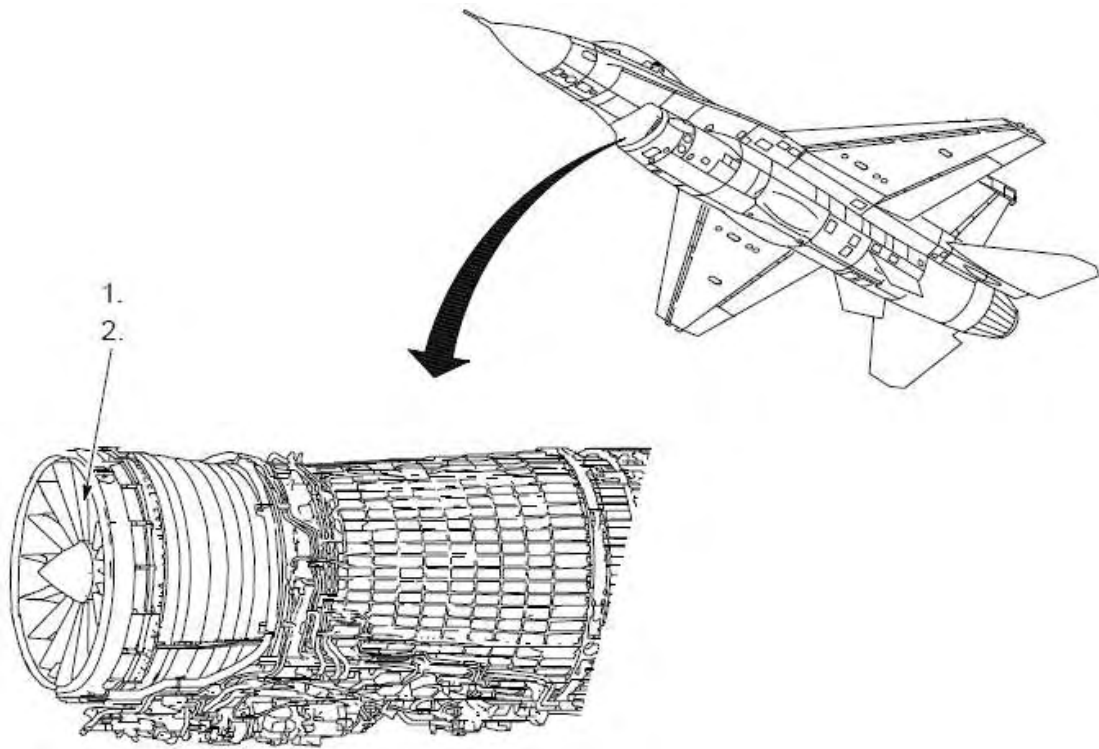
Προειδοποίηση

Μη ανιχνεύσιμη φθορά στη πρώτη βαθμίδα πτερυγίων του συμπιεστή μπορεί να προκαλέσει καταστροφή σε εξοπλισμό ή τραυματισμό προσωπικού.

Προσοχή

Απαιτείται χρήση ειδικού καθρέφτη επιθεώρησης και φακού κατά την επιθεώρηση του κοίλου τμήματος του χείλους προσβολής και ημικεπετάσματος των πτερυγίων της πρώτης βαθμίδας του συμπιεστή.

1. Έλεγε την πρώτη βαθμίδα κινητών πτερυγίων του συμπιεστή για ελευθερία κίνησης, χτυπήματα, ρωγμές ή απώλεια τμημάτων-360°δ.ε/0,5'μτβ.
2. Έλεγε την πρώτη βαθμίδα σταθερών πτερυγίων του συμπιεστή για ρωγμές ή στρεβλώσεις-120°δ.ε/8'μτβ.

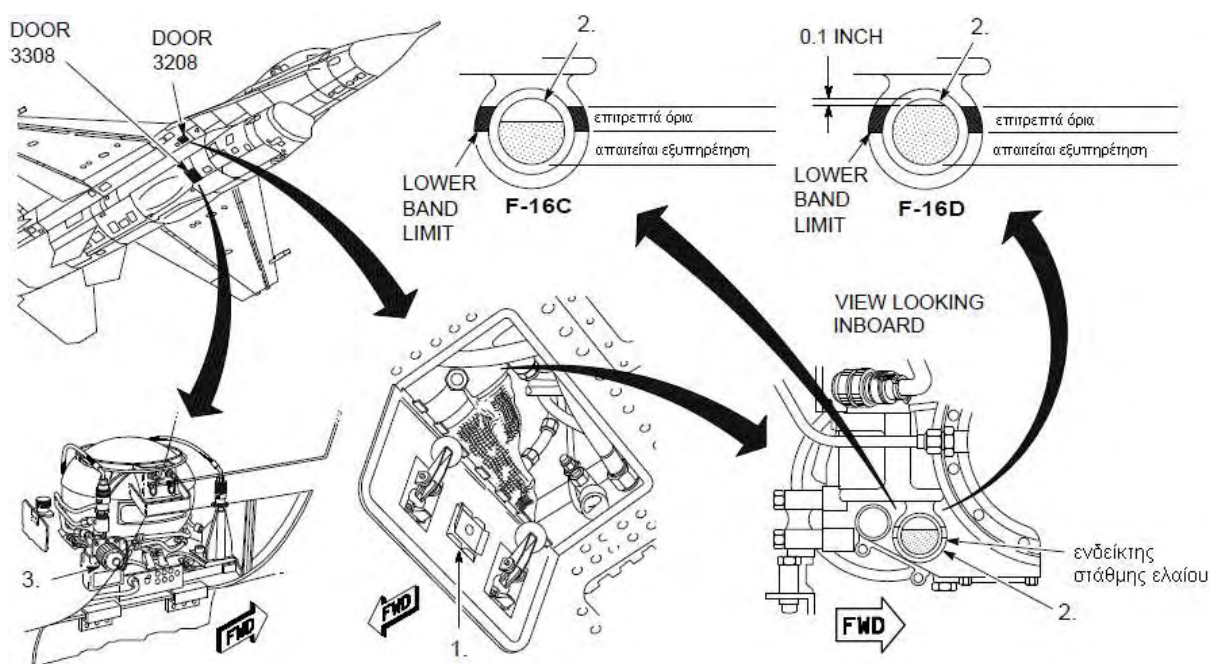


Σχήμα 2-18: 9^η διαδικασία επιθεώρησης

Προειδοποίηση

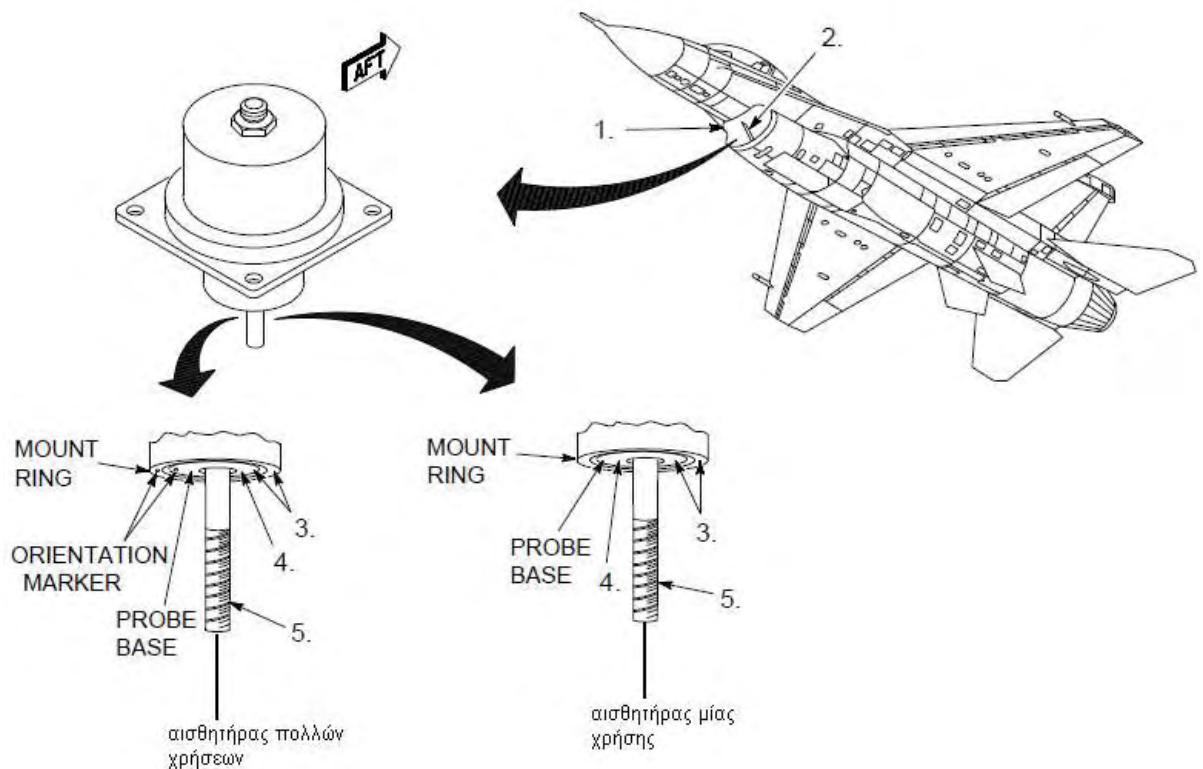
Η υδραζίνη είναι μια τοξικά υψηλή χημική ένωση η οποία μπορεί να προκαλέσει σοβαρό τραυματισμό σε προσωπικό. Εάν εντοπισθεί διαρροή υδραζίνης, απομάκρυνε άμεσα το προσωπικό από τον χώρο έως ότου επιβεβαιωθεί ότι η περιοχή είναι ασφαλής.

1. Έλεγξε τον ενδείκτη διαρροής υδραζίνης για ενεργοποίηση (από πορτοκαλί μεταβάλλεται σε μωβ ή μαύρο) (θυρίδα 3208)-6''δ.ε/2''μτβ.
2. Έλεγξε την στάθμη ελαίου του συστήματος έκτακτης παροχής ισχύος (EPU) να βρίσκεται μέσα στα επιτρεπτά όρια (μονοθέσιο F-16C, lower band limit λίγο πάνω από την κάτω κίτρινη γραμμή ενώ διθέσιο F-16D, lower band limit λίγο πάνω από την άνω κίτρινη γραμμή) (θυρίδα 3208)-6''δ.ε/3''μτβ.
3. Επανεξυπηρέτησε την δεξαμενή υγρού οξυγόνου (μετατρέπεται σε αέριο) εάν απαιτείται. Έλεγξε την ημερομηνία καθαρισμού του συστήματος (θυρίδα 3308)-θεωρώ ότι πραγματοποιείται μετά το πέρας της επιθεώρησης εάν απαιτείται.



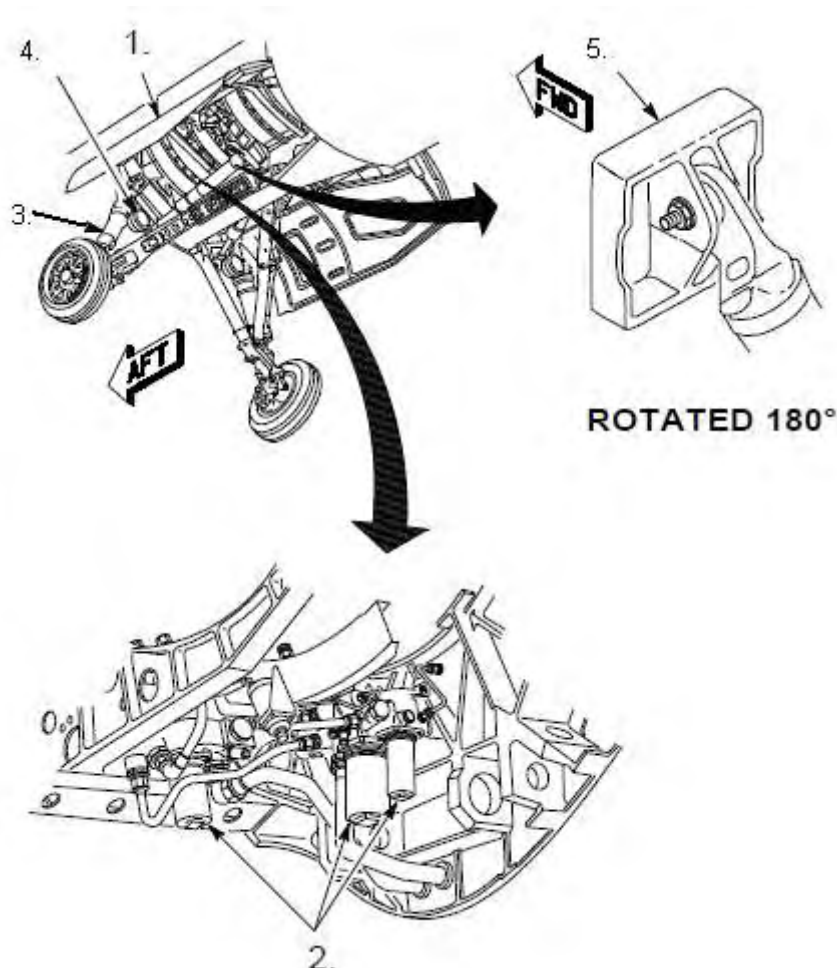
Σχήμα 2-19: 10^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγχε τον αεραγωγό για ξένα αντικείμενα και χαλαρές βίδες ή απώλεια αυτών-60''δ.ε/1''μτβ.
2. Έλεγχε το κάθετο δομικό στοιχείο εξομάλυνσης ροής και αντιμετώπισης πάγου για χτυπήματα ή ρωγμές-6''δ.ε/10''μτβ.
3. Έλεγχε τον αισθητήρα πάγου για ελευθερία κίνησης κατά τον κάθετο άξονα-60''δ.ε/0,5''μτβ.
4. Έλεγχε την βάση του αισθητήρα (probe base) να εφάπτεται με τον άνω δακτύλιο (mount ring). Προσοχή στο σημείο προσαρμογής (orientation marker) το οποίο φέρει μόνον ο αισθητήρας πολλών χρήσεων (resettable)-60''δ.ε/0,5''μτβ.
5. Έλεγχε την πίσω επιφάνεια του αισθητήρα για σπασμένο σύρμα ή απώλεια αυτού-60''δ.ε/12''μτβ.



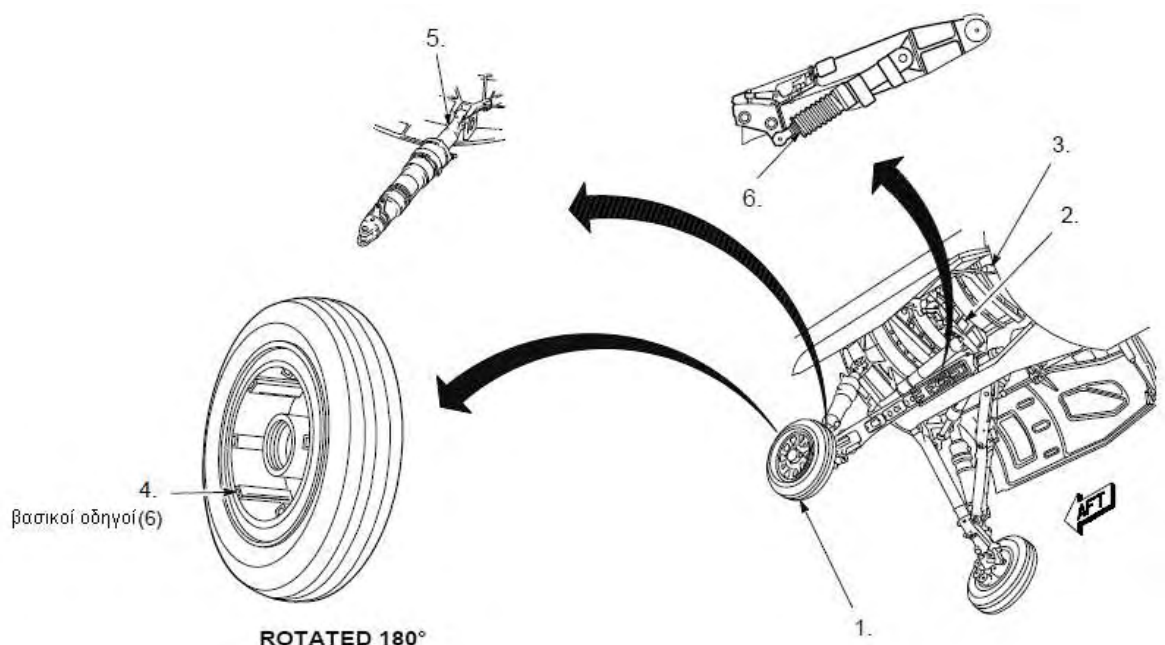
Σχήμα 2-20: 11^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγξε την πόρτα-θυρίδα του δεξιού σκέλους προσγείωσης για χτυπήματα ή φθορές-6''δ.ε/2''μτβ.
2. Έλεγξε τα 3 φίλτρακια υδραυλικής πίεσης για επίπεδη θέση στον χώρο του δεξιού σκέλους προσγείωσης-18''δ.ε/1''μτβ.
3. Έλεγξε το σύστημα shock strut για χτυπήματα και φθορές-36''δ.ε/1''μτβ.
4. Έλεγξε τον προβολέα τροχοδρόμησης για φθορές-18''δ.ε/1''μτβ.
5. Έλεγξε το πλαίσιο στήριξης του μηχανισμού κίνησης (έκταση-ανάσυρση) του δεξιού σκέλους προσγείωσης για ρωγμές ή φθορές-120''δ.ε/2,5''μτβ.



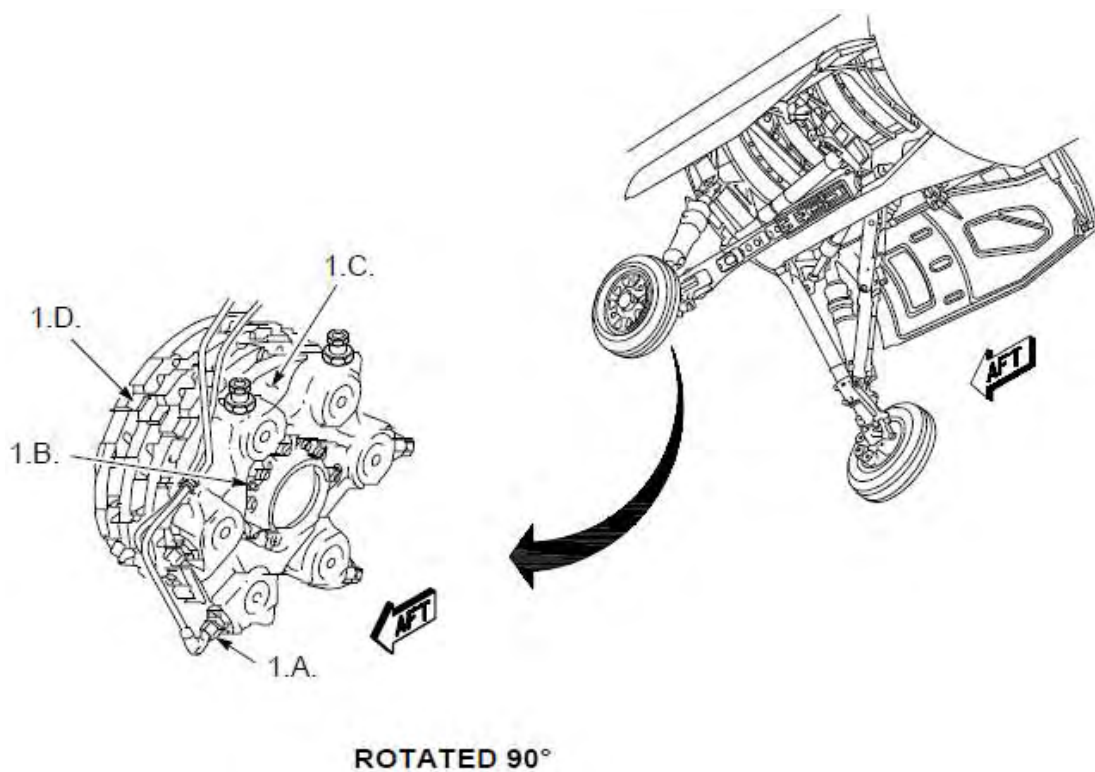
Σχήμα 2-21: 12^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε το ελαστικό του δεξιού τροχού για κοψίματα, εξογκώματα, φθορά ή εμφάνιση ανεπίτρεπτου ορίου λινών-12''δ.ε/2,5''μτβ.
2. Έλεγε τον χώρο-κέλυφος του δεξιού συστήματος προσγείωσης για φθορές-12''δ.ε/1''μτβ.
3. Έλεγε τον μηχανισμό κίνησης (έκταση-ανάσυρση) της πόρτας του δεξιού σκέλους προσγείωσης-6''δ.ε/2,5''μτβ.
4. Έλεγε τον δεξιό τροχό για φθορές ή χτυπήματα. Βεβαιώσου για την καλή κατάσταση των 6 οδηγών του συστήματος πέδησης του τροχού (brake drive keys)-60''δ.ε/2,5''μτβ.
5. Έλεγε το σύστημα shock strut για χτυπήματα, φθορές και απαιτούμενα παρελκόμενα-18''δ.ε/1''μτβ.
6. Έλεγε τον μηχανισμό κίνησης (έκταση-ανάσυρση) του κλειδώματος (ασφάλισης) του δεξιού σκέλους προσγείωσης για φθορές, διαρροές, ρωγμές ή στοιχεία διάβρωσης-6''δ.ε/1''μτβ.



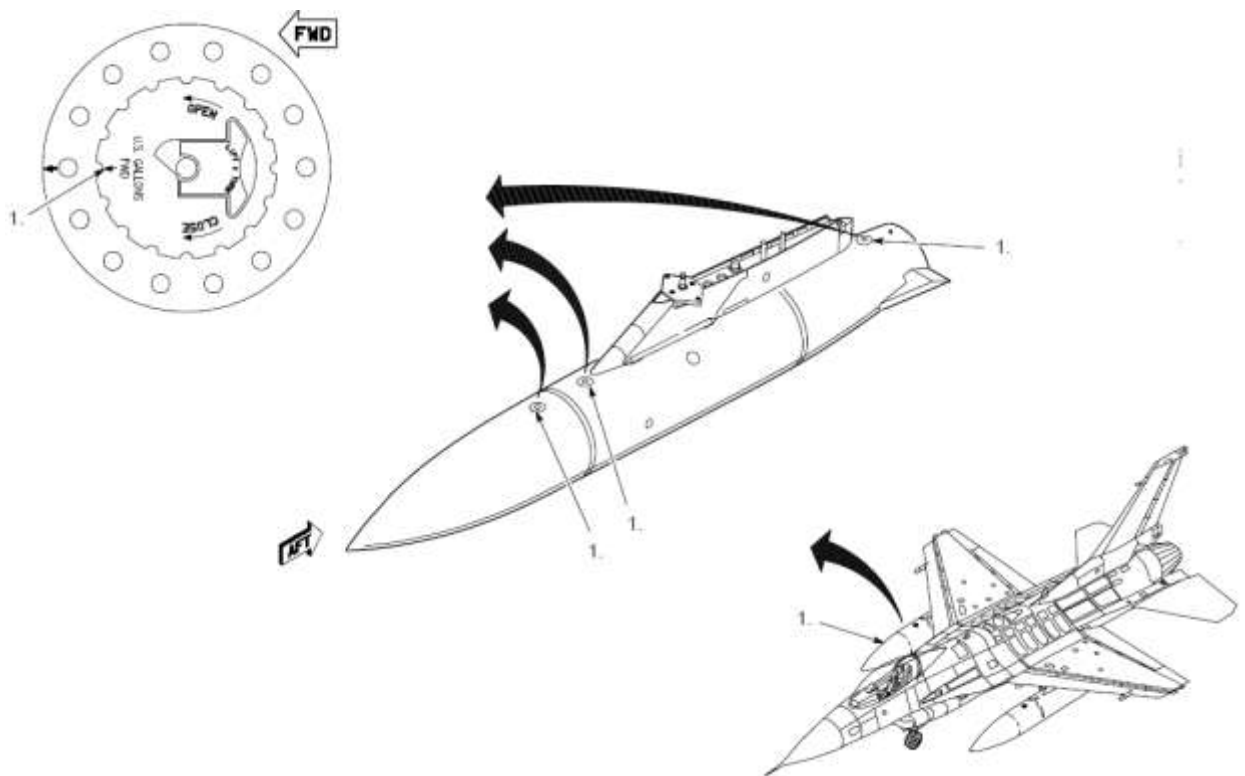
Σχήμα 2-22: 13^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγξε το δεξί σύστημα πέδησης για:
- A. Στοιχεία διαρροής μέσα και έξω από τον χώρο του εμβόλου πέδησης-
15''δ.ε/1''μτβ.
 - B. Επιτρεπτό μήκος του ειδικού ενδείκτη πέδησης (wear indicator)-
15''δ.ε/1''μτβ.
 - Γ. Εμφανή διαχωρισμό του ειδικού στρώματος πέδησης-15''δ.ε/1''μτβ.
 - Δ. Εμφανή φθορά στα κανάλια των πλακών-15''δ.ε/4''μτβ.



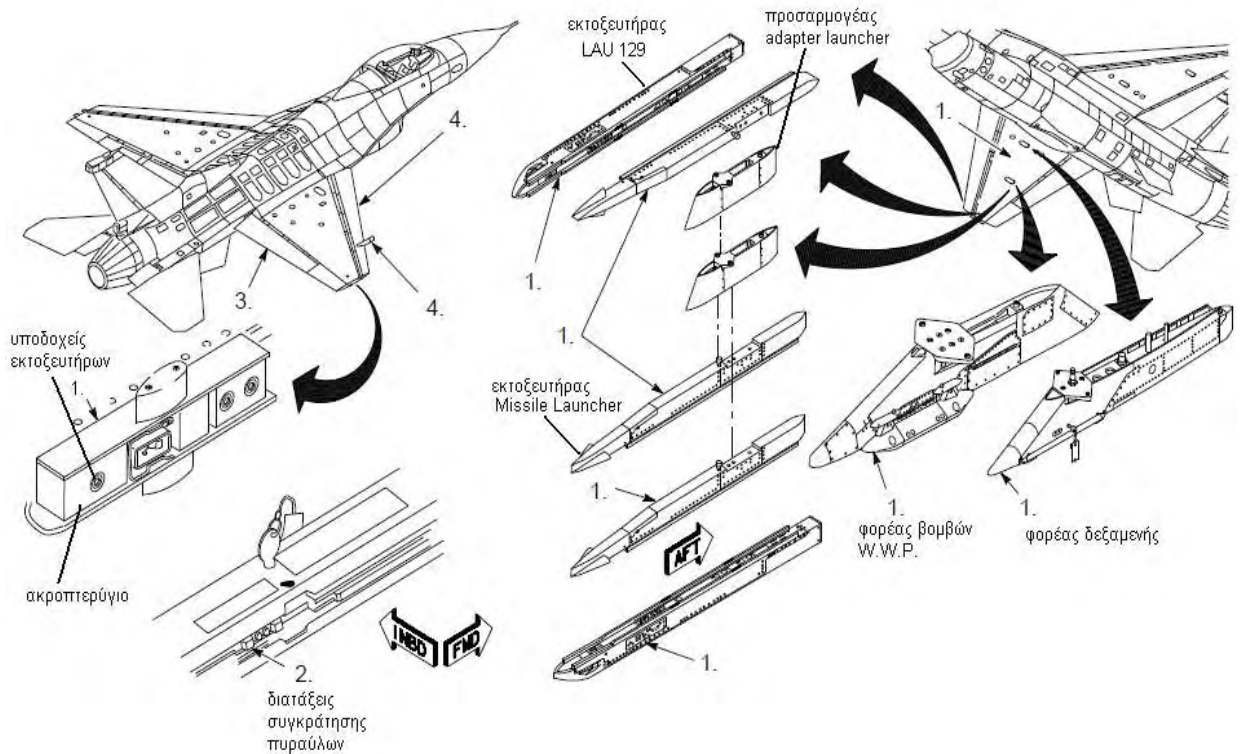
Σχήμα 2-23: 14^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγχε την δεξιά εξωτερική δεξαμενή για χτυπήματα, φθορές, διαρροές, καλή γενική κατάσταση και σωστή θέση τοποθέτησης των ταπών πλήρωσης με καύσιμο. Η πορεία του βέλους ταυτίζεται με την μπροστινή κατεύθυνση του αεροσκάφους-30''δ.ε/2''μτβ.



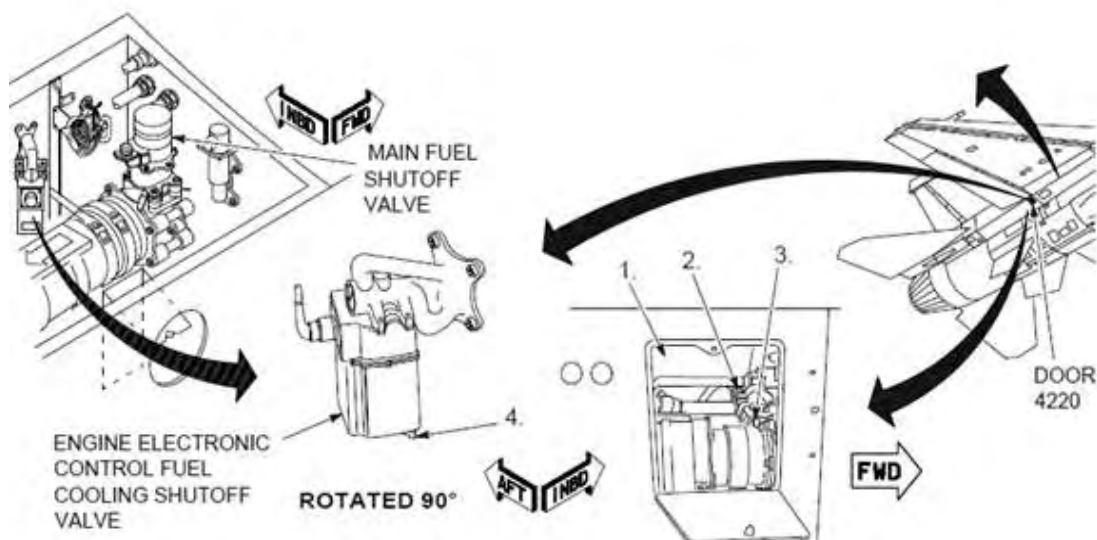
Σχήμα 2-24: 15^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε τα παρακάτω συστήματα για χτυπήματα, φορές και καλή γενική κατάσταση στη δεξιά πτέρυγα του αεροσκάφους: φορέα δεξαμενής (wing pylon), εκτοξευτήρα (missile launcher/LAU129) ή φορέα βομβών (wing weapon pylon), προσαρμογέα εκτοξευτήρος (adapter launcher) και εξοπλισμό ανάρτησης όπλων (weapons suspension equipment)-120''δ.ε/2''μτβ.
2. Τοποθέτησε σωστά τις διατάξεις συγκράτησης (φρένα) στους δεξιούς σταθμούς των πυράύλων-30''δ.ε/2,5''μτβ.
3. Έλεγε για χτυπήματα στο δεξί πηδάλιο, υπεύθυνο για τη ροπή διατοιχισμού (roll) του αεροσκάφους (flaperon)-18''δ.ε/2,2''μτβ.
4. Έλεγε για χτυπήματα και ρωγμές στο δεξί πηδάλιο χείλους προσβολής (leading edge flap)-18''δ.ε/4''μτβ.



Σχήμα 2-25: 16^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγξε την δεξιά θυρίδα του flaperon για διαρροή καυσίμου (θυρίδα 4220)-
12''δ.ε/0,4''μτβ.
2. Έλεγξε την ηλεκτρική σύνδεση της κύριας βαλβίδας διακοπής καυσίμου
(main fuel shutoff valve) για καλή γενική κατάσταση (θυρίδα 4220)-
6''δ.ε/0,3''μτβ.
3. Βεβαιώσου ότι η παραπάνω βαλβίδα βρίσκεται σε ανοιχτή θέση (θυρίδα
4220). Ο μοχλός πρέπει να είναι τερματισμένος προς τα εξωτερικά του
αεροσκάφους-6''δ.ε/1''μτβ.
4. Βεβαιώσου ότι η βαλβίδα διακοπής ψύξης του ηλεκτρονικού ελέγχου
καυσίμου του κινητήρα (engine electronic control fuel cooling shutoff valve)
βρίσκεται σε ανοιχτή θέση (θυρίδα 4220)-6''δ.ε/3''μτβ.
5. Έλεγξε τις οπές αποστράγγισης (drain holes) στο κάτω μέρος της ατράκτου.
Πιθανότητα προεξοχής πριτσινιών-6''δ.ε/2,6''μτβ.



Σχήμα 2-26: 17^η διαδικασία επιθεώρησης

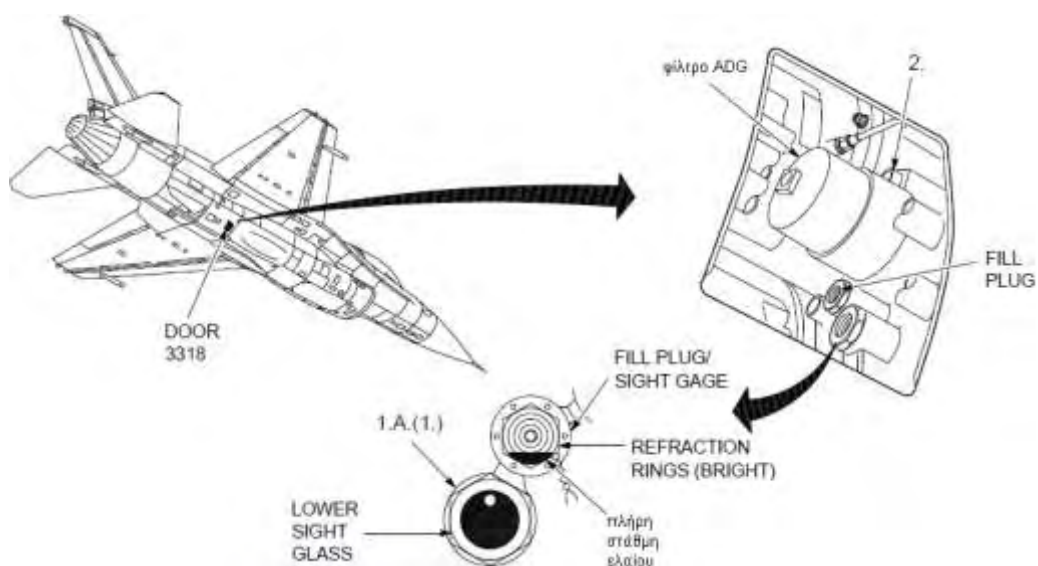
1. Εξυπηρέτησε όπως προβλέπεται το σύστημα accessory drive gearbox (ADG).
Περίμενε τουλάχιστον 30 λεπτά από την κράτηση του κινητήρα πριν ελέγξεις την στάθμη ελαίου του συστήματος-12’’δ.ε/1’’μτβ.

Προσοχή

Μια φουσαλίδα στην ένδειξη (τζαμάκι) του ADG (lower sight glass) δεν αποτελεί πρόβλημα κατά την εξυπηρέτηση του συστήματος, όσο η μπίλια που επιπλέει βρίσκεται στη κορυφή της ένδειξης και η στάθμη του ελαίου ακριβώς κάτω από την κορυφή.

Α. ένδειξη με δαχτυλίδια διάθλασης (refraction rings on upper fill plug) του ADG:

- (1). Το κάτω τζαμάκι-lower sight glass πρέπει να είναι καλυμμένο με λάδι ενώ τα δαχτυλίδια-refraction rings στο πάνω τζαμάκι-fill plug/sight cage πρέπει να είναι έντονα χρωματισμένα χωρίς να είναι ορατά ίχνη ελαίου μέσα σε αυτά (θυρίδα 3318).
2. Έλεγξε το φίλτρο ένδειξης διαφορικής πίεσης του ADG για σωστή θέση (θυρίδα 3318)-12’’δ.ε/1’’μτβ.

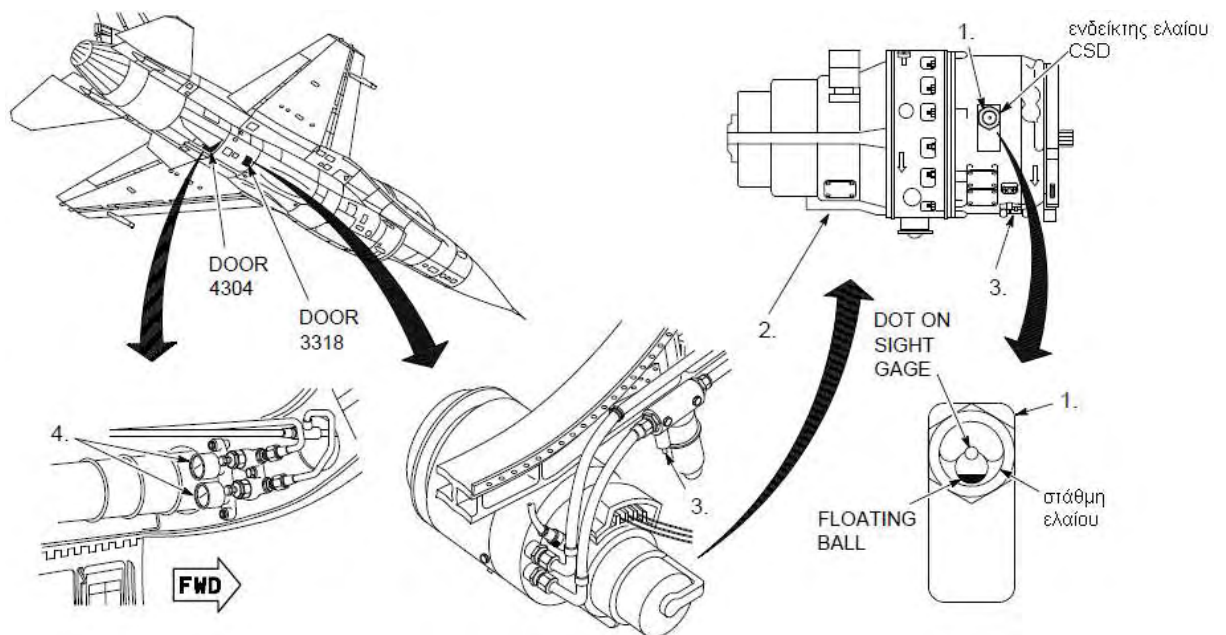


Σχήμα 2-27: 18'' διαδικασία επιθεώρησης

Προσοχή

Εάν το λάδι του ADG καλύπτει τελείως το κάτω τζαμάκι (sight glass), προσδιόρισε τη πιθανότητα υπερβολικής πλήρωσής του. Σε αυτή τη περίπτωση μπορεί να προκληθεί σοβαρή ζημιά στον εξοπλισμό.

1. Βεβαιώσου ότι η στάθμη ελαίου του συστήματος constant –speed drive (CSD) βρίσκεται λίγο κάτω από την τελεία στην ένδειξη (dot on sight cage) (θυρίδα 3318)-6''δ.ε/1''μτβ.
2. Έλεγξε το παρελκόμενο της κύριας γεννήτριας (main generator)/CSD για ίχνη διαρροής ελαίου (θυρίδα 3318)-6''δ.ε/0,5''μτβ.
3. Έλεγξε το φίλτρο του CSD και το φίλτρο διαφορικής πίεσης του παρελκομένου της κύριας γεννήτριας/CSD για σωστή θέση (θυρίδα 3318)-6''δ.ε/2,5''μτβ.
4. Έλεγξε τους συσσωρευτές του συστήματος jet fuel starter (JFS accumulators) για σωστή πίεση αζώτου (3000+-100 psi) (θυρίδα 4304)-12''δ.ε/2''μτβ.

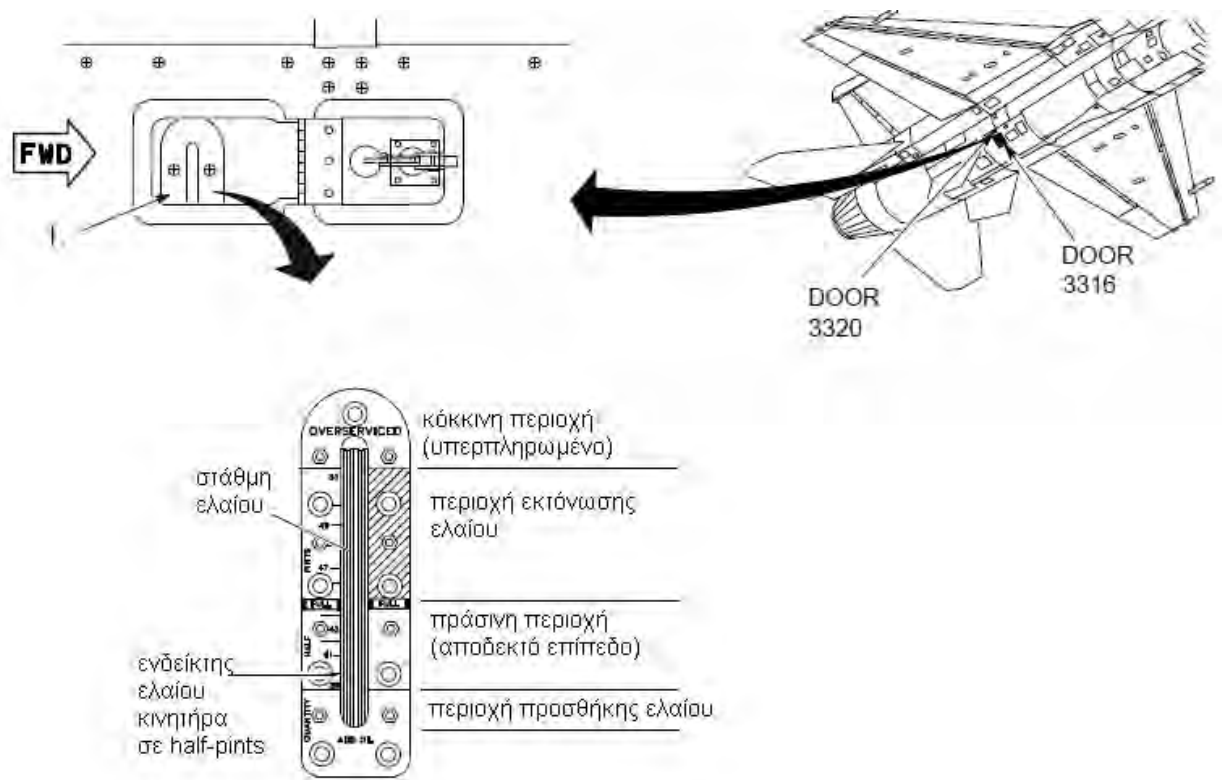


Σχήμα 2-28: 19^η διαδικασία επιθεώρησης

Προσοχή

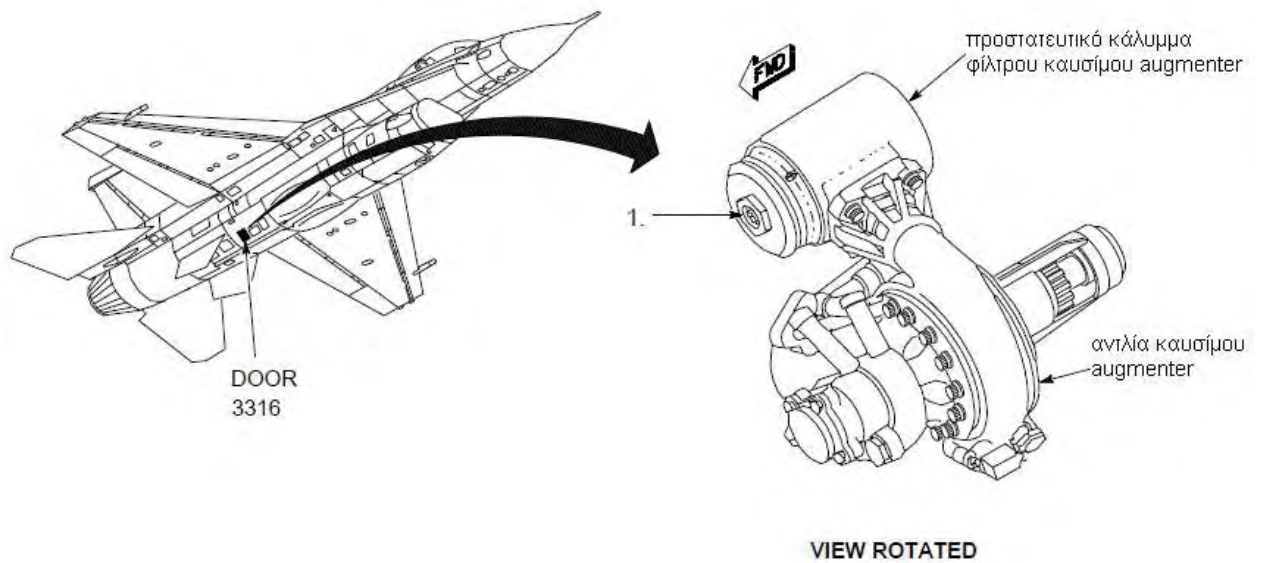
Η ένδειξη της στάθμης ελαίου είναι πιθανόν να συγκρατεί λάδι στο επίπεδο των 38 half-pints όταν το πραγματικό απόθεμα είναι χαμηλότερο. Η επανεξυπηρέτηση με λάδι πρέπει να λαμβάνει χώρα όποτε η ένδειξη πέσει κάτω από 39 half-pints. Παράβλεψη του παραπάνω μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον εξοπλισμό.

1. Έλεγε την στάθμη ελαίου να βρίσκεται μέσα στα προβλεπόμενα όρια και επαναξυπηρέτησε, μετά από 5 λεπτά από την κράτηση του κινητήρα και πριν την ολοκλήρωση 30 λεπτών από αυτή (θυρίδες 3316 και 3320). Παρακολούθησε την πορεία κατανάλωσης του ελαίου. Μέγιστη κατανάλωση για κάθε ώρα πτήσης ορίζονται τα 1,5 half-pints-6''δ.ε/2''μτβ.



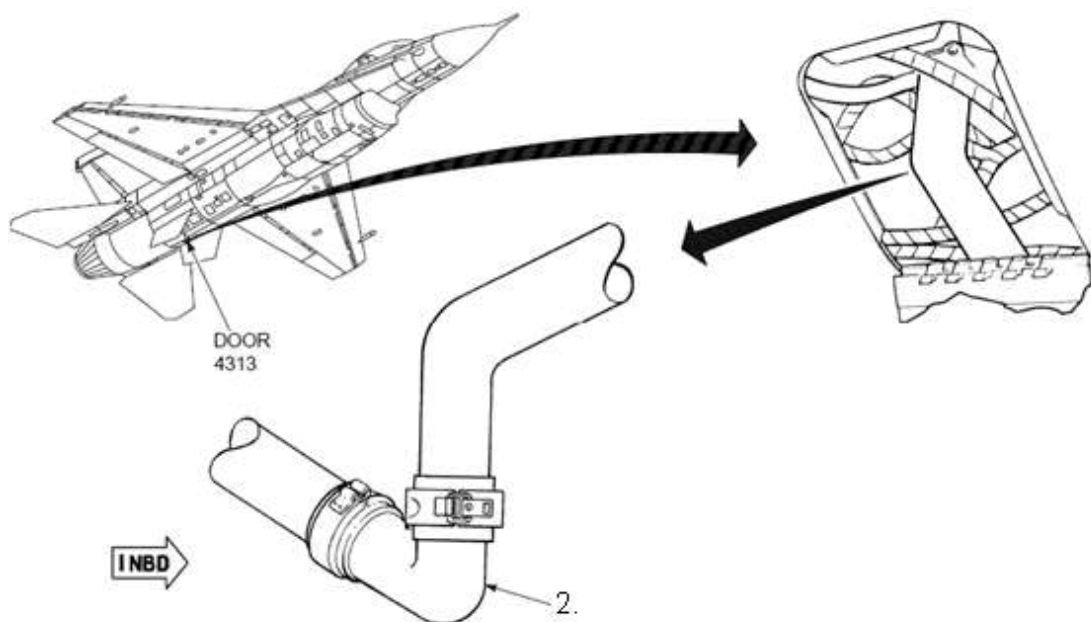
Σχήμα 2-29: 20^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε το φίλτρο καυσίμου του συστήματος augmenter (augmenter fuel filter impending bypass indicator) για σωστή θέση (θυρίδα 3316)-6''δ.ε/4''μτβ.



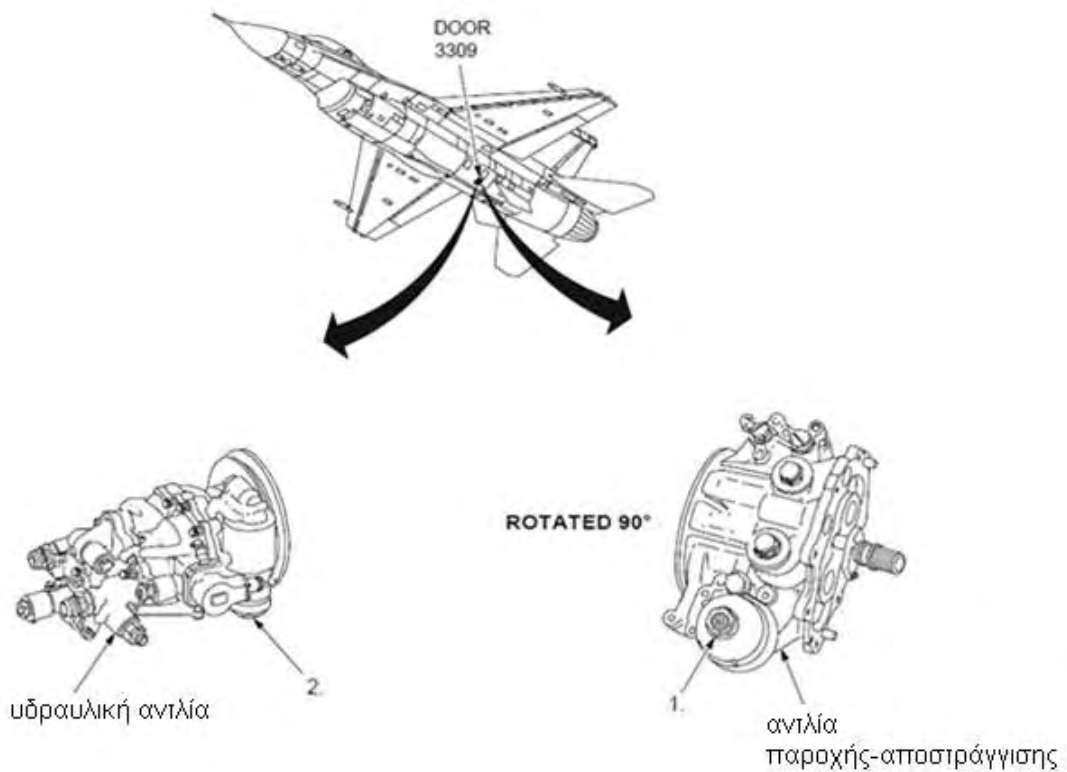
Σχήμα 2-30: 21^η διαδικασία επιθεώρησης

2. Έλεγε στον κάτω αγωγό ψύξης για ύπαρξη κομμένων ή κατεστραμμένων καλωδίων (θυρίδα 4313)-6''δ.ε/3,5''μτβ.



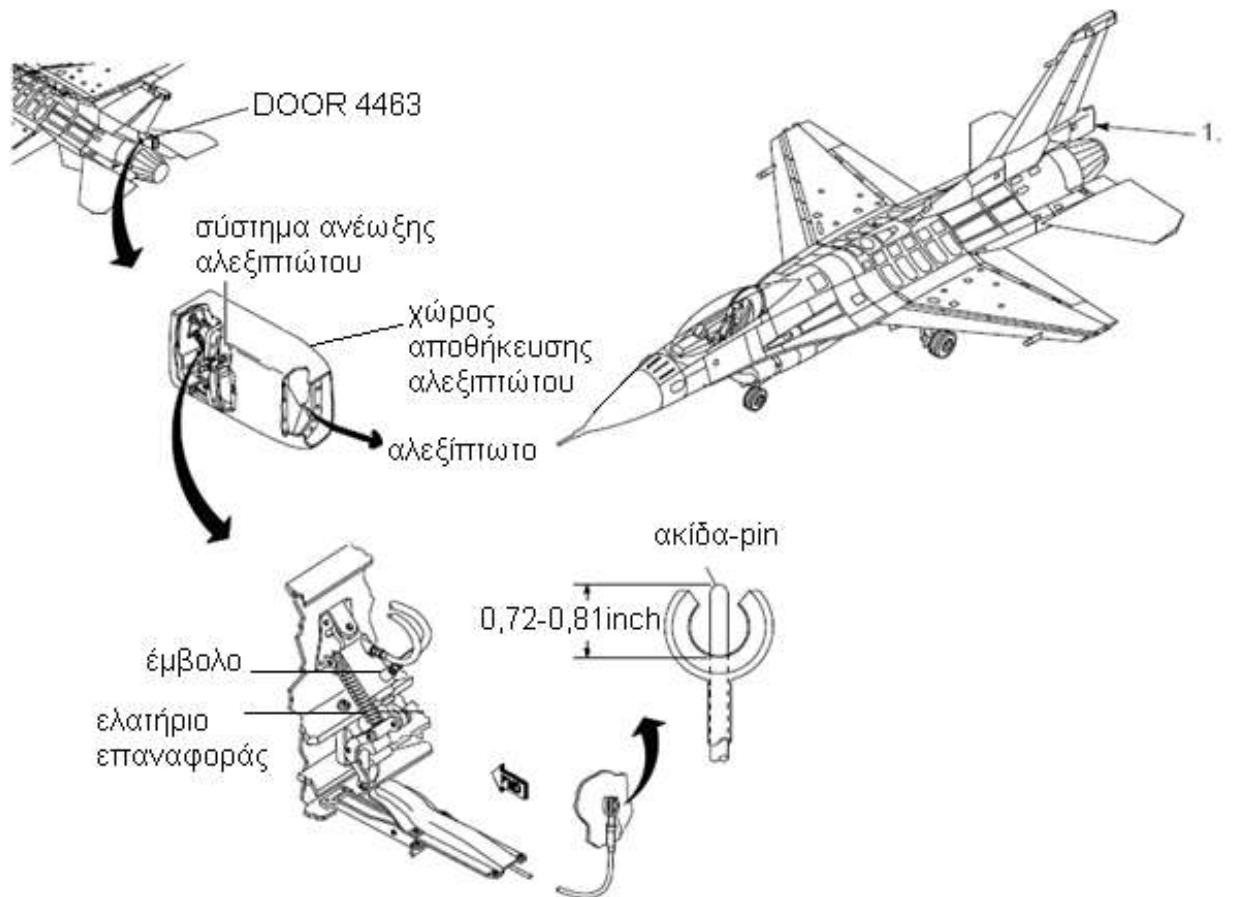
Σχήμα 2-31: 22^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε στο σύστημα λίπανσης του κινητήρα το φίλτρο της αντλίας παροχής και αποστράγγισης ελαίου (lube/scavenge pump) για σωστή θέση (θυρίδα 3309)-6''δ.ε/0,5''μτβ.
2. Έλεγε το φίλτρο της υδραυλικής αντλίας παροχής ελαίου για τη κίνηση του ακροφυσίου (hydraulic pump) για σωστή θέση (θυρίδα 3309)-6''δ.ε/5,5''μτβ.



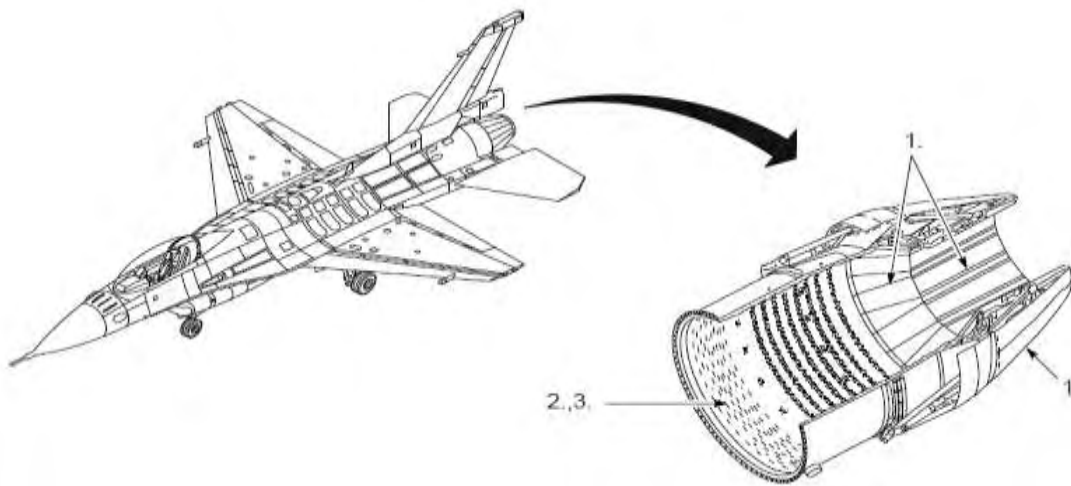
Σχήμα 2-32: 23^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Βεβαιώσου για την σωστή τοποθέτηση του αλεξιπτώτου οπισθελκούσης (drag chute) (θυρίδες 4463, 4464)-6''δ.ε/1''μτβ.



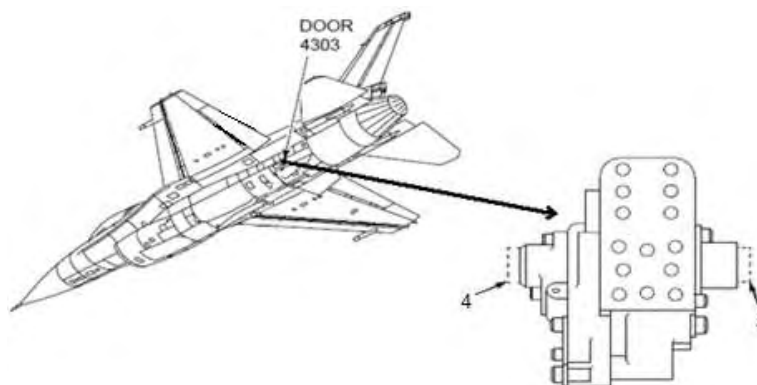
Σχήμα 2-33: 24^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε τα πρωτεύοντα, τα αποκλίνων και τα εξωτερικά περύγια του ακροφυσίου-εξαγωγή καυσαερίων (exhaust nozzle primary, divergent and outer flaps) για εμφανείς φθορές, ρωγμές και καταστροφή υλικού-30''δ.ε/15''μτβ.
2. Έλεγε το εσωτερικό και εξωτερικό τμήμα του ακροφυσίου (exhaust liner/duct) για εμφανείς παραμορφώσεις-30''δ.ε/0,5''μτβ.
3. Έλεγε εσωτερικά ολόκληρη τη περιοχή του ακροφυσίου για ύπαρξη ξένων αντικειμένων ή μετάλλων-60''δ.ε/13''μτβ.



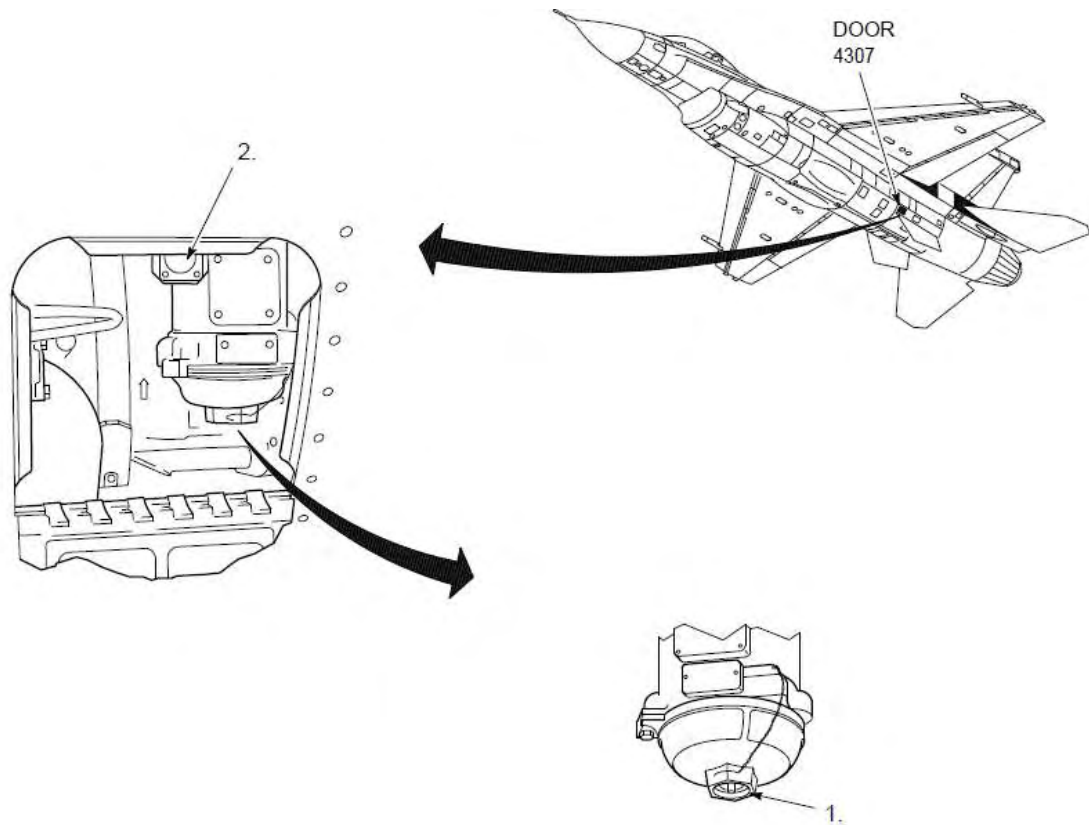
Σχήμα 2-34: 25^η διαδικασία επιθεώρησης

4. Έλεγε το σύστημα fan discharge temperature sensor του κύριου επεξεργαστή κινητήρα για σωστή ένδειξη (θυρίδα 4303)-12''δ.ε/2''μτβ.



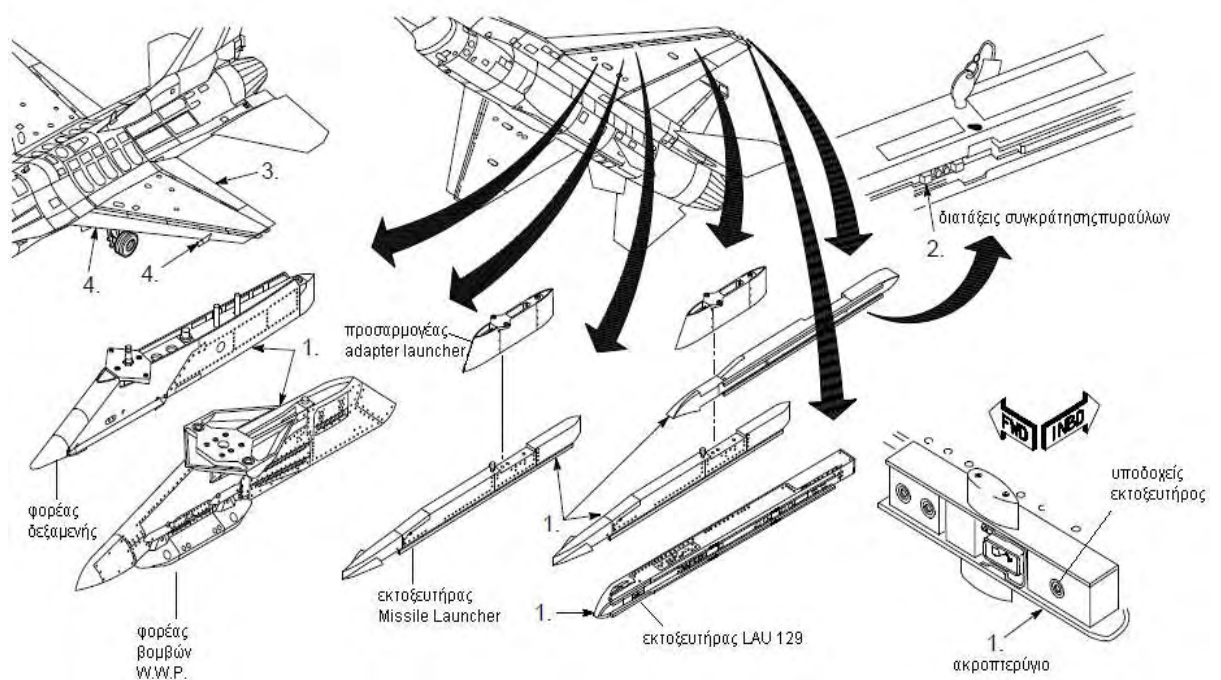
Σχήμα 2-35: 26^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγξε τον ενδείκτη impending της κύριας αντλίας καυσίμου για σωστή θέση
(θυρίδα 4307)-6''δ.ε/0,5'' μτβ.
2. Έλεγξε τον ενδείκτη actual της κύριας αντλίας καυσίμου για σωστή θέση
(θυρίδα 4307)-6''δ.ε/4'' μτβ.



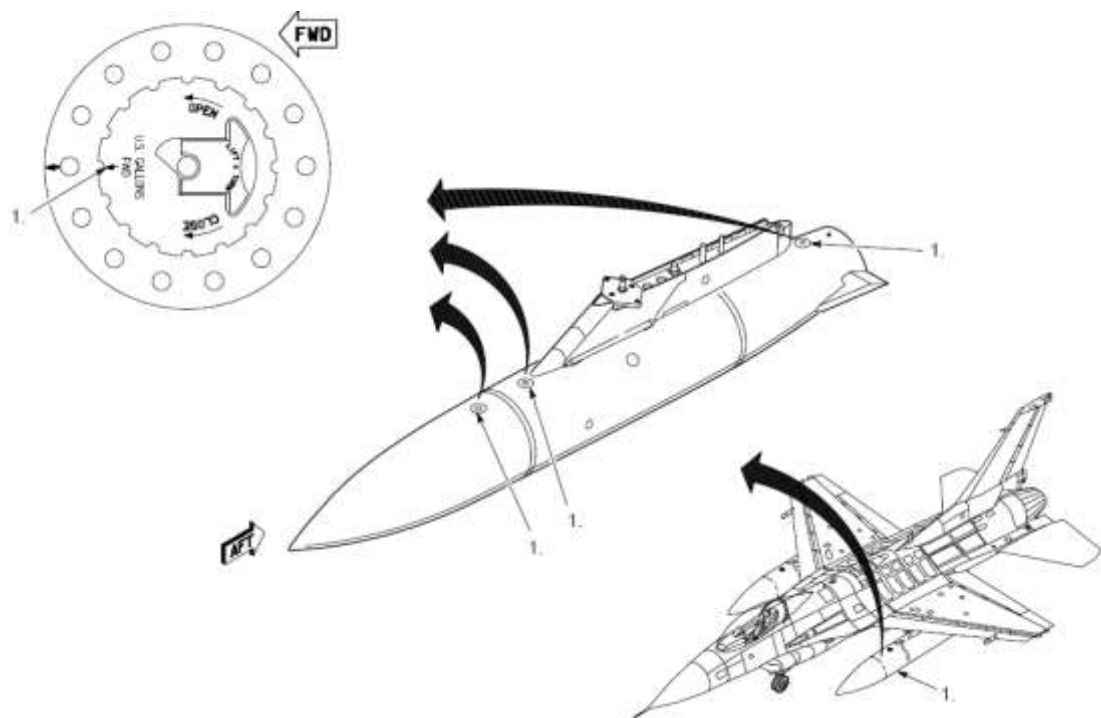
Σχήμα 2-36: 27^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε τα παρακάτω συστήματα για χτυπήματα, φορές και καλή γενική κατάσταση στην αριστερή πτέρυγα του αεροσκάφους: φορέα δεξαμενής (wing pylon), εκτοξευτήρα (missile launcher/LAU129) ή φορέα βομβών (wing weapon pylon), προσαρμογέα εκτοξευτήρος (adapter launcher) και εξοπλισμό ανάρτησης όπλων (weapons suspension equipment)-120''δ.ε/2''μτβ.
2. Τοποθέτησε σωστά τις διατάξεις συγκράτησης (φρένα) στους αριστερούς σταθμούς των πυραύλων-30''δ.ε/2,5''μτβ.
3. Έλεγε για χτυπήματα στο αριστερό πηδάλιο, υπεύθυνο για τη ροπή διατοιχισμού (roll) του αεροσκάφους (flaperon)-18''δ.ε/2,2''μτβ.
4. Έλεγε για χτυπήματα και ρωγμές στο αριστερό πηδάλιο (leading edge flap)-18''δ.ε/2''μτβ.



Σχήμα 2-37: 28^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε την δεξιά εξωτερική δεξαμενή για χτυπήματα, φθορές, διαρροές, καλή γενική κατάσταση και σωστή θέση τοποθέτησης των ταπών πλήρωσης με καύσιμο. Η πορεία του βέλους ταυτίζεται με την μπροστινή κατεύθυνση του αεροσκάφους-30''δ.ε/4''μτβ.



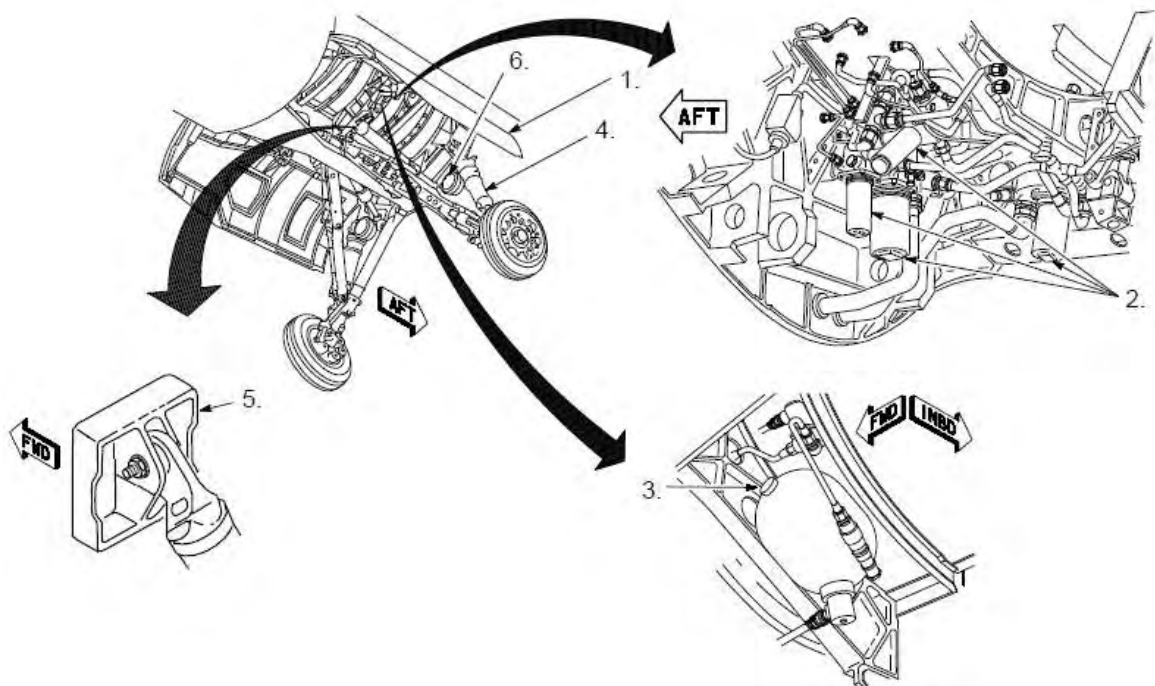
Σχήμα 2-38: 29^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγξε την πόρτα-θυρίδα του αριστερού σκέλους προσγείωσης για χτυπήματα ή φθορές-12''δ.ε/2,5''μτβ.
2. Έλεγξε τα 4 φιλτράκια υδραυλικής πίεσης για επίπεδη θέση στον χώρο του αριστερού σκέλους προσγείωσης-24''δ.ε/1''μτβ.

Προσοχή

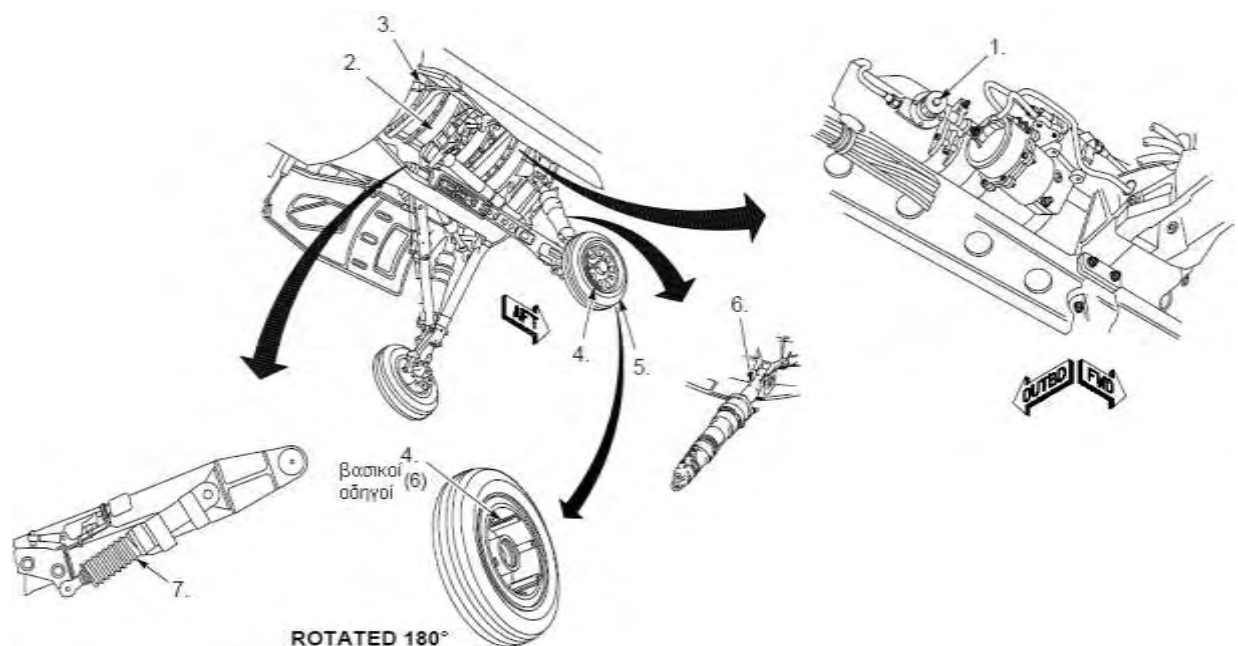
Το Halon 1301 είναι μία επιβλαβής χημική ένωση για το περιβάλλον και η δεξαμενή του θα πρέπει να επανεξυπηρετείται μόνο σε περιόδους πολεμικής κινητοποίησης σύμφωνα με τις διαταγές του εκάστοτε διοικητή.

3. Επανεξυπηρετήσε την συσκευή Halon (η μπίλια να επιπλέει)-θεωρώ ότι δεν απαιτείται.
4. Έλεγξε το σύστημα shock strut για χτυπήματα και φθορές-36''δ.ε/1''μτβ.
5. Έλεγξε το πλαίσιο στήριξης του μηχανισμού κίνησης (έκταση-ανάσυρση) του αριστερού σκέλους προσγείωσης για ρωγμές ή φθορές-120''δ.ε/1''μτβ.
6. Έλεγξε τον προβολέα προσγείωσης για φθορές-18''δ.ε/1''μτβ.



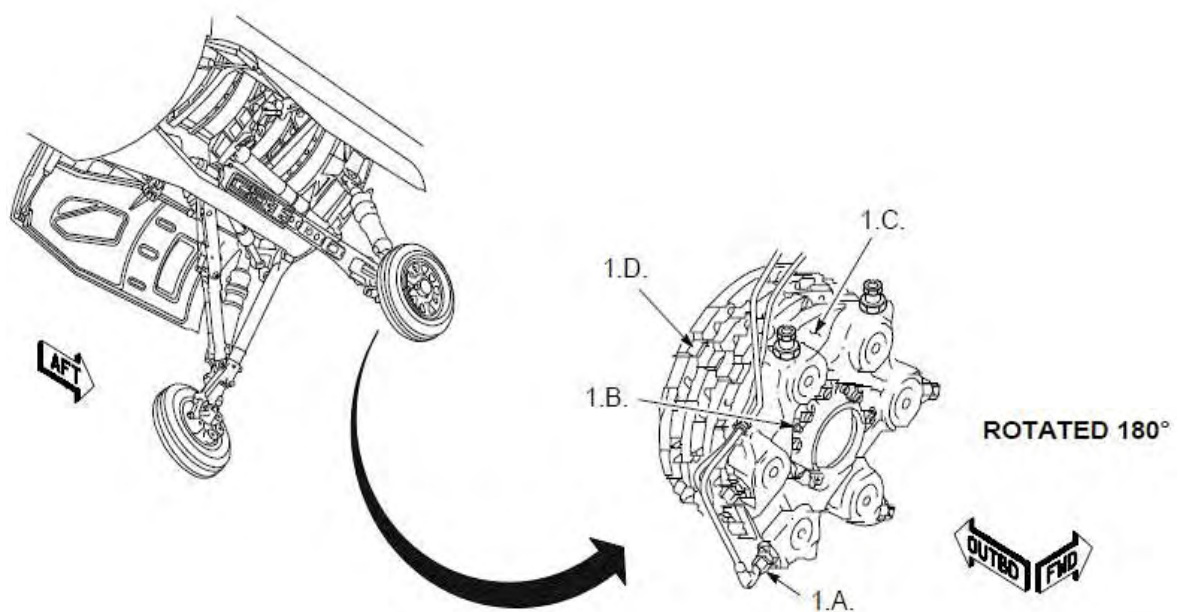
Σχήμα 2-39: 30^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγε τον ενδείκτη υπερπίεσης του συστήματος ECS (Environmental Control System) για επίπεδη θέση-6''δ.ε/1''μτβ.
2. Έλεγε τον χώρο-κέλυφος του αριστερού συστήματος προσγείωσης για φθορές-12''δ.ε/1''μτβ.
3. Έλεγε τον μηχανισμό κίνησης (έκταση-ανάσυρση) της πόρτας του αριστερού σκέλους προσγείωσης.-6''δ.ε/1,5''μτβ.
4. Έλεγε τον αριστερό τροχό για φθορές ή χτυπήματα. Βεβαιώσου για την καλή κατάσταση των 6 οδηγών του συστήματος πέδησης του τροχού (brake drive keys)-60''δ.ε/2''μτβ.
5. Έλεγε το ελαστικό του αριστερό τροχού για κοψίματα, εξογκώματα, φθορά ή εμφάνιση ανεπίτρεπτου ορίου λινών-12''δ.ε/2''μτβ.
6. Έλεγε το σύστημα shock strut για χτυπήματα, φθορές και απαιτούμενα παρελκόμενα-18''δ.ε/1''μτβ.
7. Έλεγε τον μηχανισμό κίνησης (έκταση-ανάσυρση) του κλειδώματος (ασφάλισης) του αριστερού σκέλους προσγείωσης για φθορές, διαρροές, ρωγμές ή στοιχεία διάβρωσης-6''δ.ε/1''μτβ.



Σχήμα 2-40: 31^η διαδικασία επιθεώρησης
[67]

1. Έλεγξε το αριστερό σύστημα πέδησης για:
 - A. Στοιχεία διαρροής μέσα και έξω από τον χώρο του εμβόλου πέδησης-
15''δ.ε/1''μτβ.
 - B. Επιτρεπτό μήκος του ειδικού ενδείκτη πέδησης (wear indicator)-
15''δ.ε/1''μτβ.
 - Γ. Εμφανή διαχωρισμό του ειδικού στρώματος πέδησης-15''δ.ε/1''μτβ.
 - Δ. Εμφανή φθορά στα κανάλια των πλακών-15''δ.ε/10''μτβ.



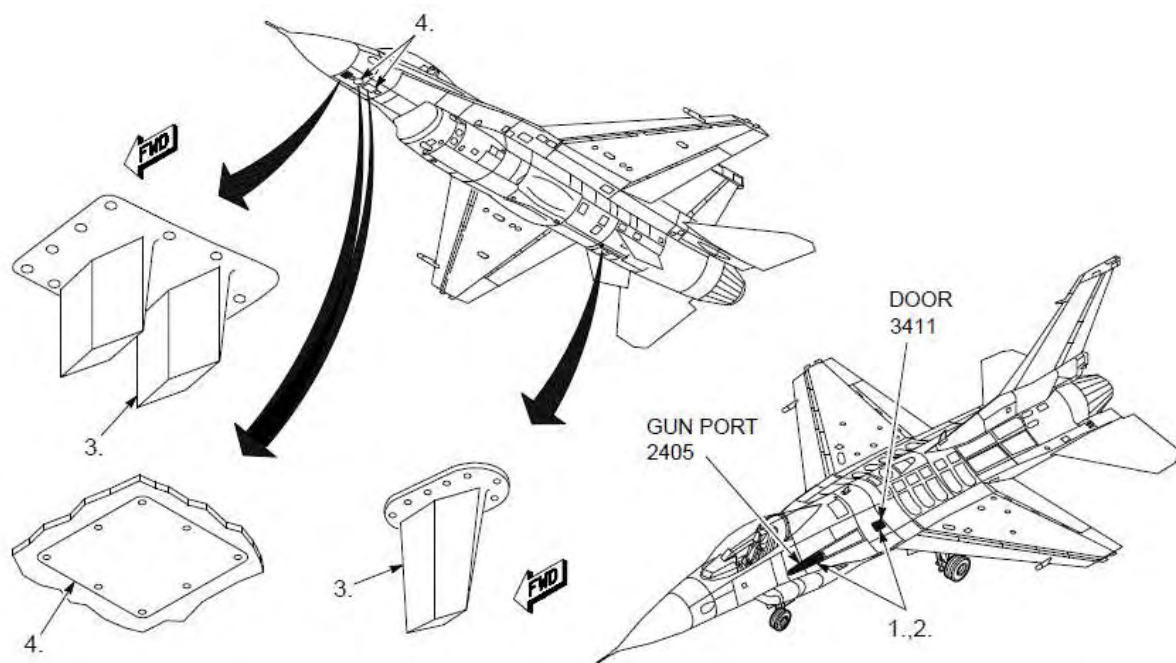
Σχήμα 2-41: 32^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Έλεγξε την θυρίδα εξαερισμού του πυροβόλου (θυρίδα 3411) και το κάλυμμα των κανών (gun port 2405) για χτυπήματα, φθορές και χαμένους μεντεσέδες ή συνδετήρες-18''δ.ε/2''μτβ.
2. Έλεγξε το πυροβόλο για εμφανείς στοιχεία ζημιάς-60''δ.ε/10''μτβ.

Προσοχή

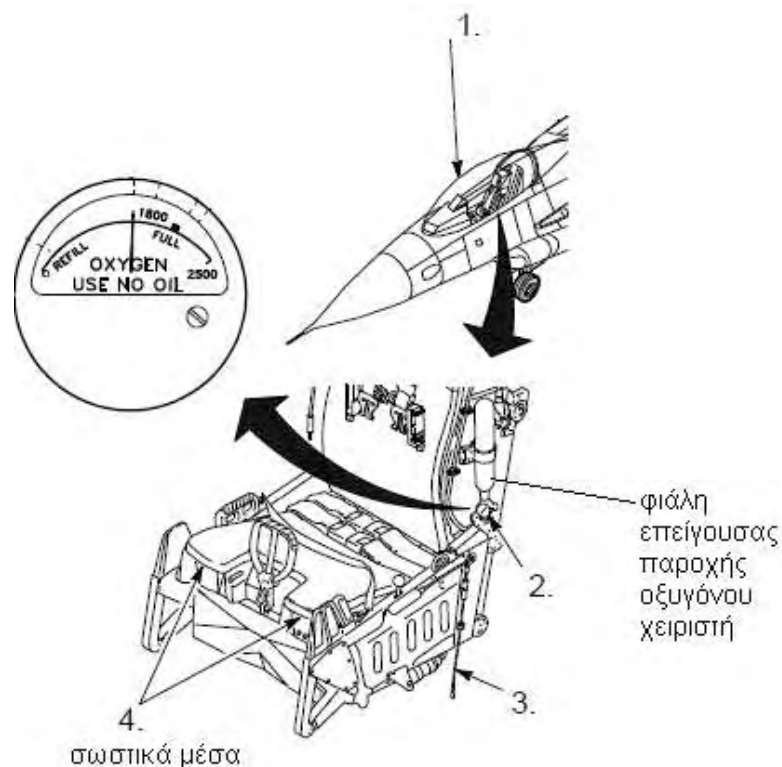
Απέφυγε την άσκηση πίεσης στα περύγια της κεραίας C/D Band Antenna. Εφαρμογή ταυτόχρονης δύναμης στα 2 αυτά περύγια μπορεί να προκαλέσει αστοχία υλικού ή παραμόρφωση του προστατευτικού καλύμματος.

3. Έλεγξε τα περύγια της κεραίας για ρωγμές, χτυπήματα ή παραμορφώσεις-12''δ.ε/1''μτβ.
4. Έλεγξε τις κεραίες υψομέτρου για ρωγμές και χτυπήματα-12''δ.ε/10''μτβ.



Σχήμα 2-42: 33^η διαδικασία επιθεώρησης

1. Καθάρισε προσεκτικά την καλύπτρα ελέγχοντας για ύπαρξη εγκοπών, γδαρσίματος ή παραμορφώσεων-60''δ.ε/2''μτβ.
2. Έλεγε την πίεση της φιάλης επείγουσας παροχής οξυγόνου στον χειριστή να βρίσκεται στα επιθυμητά επίπεδα (όχι κάτω από 1800 psi) σε συνδυασμό με την υπάρχουσα θερμοκρασία περιβάλλοντος-6''δ.ε/1''μτβ.
3. Βεβαιώσου ότι το σύρμα του συστήματος παροχής οξυγόνου που ενώνει το εκτινασσόμενο κάθισμα με το πάτωμα του cockpit είναι σωστά τοποθετημένο-6''δ.ε/3''μτβ.
4. Βεβαιώσου για την πληρότητα και ασφάλεια των σωστικών μέσων του χειριστή-60''δ.ε/10''μτβ (ο επόμενος και τελευταίος κόμβος είναι η υπογραφή του υπολόγου και ουσιαστικά η διάθεση του αεροσκάφους ως επιχειρησιακό).

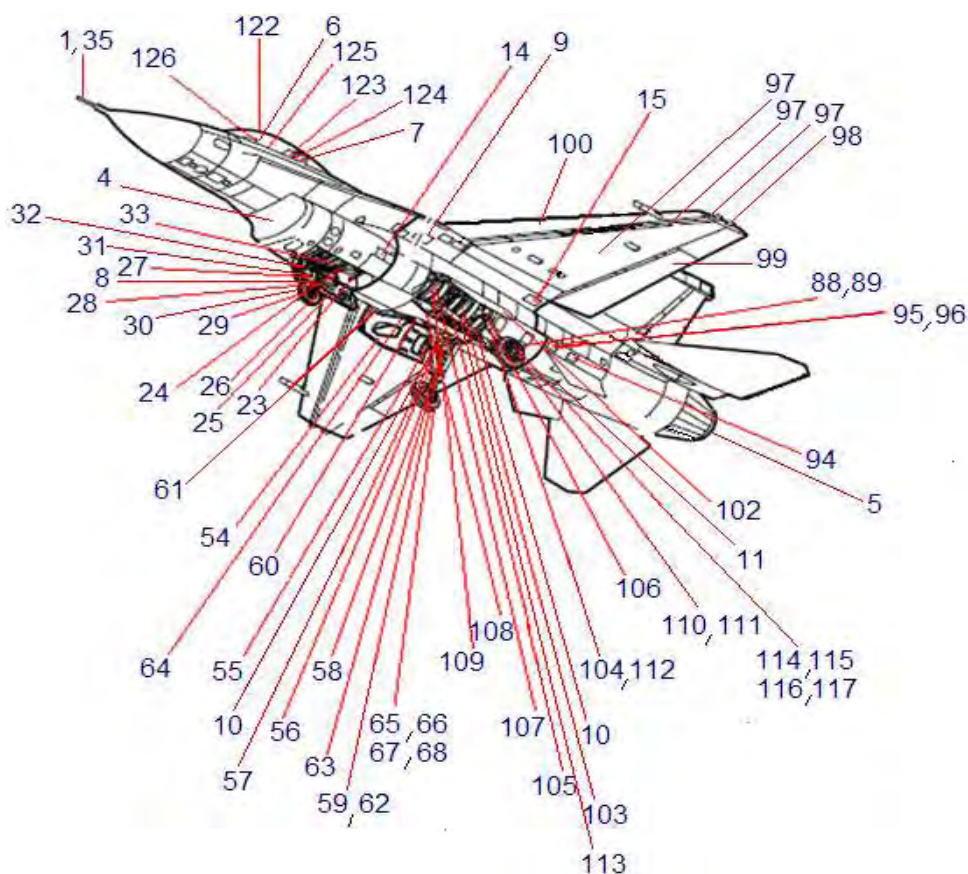


Σχήμα 2-43: 34^η διαδικασία επιθεώρησης

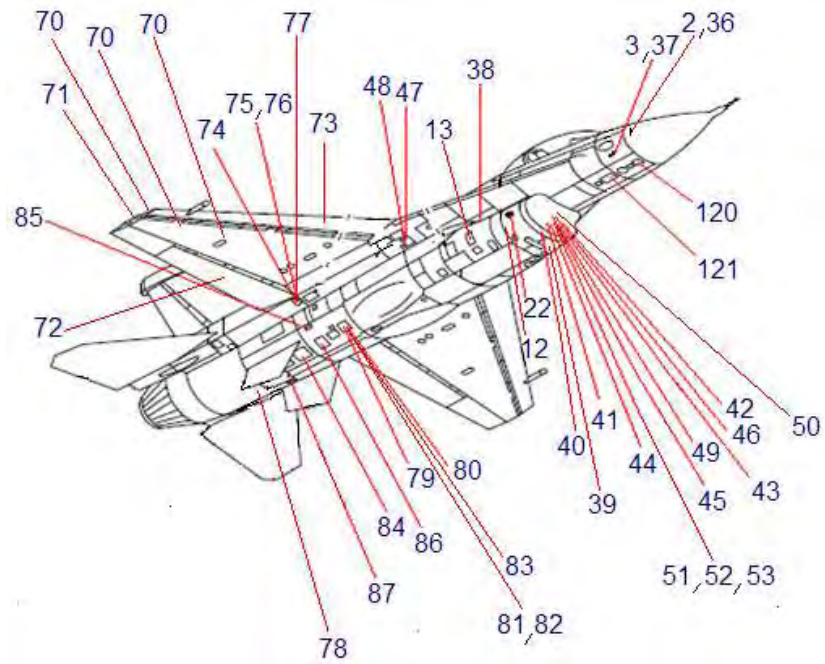
2.1.3 Συμπεράσματα

Ο συνολικός χρόνος επιθεώρησης του αεροσκάφους, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους χρονικούς περιορισμούς επίσκεψης ορισμένων κόμβων σύμφωνα πάντα με τον κατασκευαστή, υπολογίζεται περίπου στα 90 λεπτά της ώρας.

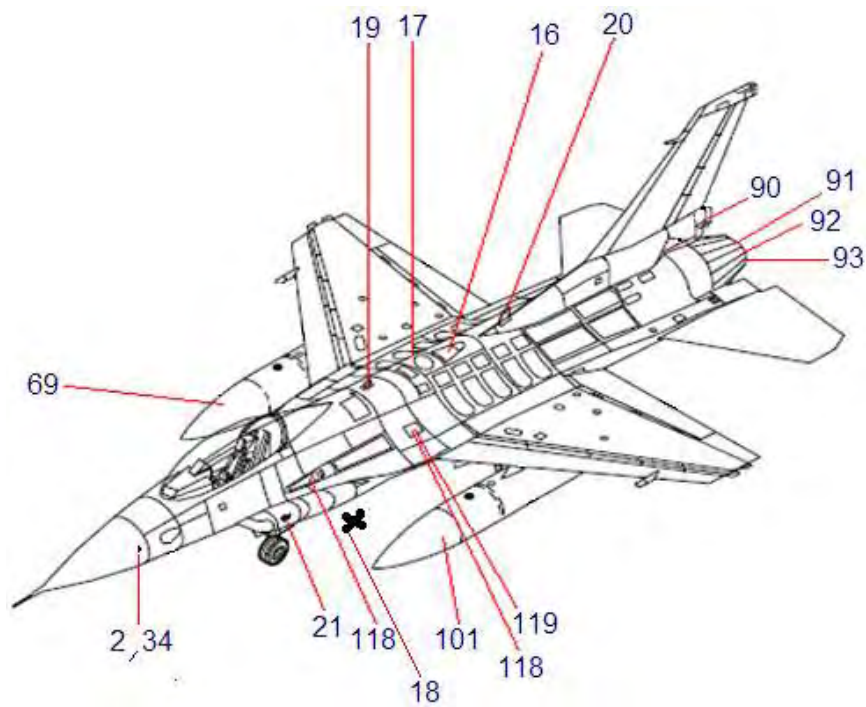
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι θέσεις των κόμβων-σημείων επιθεώρησης πάνω στο αεροσκάφος κατά αριθμητική σειρά η οποία δηλώνει και τη σειρά επιθεώρησής τους από τον υπόλογο σύμφωνα με την πιο πάνω βιβλιογραφία.



Σχήμα 2-44: Όπως φαίνεται πιο πάνω, είναι εμφανές το γεγονός ότι ο τεχνικός καλείται να επισκεφθεί ορισμένες περιοχές του αεροσκάφους πάνω από μια φορά με σκοπό να επιθεωρήσει διαφορετικά σημεία κάθε φορά τα οποία ανήκουν στην ίδια περιοχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθυστερεί ο τεχνικός λόγω των επιπλέον μεταβάσεων σε αυτές τις περιοχές.



Σχήμα 2-45: Εδώ φαίνεται το ίδιο πρόβλημα με το προηγούμενο σχήμα από διαφορετική οπτική γωνία του αεροσκάφους.



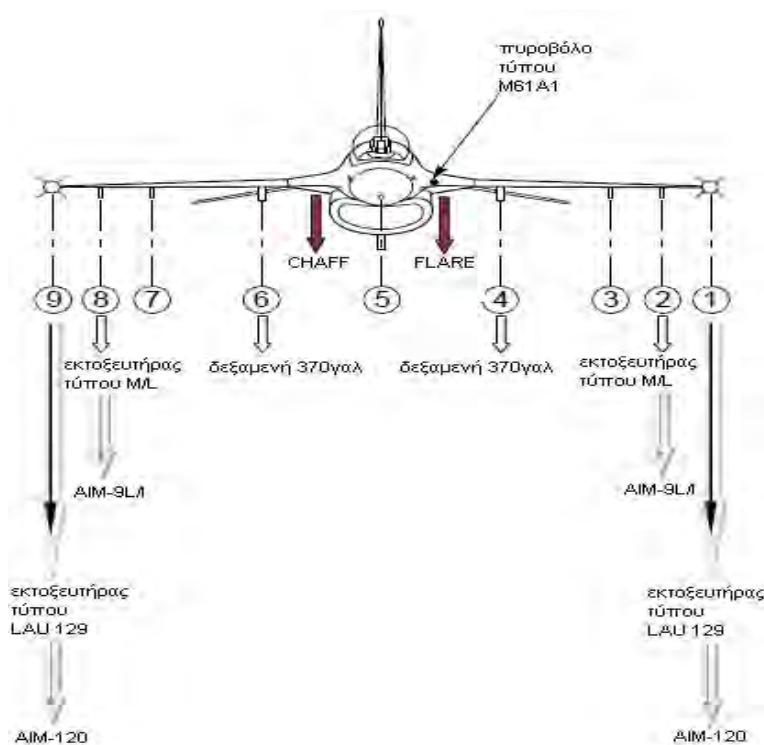
Σχήμα 2-46: Ομοίως, παρατηρείται από διαφορετική όψη η έλλειψη κλιμάκωσης της επιθεώρησης κάποιων σημείων που ανήκουν σε κοινές περιοχές.

2.2 Επαναδιάθεση – Quick Turnaround

Στη συγκεκριμένη παράγραφο παρουσιάζεται η ακριβής διαδικασία της επαναδιάθεσης αφού προηγουμένως διατυπωθούν ορισμένες παραδοχές σύμφωνα με τις οποίες πραγματοποιείται η επιθεώρηση και τελικά προκύπτουν διάφορα συμπεράσματα.

2.2.1 Παραδοχές

- Αναφερόμαστε σε μονοθέσιο ελληνικό μαχητικό αεροσκάφος τύπου F-XX, διαμόρφωσης Γ (περιλαμβάνει 2 εξωτερικές δεξαμενές καυσίμου 370 γαλονιών στους σταθμούς φόρτωσης 4, 6), με εκτοξευτήρες τύπου Missile Launcher στους σταθμούς 2,7 οι οποίοι φέρουν πυραύλους αέρος-αέρος τύπου AIM-9 L/I (Sidewinder) και εκτοξευτήρες τύπου LAU 129 οι οποίοι φέρουν πυραύλους αέρος-αέρος τύπου AIM-120 (AMRAAM - Advanced Medium Range Air to Air Missile) στους σταθμούς 1,9. Το αεροσκάφος είναι εξοπλισμένο με 60 Chaff και 30 Flare ως όπλα ηλεκτρονικού πολέμου.

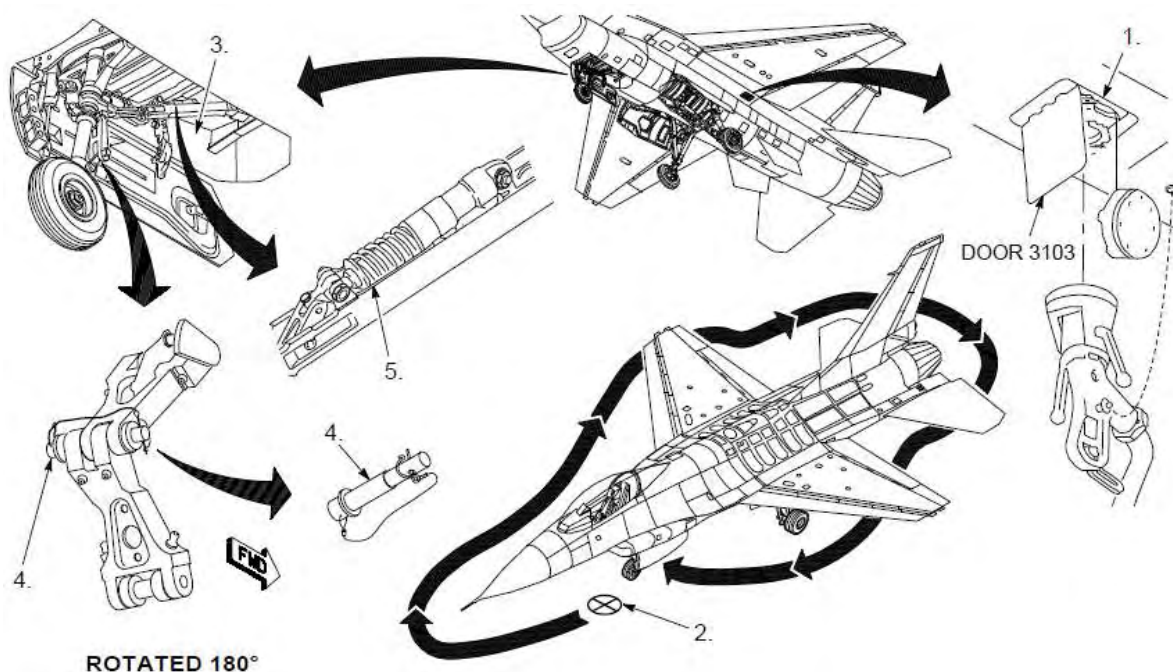


Σχήμα 2-47: Εδώ παρουσιάζεται η εξεταζόμενη διαμόρφωση του αεροσκάφους.

- Στη βιβλιογραφία του αεροσκάφους αναφέρεται για κάθε σημείο η χρονική διάρκεια επίσκεψής-επιθεώρησής του από τον υπόλογο ενώ παραλείπεται ο χρόνος μετάβασης από κάθε κόμβο στον επόμενο. Για τη τελευταία παράμετρο λήφθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές επιθεώρησης ενός μέσου υπολόγου 3^{ου} επιπέδου δεξιότητας (αρχικό επίπεδο).
- Επίσης θεωρούμε ότι η δεξαμενή του Halon δεν απαιτεί αντικατάσταση λόγω της μη λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος κατά τη διάρκεια της πτήσης.
- Η επιθεώρηση ξεκινάει αφού πρώτα τοποθετηθούν ο πυροσβεστήρας, η γείωση και οι κατάλληλοι τροχοεμποδιστήρες (chocks).
- Σημειώνεται ότι κατά την επαναδιάθεση-quick turnaround δεν τοποθετούνται πύροι ασφαλείας στο ρηναίο σκέλος προσγείωσης και στον μηχανισμό επείγουσας ανάσχεσης του α/φους (arresting gear).
- Επισημαίνετε ότι οι χρόνοι εξυπηρέτησης του α/φους με οξυγόνο, άζωτο, υδραυλικό και λάδι προστίθενται στο τέλος στην επιθεώρηση του υπολόγου.
- Τέλος, σημειώνεται το γεγονός ότι η διαδικασία τοποθέτησης πύρων ασφαλείας και όλων των διακοπών σε θέση ασφαλείας μέσα στο cockpit (safety), δεν εφαρμόζεται κατά την επαναδιάθεση για λόγους εξοικονόμησης χρόνου στη φάση της εκκίνησης από τον ιπτάμενο.

2.2.2 Επιθεώρηση

1. Ανεφοδίασε με καύσιμο το αεροσκάφος (θυρίδα 3103)-600''δ.ε/10''μτβ.
2. Έλεγε περιμετρικά και πάνω στο α/φος για καλή γενική κατάσταση και διαρροές (walkaround)-120''δ.ε/10''μτβ.
3. Έλεγε το ρηναίο σκέλος προσγείωσης και τον χώρο-κέλυφος του τροχού για καλή γενική κατάσταση-60''δ.ε/1''μτβ.
4. Έλεγε τον βραχίονα torque arm (ψαλίδα) για σωστή θέση. Τοποθετημένος ο πύρος και ασφαλισμένος-12''δ.ε/1''μτβ.
5. Έλεγε τον μηχανισμό κίνησης (έκταση-ανάσυρση) του κλειδώματος (ασφάλισης) του ρηναίου σκέλους προσγείωσης για φθορές, διαρροές, ρωγμές ή στοιχεία διάβρωσης-6''δ.ε/5''μτβ.

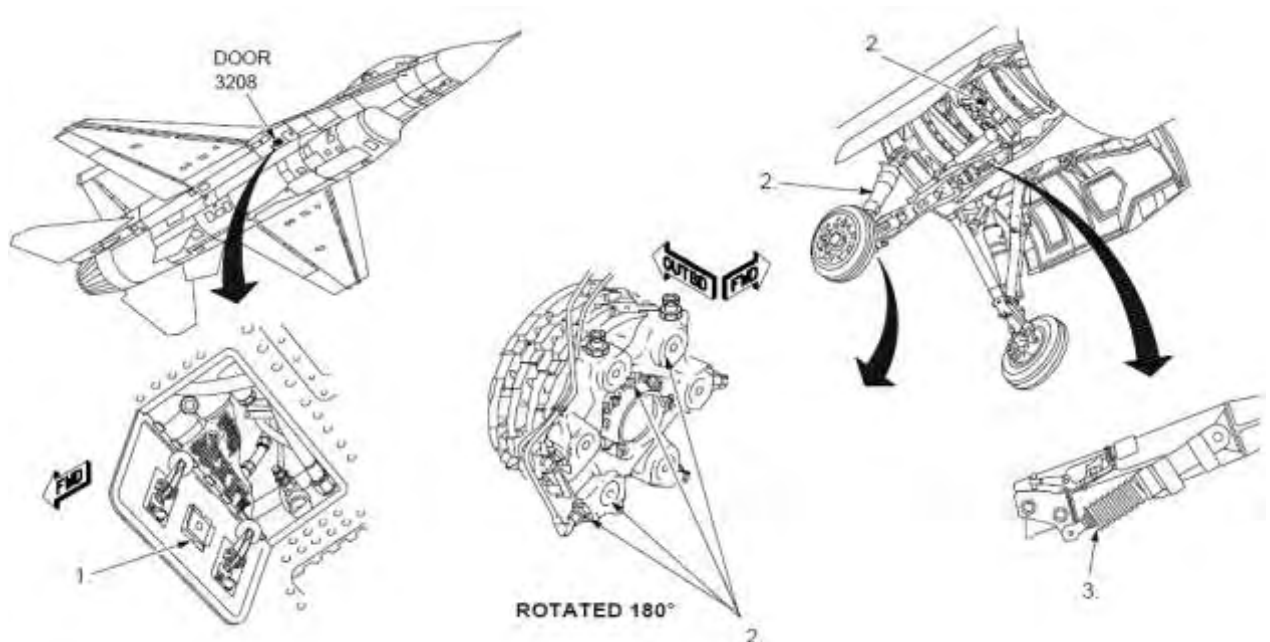


Σχήμα 2-48: 1^η διαδικασία επαναδιάθεσης

Προειδοποίηση

Η υδραζίνη είναι μια τοξικά υψηλή χημική ένωση η οποία μπορεί να προκαλέσει σοβαρό τραυματισμό σε προσωπικό. Εάν εντοπισθεί διαρροή υδραζίνης, απομάκρυνε άμεσα το προσωπικό από τον χώρο έως ότου επιβεβαιωθεί ότι η περιοχή είναι ασφαλής.

1. Έλεγε τον ενδείκτη διαρροής υδραζίνης για ενεργοποίηση (από πορτοκαλί μεταβάλλεται σε μωβ ή μαύρο) (θυρίδα 3208)-6''δ.ε/4''μτβ.
2. Έλεγε το δεξί σκέλος προσγείωσης, τον χώρο-κέλυφος του τροχού και το συγκρότημα πέδησης για καλή γενική κατάσταση-60''δ.ε/1''μτβ.
3. Έλεγε τον μηχανισμό κίνησης (έκταση-ανάσυρση) του κλειδώματος (ασφάλισης) του δεξιού σκέλους προσγείωσης για φθορές, διαρροές, ρωγμές ή στοιχεία διάβρωσης-6''δ.ε/6''μτβ.



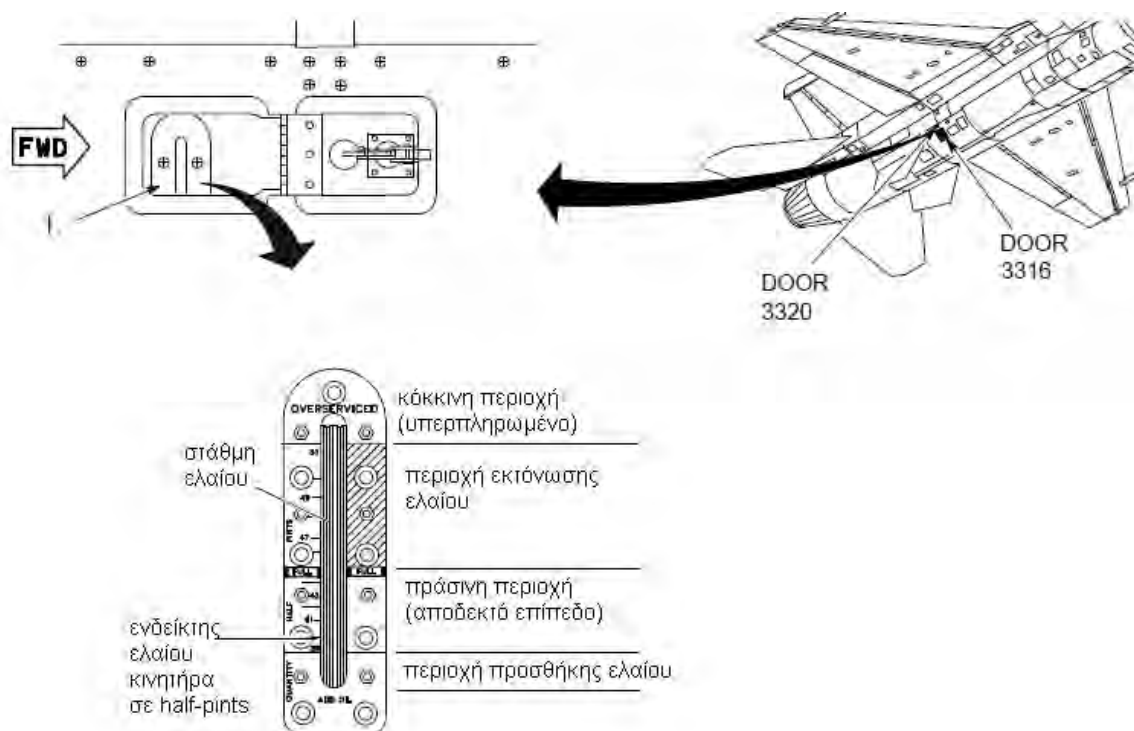
Σχήμα 2-49: 2^η διαδικασία επαναδιάθεσης

Προσοχή

Η ένδειξη της στάθμης ελαίου είναι πιθανόν να συγκρατεί λάδι στο επίπεδο των 38 half-pints όταν το πραγματικό απόθεμα είναι χαμηλότερο. Η επανεξυπηρέτηση με λάδι πρέπει να λαμβάνει χώρα όποτε η ένδειξη πέσει κάτω από 39 half-pints.

Παράβλεψη του παραπάνω μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον εξοπλισμό.

1. Έλεγε την στάθμη ελαίου να βρίσκεται μέσα στα προβλεπόμενα όρια και επαναξυπηρέτησε, μετά από 5 λεπτά από την κράτηση του κινητήρα και πριν την ολοκλήρωση 30 λεπτών από αυτή (θυρίδες 3316 και 3320). Παρακολούθησε την πορεία κατανάλωσης του ελαίου. Μέγιστη κατανάλωση για κάθε ώρα πτήσης ορίζονται τα 1,5 half-pints-6''δ.ε/2''μβ.



Σχήμα 2-50: 3^η διαδικασία επαναδιάθεσης

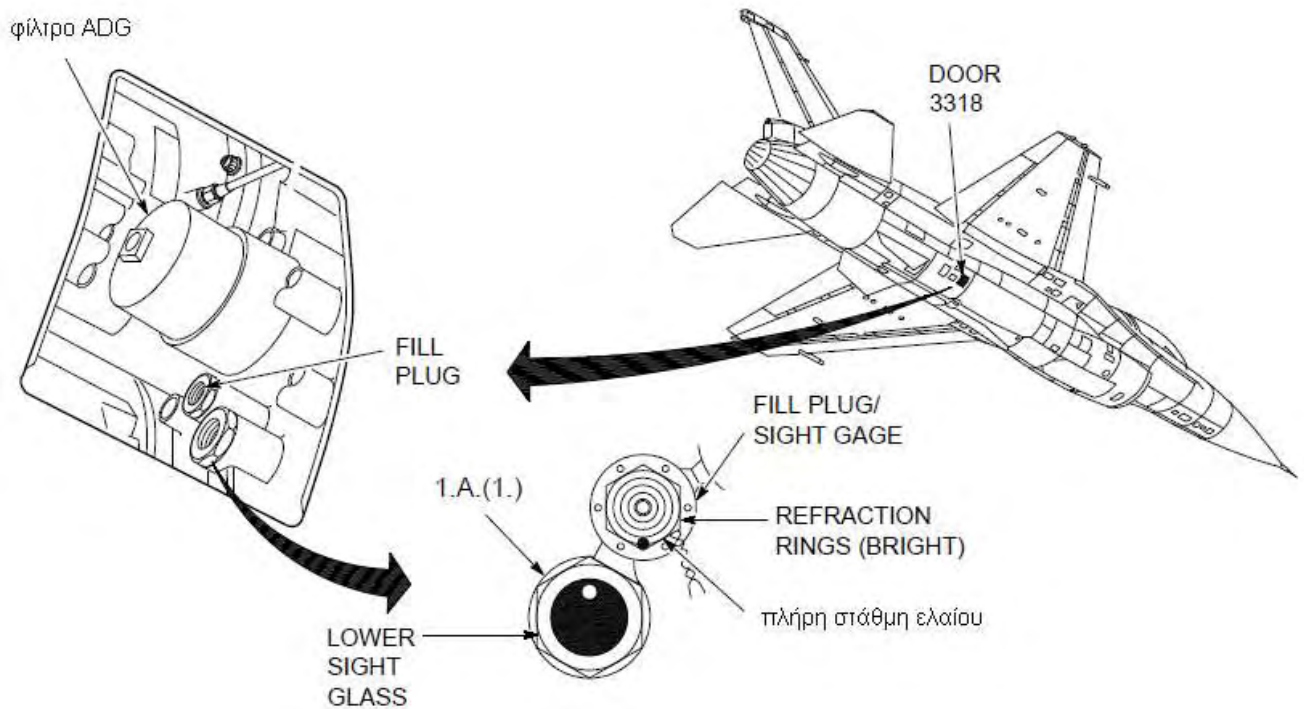
- Εξυπηρέτησε όπως προβλέπεται το σύστημα accessory drive gearbox (ADG) και έλεγξε για διαρροές-6''δ.ε/3,5''μτβ.

Προσοχή

Μια φουσαλίδα στην ένδειξη (τζαμάκι) του ADG (lower sight glass) δεν αποτελεί πρόβλημα κατά την εξυπηρέτηση του συστήματος, όσο η μπίλια που επιπλέει βρίσκεται στη κορυφή της ένδειξης και η στάθμη του ελαίου ακριβώς κάτω από την κορυφή.

Α. ένδειξη με δαχτυλίδια διάθλασης (refraction rings on upper fill plug) του ADG:

- (1). Το κάτω τζαμάκι-lower sight glass πρέπει να είναι καλυμμένο με λάδι ενώ τα δαχτυλίδια-refraction rings στο πάνω τζαμάκι-fill plug/sight cage πρέπει να είναι έντονα χρωματισμένα χωρίς να είναι ορατά ίχνη ελαίου μέσα σε αυτά (θυρίδα 3318).

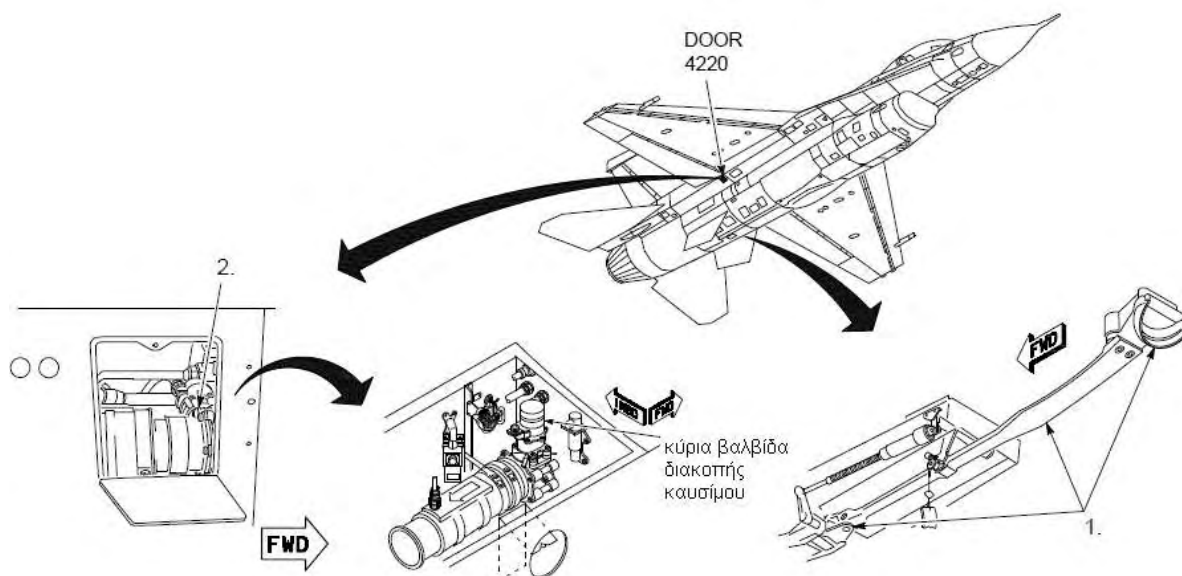


Σχήμα 2-51: 4^η διαδικασία επαναδιάθεσης

Προειδοποίηση

Βεβαιώσου ότι ο πύρος ασφαλείας του μηχανισμού επείγουσας ανάσχεσης έχει τοποθετηθεί από τα αριστερά προς τα δεξιά. Διαφορετική τοποθέτηση μπορεί να προκαλέσει ακούσια απελευθέρωση του συστήματος και/ή τραυματισμό προσωπικού ή θάνατο.

1. Έλεγξε τον μηχανισμό επείγουσας ανάσχεσης για ασφάλεια και ορατές φθορές-12''δ.ε/3,5''μτβ.
2. Βεβαιώσου ότι η κύρια βαλβίδα διακοπής καυσίμου είναι ανοιχτή και βρίσκεται στη τέρμα εξωτερική θέση (θυρίδα 4220)-6''δ.ε/6''μτβ.



Σχήμα 2-52: 5^η διαδικασία επαναδιάθεσης

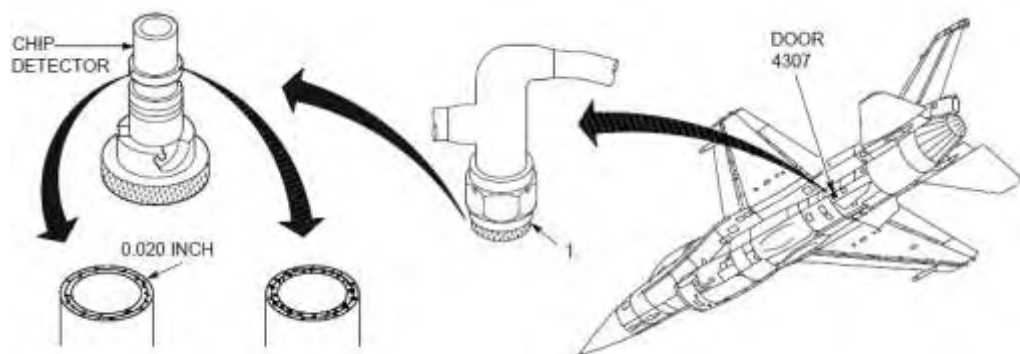
Προειδοποίηση

Χρησιμοποίησε ειδικό φακό εστίασης κατά την επιθεώρηση του ενδείκτη ρινισμάτων (chip detector) σε ιδανικές συνθήκες ορατότητας. Εάν εντοπιστούν ρινίσματα, ρωγμές ή εγχοπές, μελέτησε τα επιτρεπτά όρια και τις διαδικασίες συντήρησης όπως αυτά αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Παράλειψη μιας επαρκούς επιθεώρησης του chip detector μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στον κινητήρα.

Παρατήρηση

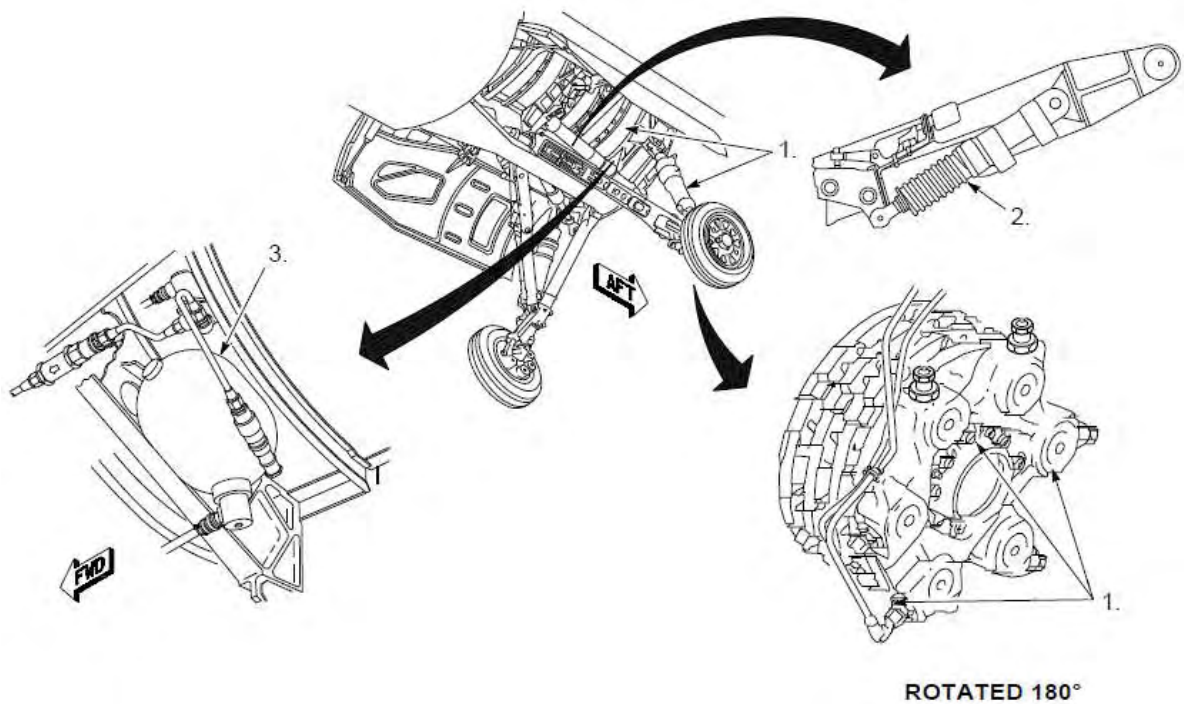
Ο ενδείκτης ρινισμάτων (chip detector) φέρει ένα δαχτυλίδι αναφοράς 0,020 inch στην άκρη του για μέτρηση των ρινισμάτων. Επιθεώρησε προσεκτικά την άκρη του ενδείκτη και από τις δύο πλευρές.

1. Έλεγξε τον μαγνητικό ενδείκτη ρινισμάτων (chip detector) για ίχνη θραυσμάτων-ρινισμάτων χρησιμοποιώντας ειδικό φακό εστίασης (θυρίδα 4307). Στείλε το αφαιρούμενο chip detector για SEM/EDX ANALYSIS χωρίς να νοθεύσεις ή μολύνεις το τελείωμα του ενδείκτη εγκαθιστώντας το προβλεπόμενο πώμα σ' αυτό. Τοποθέτησε το καινούργιο chip detector στο αεροσκάφος αφού πρώτα το ελέγξεις για ρωγμές, χτυπήματα ή κοψίματα. Μόνο μια πτήση επιτρέπεται να πραγματοποιηθεί από τη στιγμή της αφαίρεσης του chip detector έως την ολοκλήρωση της SEM/EDX ANALYSIS-120''δ.ε/4''μτβ.



Σχήμα 2-53: 6^η διαδικασία επαναδιάθεσης

1. Έλεγξε το αριστερό σκέλος προσγείωσης, τον χώρο-κέλυφος του τροχού και το συγκρότημα πέδησης για καλή γενική κατάσταση-60''δ.ε/1''μτβ.
2. Έλεγξε τον μηχανισμό κίνησης (έκταση-ανάσυρση) του κλειδώματος (ασφάλισης) του αριστερού σκέλους προσγείωσης για φθορές, διαρροές, ρωγμές ή στοιχεία διάβρωσης-6''δ.ε/17''μτβ.
3. Αντικατέστησε τη δεξαμενή Halon, εάν έχει χρησιμοποιηθεί (δεν απαιτείται επιθεώρηση του συστήματος)-θεωρώ ότι δεν απαιτείται.

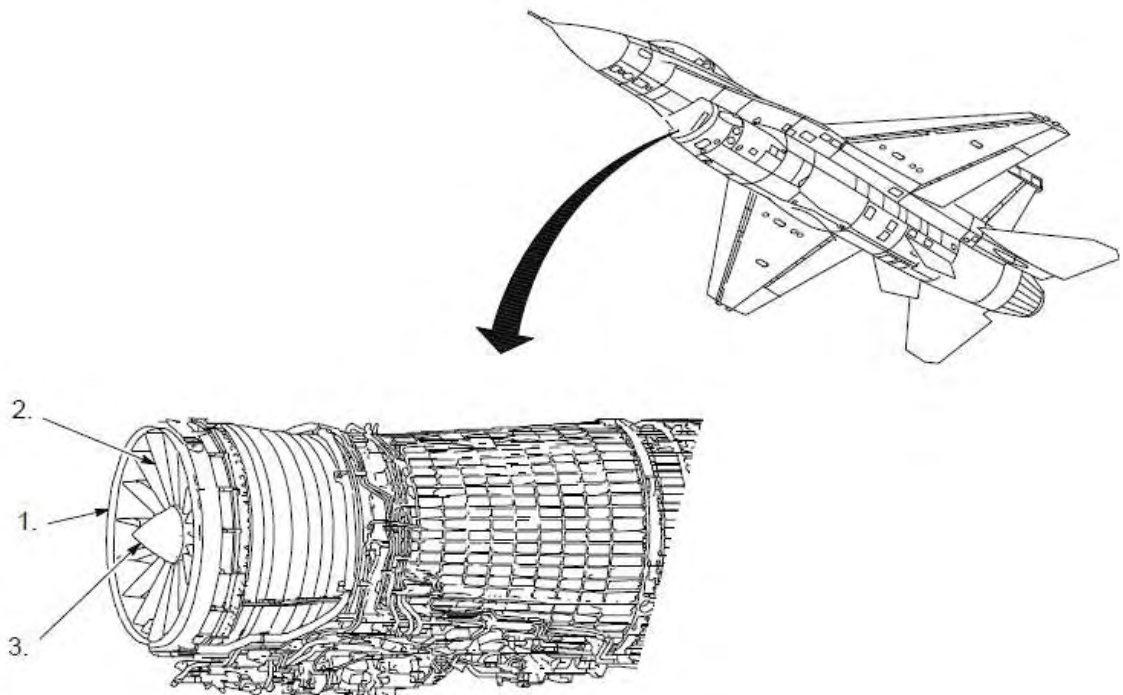


Σχήμα 2-54: 7^η διαδικασία επαναδιάθεσης

Προειδοποίηση

Απέφυγε επαφή με τον σωλήνα ανίχνευσης πάγου (ice detector) ο οποίος βρίσκεται 3 πόδια εμπροσθεν του κινητήρα. Οποιαδήποτε επαφή μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό προσωπικού και φθορά εξοπλισμού.

1. Έλεγξε το εμπροσθεν πλαίσιο του κινητήρα (front frame) για ρωγμές, οργανική ύλη (ίχνη χτυπήματος με ζωντανούς οργανισμούς) ή στρεβλωμένα σταθερά-δομικά πτερύγια-300''δ.ε/1''μτβ.
2. Έλεγξε τα οδηγία πτερύγια του πλαισίου για ρωγμές, οργανική ύλη ή χτυπήματα-90''δ.ε/1''μτβ.
3. Έλεγξε τον σταθερό κεντρικό κώνο για χτυπήματα, οργανική ύλη ή εγκοπές-30''δ.ε/1''μτβ.



Σχήμα 2-55: 8^η διαδικασία επαναδιάθεσης

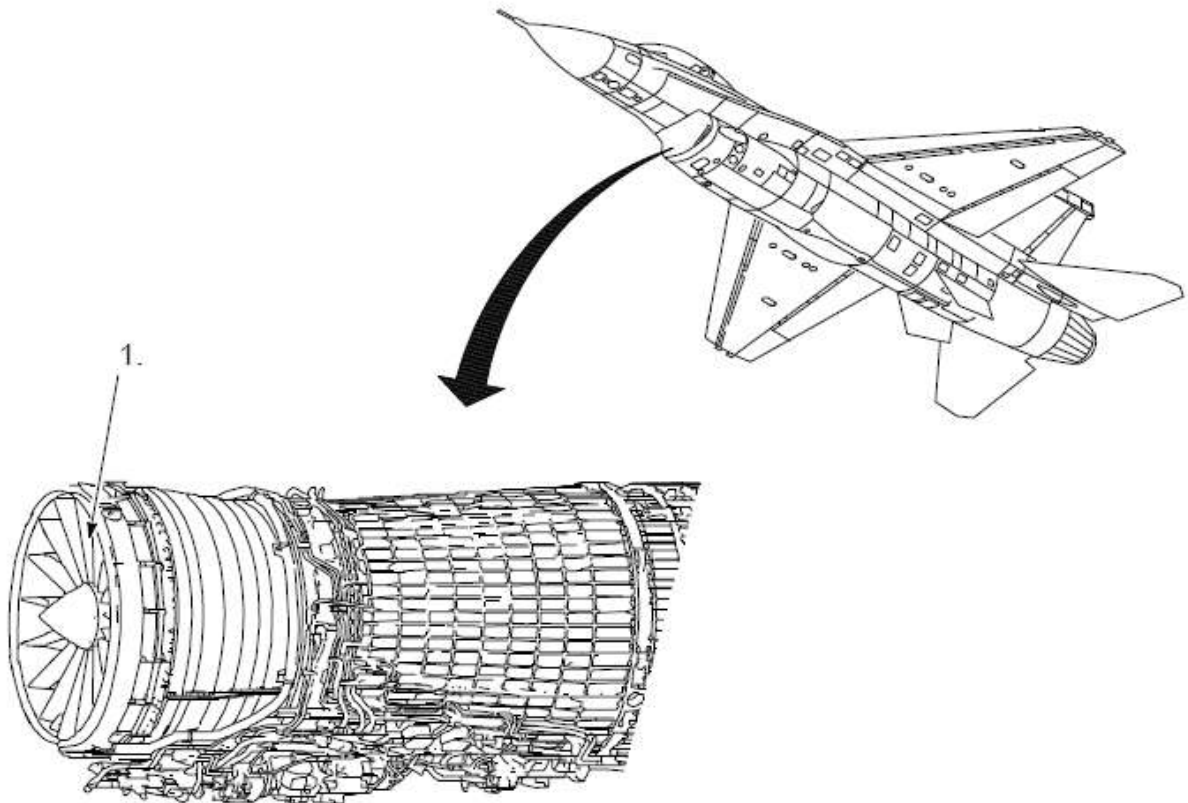
Προειδοποίηση

Μη ανιχνεύσιμη φθορά στη πρώτη βαθμίδα πτερυγίων του συμπιεστή μπορεί να προκαλέσει καταστροφή σε εξοπλισμό ή τραυματισμό προσωπικού.

Προσοχή

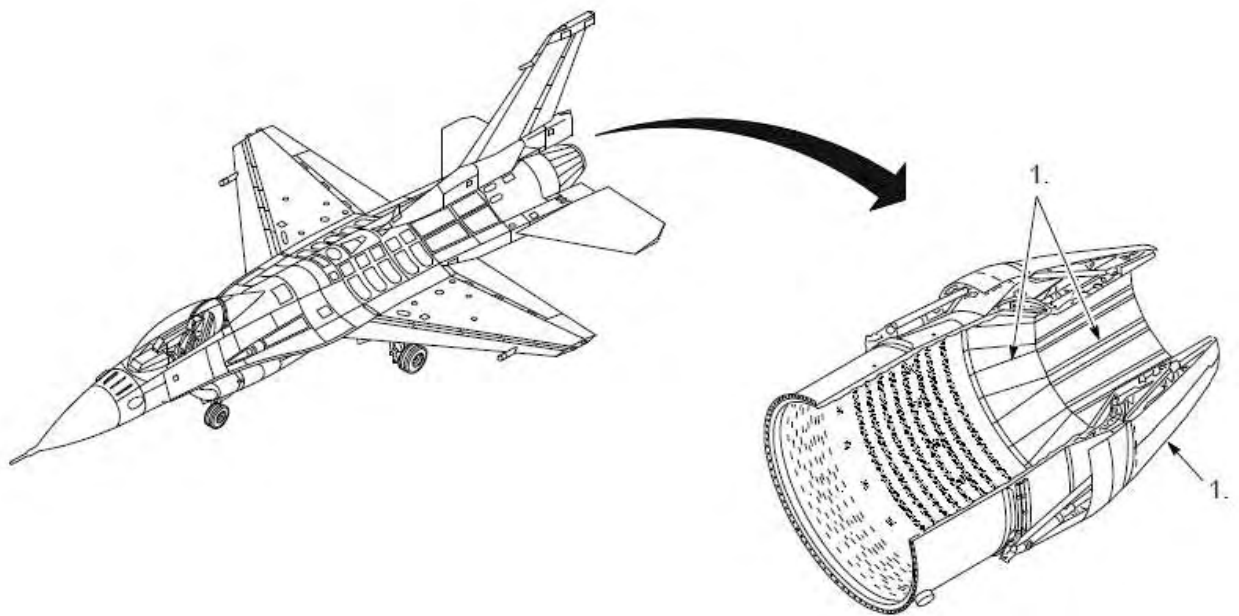
Απαιτείται χρήση ειδικού καθρέφτη επιθεώρησης και φακού κατά την επιθεώρηση του κοίλου τμήματος του χείλους προσβολής και ημικεπετάσματος των πτερυγίων της πρώτης βαθμίδας του συμπιεστή.

1. Έλεγε την πρώτη βαθμίδα κινητών πτερυγίων του συμπιεστή για ελευθερία κίνησης, χτυπήματα, ρωγμές ή απώλεια τμημάτων-360°δ.ε/21”μτβ.



Σχήμα 2-56: 9^η διαδικασία επαναδιάθεσης

1. Έλεγε τα πρωτεύοντα, τα αποκλίνων και τα εξωτερικά περύγια του ακροφυσίου-εξαγωγή καυσαερίων (exhaust nozzle primary, divergent and outer flaps) για εμφανείς φθορές, ρωγμές και καταστροφή υλικού-30''δ.ε/10''μτβ (ο επόμενος και τελευταίος κόμβος είναι η υπογραφή του υπολόγου και ουσιαστικά η επαναδιάθεση του αεροσκάφους ως επιχειρησιακό για την επόμενη άμεση απογείωση).



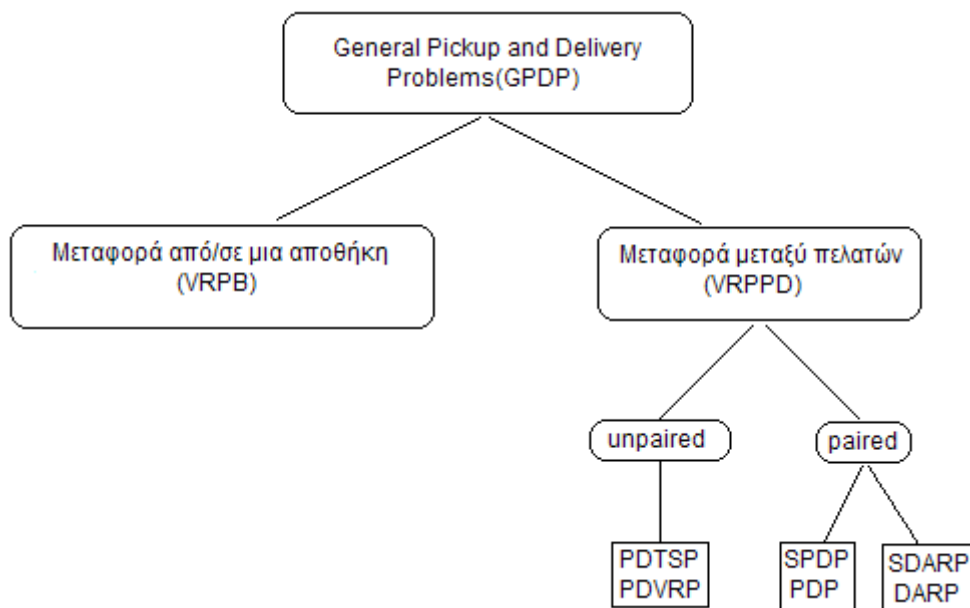
Σχήμα 2-57: 10^η διαδικασία επαναδιάθεσης

2.2.3 Συμπεράσματα

Ο συνολικός χρόνος επιθεώρησης του αεροσκάφους, τηρώντας όλους τους χρονικούς περιορισμούς επίσκεψης ορισμένων κόμβων σύμφωνα με τον κατασκευαστή, υπολογίζεται στα 25 λεπτά της ώρας.

Κεφάλαιο 3 Θεωρία VRP (Vehicle Routing Problems)

Τα προβλήματα δρομολόγησης VRPPD (Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries) αναφέρονται στη μεταφορά αντικειμένων ή ανθρώπων από ένα συγκεκριμένο σημείο προς ένα άλλο (προέλευση-προορισμός). Ένα VRPPD είναι στατικό όταν όλα τα δεδομένα του προβλήματος είναι γνωστά πριν την κατασκευή του δρομολογίου, ενώ ονομάζεται δυναμικό όταν ορισμένα από τα δεδομένα εμφανίζονται ή μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της εφαρμογής των εξαγόμενων δρομολογίων. Επίσης, ένα VRPPD μπορεί να χαρακτηριστεί ως single-vehicle όταν υπάρχει διαθέσιμο μόνο ένα όχημα ενώ όταν χρησιμοποιούνται περισσότερα οχήματα χαρακτηρίζεται ως multi-vehicle. Τα VRPPD αναλύονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη ασχολείται με περιπτώσεις όπου η σχέση του σημείου προέλευσης με τον προορισμό είναι ανύπαρκτη, δηλαδή κάθε προϊόν το οποίο περισυλλέγεται μπορεί να παραδοθεί σε διαφορετικούς από έναν προορισμό. Οπότε κάθε απαίτηση παράδοσης σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο μπορεί να εκπληρωθεί από οποιοδήποτε αγαθό. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει το κλασικό PDP (Pickup and Delivery Problem) και το DARP (Dial-A-Ride Problem), τα οποία ασχολούνται με αιτήσεις μεταφοράς από ένα σημείο προέλευσης σε ένα σημείο παράδοσης. Σημειώνεται ότι τα δύο τελευταία αποτελούν ‘ζευγάρι’ δηλαδή ο προορισμός δέχεται μόνο ένα αγαθό από ένα συγκεκριμένο σημείο προέλευσης. Τα PDP αναφέρονται σε μεταφορές προϊόντων ενώ τα DARP σε μεταφορές ανθρώπων. Αυτή η διαφορά συνήθως εκφράζεται με όρους επιπρόσθετων περιορισμών οι οποίοι αναφέρονται σαφώς στην άνεση του πελάτη. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες των VRPPD οι οποίες θα αναλυθούν περαιτέρω στις παραγράφους που ακολουθούν.



Σχήμα 3-1: Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες *Pickup and Delivery* προβλημάτων.

3.1 Μαθηματική Διατύπωση

Παρακάτω παρουσιάζονται όλοι οι συμβολισμοί που εφαρμόζονται πάνω σε δύο διατυπώσεις του προβλήματος (single και multi vehicle VRPPD).

n ...αριθμός κόμβων προέλευσης-παραλαβής (pickup, origin)

n' ...αριθμός κόμβων παράδοσης-προορισμού (delivery, destination). Στη περίπτωση

όπου τα pickups και τα deliveries είναι στενά συνδεδεμένα (paired), $n=n'$

P ...σύνολο κόμβων προέλευσης, $P = \{1, \dots, n\}$

D ...σύνολο κόμβων παράδοσης, $D = \{n+1, \dots, n+n'\}$

K ...σύνολο οχημάτων

q_i ...απαίτηση σε κάποιο κόμβο i . Οι pickup κόμβοι συνδέονται με μια θετική τιμή ενώ οι delivery με μια αρνητική. Στον κόμβο 0-αφετηρία και στον κόμβο $n+n'+1$ -χώρος στάθμευσης, η απαίτηση αυτή είναι μηδέν, $q_0 = q_{n+n'+1} = 0$

e_i ...νωρίτερος χρόνος επίσκεψης του κόμβου i

l_i ...αργότερος χρόνος επίσκεψης του κόμβου i

d_i ...διάρκεια εξυπηρέτησης στο κόμβο i

L_i ...μέγιστος χρόνος παραμονής του χρήστη i

c_{ij}^k ...κόστος οχήματος k όταν διασχίζει το τόξο (i,j)

t_{ij}^k ...χρόνος της πιο πάνω διαδικασίας από το κόμβο i στο κόμβο j

C^k ...χωρητικότητα οχήματος k

T^k ...μέγιστος χρόνος μετακίνησης-πορείας οχήματος k

Σημειώνεται ότι η παραπάνω συμβολολογία ισχύει για τη συμμετρική περίπτωση καθώς επίσης και για την ασύμμετρη. Στη πρώτη ισχύει $t_{ij}^k = t_{ji}^k$ και $c_{ij}^k = c_{ji}^k$, οπότε τα τόξα (i,j) και (j,i) μπορούν να μοντελοποιηθούν ως ένα. Συνεπώς χρειάζονται λιγότερες μεταβλητές.

Τα VRPPD εφαρμόζονται σε complete δίκτυα $G=(V,A)$ δηλαδή δίκτυα στα οποία υπάρχουν τόξα από κάθε κόμβο σε κάθε άλλο, όπου V είναι το σύνολο όλων των κόμβων $V = \{0, n+n'+1\} \cup P \cup D$, και A το σύνολο όλων των τόξων. Για πρακτικούς λόγους το σύνολο των τόξων μπορεί να μειωθεί σε $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq n+n'+1, j \neq 0, i \neq j\}$.

Κατά τη βελτιστοποίηση ορίζονται κάποιες μεταβλητές απόφασης ανάλογα με το εξεταζόμενο πρόβλημα:

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{εάν το όχημα } k \text{ διασχίσει το τόξο } (i,j) \\ 0, & \text{σε άλλη περίπτωση} \end{cases}$$

Q_i^k ...φόρτωση του οχήματος k όταν φεύγει από τον κόμβο i

B_i^k ...έναρξη εξυπηρέτησης του οχήματος k στο κόμβο i

Στη περίπτωση μοναδικού οχήματος (single vehicle case) ο δείκτης k μπορεί να παραληφθεί επηρεάζοντας όσες παραμέτρους υψώνονταν στην δύναμη του k .

3.2 VRPPD μοναδικού οχήματος

Η περίπτωση μοναδικού οχήματος βασίζεται σε μια διατύπωση ανοιχτού προβλήματος πλανόδιου πωλητή (TSP). Για οποιοδήποτε υποσύνολο $S \subseteq V$ θεωρούμε ότι $A(S, S') = \{(i, j) \in A : i \in S, j \notin S'\}$. Έχουμε:

$$\min \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

υπό τους όρους:

$$\sum_{i:(i,j) \in A} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\}, \quad (2)$$

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{n+n'+1\}, \quad (3)$$

$$\sum_{(i,j) \in A(S,S')} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subseteq V \setminus \{n+n'+1\}, S \neq \emptyset, \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A. \quad (5)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (1) ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος δρομολόγησης. Οι εξισώσεις (2) και (3) εξασφαλίζουν το γεγονός ότι κάθε κόμβος επισκέπτεται μονάχα μια φορά. Ο περιορισμός (4) δείχνει μια από τις πιθανότητες με την οποία διασφαλίζεται η συνδεσιμότητα του δικτύου.

3.2.1 PDTSP (Pickup and Delivery Traveling Salesman Problem)

Εδώ θεωρείται ότι κάθε απαίτηση παραλαβής (pickup) μπορεί να ικανοποιήσει οποιαδήποτε απαίτηση παράδοσης. Σύμφωνα με τους τύπους (1)-(5), οι περιορισμοί στο φορτίο του οχήματος πρέπει να τροποποιηθούν ως εξής:

$$x_{ij} = 1 \Rightarrow Q_j = Q_i + q_j \quad \forall (i, j) \in A, \quad (6a)$$

$$\max \{0, q_i\} \leq Q_i \leq \min \{C, C + q_i\} \quad \forall i \in V. \quad (6b)$$

Η αρχική φόρτωση του οχήματος δεν έχει περιορισμούς ενώ το PDTSP είναι η μοναδική κατηγορία VRPPD όπου στη σχέση (6a) υπάρχει ισότητα αντί για “ \geq ”.

3.2.2 SPDP (Single Pickup and Delivery Problem)

Σε αυτή τη κατηγορία προβλημάτων εξετάζονται περιπτώσεις όπου η προέλευση είναι στενά συνδεδεμένη με τον προορισμό (ζευγάρι) δηλαδή $n=n'$. Αυτοί οι κόμβοι καλούνται και ως ζήτηση (request) με δείκτη $i=1,2,\dots,n$ όπου i είναι το σημείο προέλευσης και $n+1$ το σημείο προορισμού. Για να εξασφαλίσουμε ότι κάθε προορισμός επισκέπτεται αφού πρώτα έχει προηγηθεί η επίσκεψη της αντίστοιχης προέλευσης, μαζί με τις σχέσεις (1)-(3), (5) και (6) χρησιμοποιούνται κάποιοι περιορισμοί προτεραιότητας οι οποίοι σχεδιάζονται συνήθως μέσω χρονικών μεταβλητών,

$$B_i \leq B_{n+i} \quad \forall i \in P, \quad (7)$$

$$x_{ij} = 1 \Rightarrow B_j \geq B_i + d_i + t_{ij} \quad \forall (i, j) \in A. \quad (8)$$

Ο περιορισμός (7) εξασφαλίζει ότι κάθε σημείο παραλαβής-προέλευση επισκέπτεται πριν από τον προορισμό του και ο (8) ότι οι χρονικές μεταβλητές συμφωνούν με τους χρόνους μετακίνησης και εξυπηρέτησης. Σημειώνεται ότι ο (8) εγγυάται επίσης την αποφυγή σύντομων κύκλων επομένως η ανισότητα (4) δεν χρειάζεται δεδομένου ότι $(t_{ij} + d_i) > 0$ για όλα τα $(i, j) \in A$.

3.2.3 SDARP (Single Dial and Ride Problem)

Το SDARP ασχολείται με την μεταφορά ανθρώπων. Προβλήματα αυτού του είδους συναντάμε στη μετακίνηση ηλικιωμένων ή ατόμων με ειδικές ανάγκες. Μια άλλη εφαρμογή ωστόσο παρατηρούμε στη μεταφορά ευαίσθητων προϊόντων που είναι επιρρεπή σε φθορά τα οποία έχουν και αυτά συγκεκριμένα όρια όσον αφορά τον χρόνο παραμονής μέσα στο όχημα. Μαζί με το βασικό μοντέλο των σχέσεων (1)-(3) και (5)-(8), πρέπει να ληφθεί υπόψη και η άνεση του πελάτη. Αυτό μπορεί να ικανοποιηθεί από έναν άλλο όρο στην αντικειμενική συνάρτηση ή από πρόσθετους περιορισμούς. Παρακάτω επιλέγουμε να μοντελοποιήσουμε το όριο μέγιστης παραμονής ενός πελάτη μέσα στο όχημα,

$$B_{n+i} - (B_i + d_i) \leq L_i \quad \forall i \in P. \quad (9)$$

3.3 Παράθυρα Χρόνου

Περιορισμοί που αναφέρονται στη συμμόρφωση Παραθύρων Χρόνου (time windows),

$$e_i \leq B_i \leq l_i \quad \forall i \in V, \quad (10)$$

μπορούν να προστεθούν σε όλους τους παραπάνω τύπους. Στο πλαίσιο μεταφοράς επιβατών εμφανίζονται συνήθως Χρονικά Παράθυρα. Σημειώνεται ότι οι παραπάνω

τύποι δεν είναι γραμμικοί λόγω των περιορισμών (6a) και (8). Μπορούν όμως να γραμμικοποιηθούν μέσω της big M μοντελοποίησης (cf. Cordeau 2006).

3.4 VRPPD πολλών οχημάτων

Το βασικό μοντέλο για ένα VRPPD πολλών οχημάτων είναι μία προσαρμοσμένη διατύπωση προβλήματος δρομολόγησης τριών δεικτών, από αυτές που έχει παρουσιάσει ο Cordeau et al. (2002, p. 158f.) για τα VRP με Time Windows.

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (11)$$

υπό τους όρους:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in P \cup D, \quad (12)$$

$$\sum_{j:(0,j) \in A} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K, \quad (13)$$

$$\sum_{i:(i,n+n'+1) \in A} x_{i,n+n'+1}^k = 1 \quad \forall k \in K, \quad (14)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in A} x_{ij}^k - \sum_{i:(j,i) \in A} x_{ji}^k = 0 \quad \forall j \in P \cup D, k \in K, \quad (15)$$

$$x_{ij}^k = 1 \Rightarrow B_j^k \geq B_i^k + d_i + t_{ij}^k \quad \forall (i,j) \in A, k \in K, \quad (16)$$

$$x_{ij}^k = 1 \Rightarrow Q_j^k = Q_i^k + q_j \quad \forall (i,j) \in A, k \in K, \quad (17)$$

$$\max\{0, q_i\} \leq Q_i^k \leq \min\{C^k, C^k + q_i\} \quad \forall i \in V, k \in K, \quad (18)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A, k \in K. \quad (19)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (11) ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος δρομολόγησης. Ο περιορισμός (12) δηλώνει ότι κάθε κόμβος πρέπει να εξυπηρετείται μονάχα μία φορά. Οι εξισώσεις (13) και (14) εγγυώνται ότι κάθε όχημα ξεκινάει από την αφετηρία (αποθήκη) και επιστρέφει στον χώρο στάθμευσης (αποθήκη) στο τέλος του δρομολογίου του. Αυτό όμως δεν σημαίνει πως πρέπει να χρησιμοποιηθούν όλα τα οχήματα. Υπάρχει περίπτωση ένα όχημα να διασχίσει μόνο το τόξο $(0, n+n'+1)$ δηλαδή να μην φύγει από την αποθήκη. Η διατήρηση της ροής εξασφαλίζεται μέσω της σχέσης (15). Χρονικές μεταβλητές χρησιμοποιούνται για να αποκλειστούν τα μικρότερα δρομολόγια στη σχέση (16), δεδομένου ότι $(t_{ij} + d_i) > 0$ για όλα τα $(i, j) \in A$. Οι περιορισμοί (17) και (18) εγγυώνται ότι η χωρητικότητα ενός οχήματος δεν υπερβαίνεται κατά τη διάρκεια του δρομολογίου του. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η διατύπωση απαιτεί την εισαγωγή επιπρόσθετων μεταβλητών απόφασης, Q_i^k που αναφέρονται στο συνολικό φορτίο του οχήματος k στο κόμβο i . Αυτές οι μεταβλητές δεν είναι αναγκαίες κατά την διατύπωση του βασικού VRP αλλά είναι απαραίτητες για την επέκτασή του σε πρόβλημα Pickup and Delivery. Σε μοντελοποιήσεις VRP ανισότητες όπως η (17) χρησιμοποιούνται μερικές φορές για να εξασφαλίσουν ενότητα δρομολογίου. Επιπλέον, στη σχέση (17) η ισότητα είναι αναγκαία μόνο για τη περίπτωση ενός PDVRP (PDTSP). Για διαφορετικά είδη VRPPD μπορεί να αντικατασταθεί από “ \geq ”. Μη γραμμικοί περιορισμοί όπως οι σχέσεις (16), (17) μπορούν να γραμμικοποιηθούν μέσω της big M μεθόδου (cf. Cordeau 2006).

3.4.1 PDVRP (Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem)

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των PDVRP είναι ότι κάθε μονάδα η οποία παραλαμβάνεται (pickup) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ικανοποιήσει απαίτηση

οποιοδήποτε πελάτη. Η πιο πάνω διατύπωση (11)-(19) είναι ήδη κατάλληλη για PDVRP, οπότε δεν χρειάζεται περαιτέρω προσαρμογή.

3.4.2 PDP (Pickup and Delivery Problem)

Εδώ οποιοδήποτε pickup σημείο συσχετίζεται με ένα deliver σημείο και επομένως $n=n'$. Μαζί με τις σχέσεις (11)-(19), χρειάζονται άλλα δύο πακέτα περιορισμών. Πρώτον, κάθε προέλευση (origin) και προορισμός (destination) μιας απαίτησης πρέπει να εξυπηρετείται από το ίδιο όχημα,

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij}^k - \sum_{j:(n+i,j) \in A} x_{n+i,j}^k = 0 \quad \forall i \in P, k \in K. \quad (20)$$

Επιπλέον, η παράδοση (deliver) μπορεί να εμφανίζεται μόνο μετά την παραλαβή (pickup), δηλαδή

$$B_i^k \leq B_{n+i}^k \quad \forall i \in P, k \in K. \quad (21)$$

3.4.3 DARP (Dial-A-Ride Problem)

Για να προεκτείνουμε το PDP πολλών οχημάτων σε DARP πολλών οχημάτων, και πάλι, όπως στη περίπτωση του μοναδικού οχήματος, πρέπει να προστεθούν περιορισμοί που αναφέρονται στην άνεση του πελάτη. Όπως στην εκδοχή του ενός οχήματος θα περιορίσουμε αυτή την απαίτηση στο να προσθέσουμε περιορισμούς μέγιστης διάρκειας μεταφοράς χρήστη (μέσα στο όχημα) στη μοντελοποίηση που προκύπτει από τις σχέσεις (11)-(21):

$$B_{n+i}^k - (B_i^k + d_i) \leq L_i \quad \forall i \in P, k \in K. \quad (22)$$

3.5 Επιπρόσθετοι Περιορισμοί

Δύο ακόμα πακέτα περιορισμών μπορούν να προστεθούν σε όλες τις παραπάνω κατηγορίες προβλημάτων. Αυτά είναι τα *παράθυρα χρόνου* και οι περιορισμοί *μέγιστης διάρκειας δρομολογίου*.

$$e_i \leq B_i^k \leq l_i \quad \forall i \in V, k \in K, \quad (23)$$

$$B_{n+n'+1}^k - B_0^k \leq T^k \quad \forall k \in K. \quad (24)$$

3.6 Εξεταζόμενοι Αλγόριθμοι

Οι αλγόριθμοι που εξετάζουμε είναι τρεις, οι δύο εκ των οποίων είναι ευρετικοί και μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιοδήποτε μεγέθους δίκτυο για την εύρεση υποβέλτιστης λύσης, ενώ ο απόλυτος χρησιμοποιείται μόνο σε δίκτυο περιορισμένου μεγέθους (μέχρι 8 κόμβους) δίνοντας την βέλτιστη λύση. Παρακάτω θα αναπτύξουμε τη βασική λειτουργία των αλγορίθμων αυτών.

3.6.1 InsertionH Algorithm

Αυτός ο αλγόριθμος ο οποίος θα αναλυθεί αποτελεί μια παραλλαγή αυτού που ανέλυσε ο Jaw και παρουσιάστηκε από τον Αθανάσιο Λόη [12]. Η βασική του λειτουργία είναι να κατασκευάσει μια αρχική αποστολή για κάθε ένα δρομολόγιο. Αυτή η λύση μπορεί να βελτιωθεί αργότερα από άλλες μεθόδους βελτιστοποίησης. Σ' ένα στάδιο προεπεξεργασίας ο αλγόριθμος δημιουργεί μια κενή διαδρομή για κάθε όχημα. Τότε για κάθε απαίτηση δρομολογίου βρίσκει την καλύτερη θέση – σε όρους κόστους – για να τη καταχωρήσει εξετάζοντας όλες τις διαδρομές των οχημάτων. Εάν αυτή η θέση βρεθεί τότε η απαίτηση καταχωρείται. Διαφορετικά, εάν δε βρεθεί ούτε μια θέση τότε η απαίτηση απορρίπτεται. Στο τέλος της εκτέλεσης, συγκεκριμένα δρομολόγια έχουν καταχωρηθεί σε συγκεκριμένα οχήματα. Το μοναδικό ελάττωμα αυτού του αλγορίθμου αποτελεί το γεγονός ότι επιφορτίζει με πολλές απαιτήσεις το

πρώτο όχημα. Αυτό συμβαίνει διότι εφαρμόσαμε μια παραλλαγή στην οποία η έρευνα για κάθε απαίτηση ξεκινάει πάντοτε με διαφορετικό όχημα κάθε φορά. Μια περιγραφή ψευδοκώδικα για τον InsertionH αλγόριθμο ακολουθεί πιο κάτω:

Συμβολογία

$V = \{1, 2, 3, \dots, |V|\}$ = ομάδα οχημάτων

$R_{v \in \{1, 2, \dots, |V|\}}$ = είναι το χρονοδιάγραμμα του δρομολογίου για κάθε $v \in V$

$RC_{v \in \{1, 2, \dots, |V|\}}$ = είναι το κόστος του δρομολογίου για κάθε $v \in V$

N = είναι το πλήθος των απαιτήσεων ταξιδιού. Κάθε απαίτηση ταξιδιού περιλαμβάνει ένα κόμβο προέλευσης και ένα κόμβο προορισμού.

$TR_{i \in \{1, 2, \dots, N\}}$ = είναι η ακολουθία των απαιτήσεων.

$EPTi_{i \in \{1, 2, \dots, N\}}$ = ο μικρότερος χρόνος παραλαβής της απαίτησης ταξιδιού i .

BIP_{iv} = η καλύτερη θέση καταχώρησης της i -th απαίτησης Tri στο χρονοδιάγραμμα δρομολογίου Rv

$MinCostBIP_{iv}$ = είναι το κόστος της καλύτερης θέσης καταχώρησης της απαίτησης Tri στο χρονοδιάγραμμα δρομολογίου Rv

Ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου έχει ως εξής:

Βήμα0: για κάθε v στο V δημιούργησε ένα άδειο Rv

Βήμα1: ταξινόμησε το Rv σε φθίνουσα σειρά σύμφωνα με το RCv

Βήμα2: ταξινόμησε το Tri σε αύξουσα σειρά σύμφωνα με τις απαιτήσεις $EPTi$

Βήμα3: για κάθε $TRi_{i \in \{1, 2, \dots, N\}}$

 Βήμα3.1: ταξινόμησε το Rv σε αύξουσα σειρά σύμφωνα με το RCv

 Βήμα3.2: για κάθε $Rv_{v \in \{1, 2, \dots, |V|\}}$ κάνε

 Βρες το BIP_{iv}

Υπολόγισε το $MinCostBIP_{iv}$

Βήμα3.3: εάν δεν βρεθεί κάποιο $MinCostBIP_{iv}$ πήγαινε στο βήμα3.6

Βήμα3.4: απ'όλα τα $MinCostBIP_{iv}$ επέλεξε το ελάχιστο

Βήμα3.5: ανάθεσε αυτό το TR_i στο κατάλληλλο R_i και πήγαινε στο βήμα3

Βήμα3.6: απέρριψε αυτή την απαίτηση και επανέλαβε το βήμα3

end for

3.6.2 Regret Algorithm

Ο κύριος σκοπός αυτού του αλγορίθμου, ο οποίος παρουσιάστηκε από τον Αθανάσιο Λόη [12], είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους για όλα τα οχήματα. Ακολουθεί τη βασική αρχή μετάνοιας όπου η απόλυτη διαφορά μεταξύ του ελάχιστου κόστους και του αμέσως επόμενου ελάχιστου κόστους χρησιμοποιείται ως μέτρο επίλυσης του προβλήματος. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιεί μια γρήγορη ευρετική μέθοδο έτσι ώστε να παράγει μια αρχική λύση και αυτή η μέθοδος είναι η InsertionH. Ύστερα ξεκινούμε τη διαδικασία μετάνοιας και κατασκευάζουμε τον αντίστοιχο πίνακα. Κάθε γραμμή εκφράζει τη διαδρομή που εξήγαγε η αρχική ευρετική μέθοδος. Κάθε διαγώνιο κελί στον δυσδιάστατο πίνακα εκφράζει το κόστος της πιο ακριβής απαίτησης του δρομολογίου που περιγράφεται στη αντίστοιχη γραμμή. Κάθε στοιχείο του πίνακα (εκτός από το διαγώνιο) εκφράζει το κόστος που θα παραχθεί εάν καταχωρήσουμε την προαναφερθείσα πιο ακριβή απαίτηση μέσα στο δρομολόγιο της αντίστοιχης γραμμής. Εάν η καταχώρηση δεν είναι εφικτή τότε θέτουμε το κόστος καταχώρησης αυθαίρετα ως ένα τεράστιο ποσό. Χρησιμοποιώντας τον πίνακα προσδιορίζουμε το "κέρδος" το οποίο έχουμε εάν μετακινήσουμε απαιτήσεις από το ένα δρομολόγιο στο άλλο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εφαρμόζοντας τον παρακάτω κανόνα: για κάθε στήλη υπολόγισε τις διαφορές μεταξύ του διαγώνιου στοιχείου και κάθε άλλου πάνω στη στήλη. Εάν τουλάχιστον μια

διαφορά είναι θετική τότε επέλεξε το μεγαλύτερο στοιχείο. Ύστερα μετακίνησε τη σχετική απαίτηση στη κατάλληλη σειρά (στη περίπτωση μας δρομολόγιο).

Συμβολογία

$V = \{1, 2, 3, \dots, |V|\}$ = ομάδα οχημάτων

$R_{v \{v=1, 2, \dots, |V|\}}$ = χρονοδιάγραμμα δρομολογίου για κάθε $v \in V$

$|R_v|$ = μέγεθος χρονοδιαγράμματος δρομολογίου το οποίο καθορίζεται από τον αριθμό των απαιτήσεων οι οποίες περιλαμβάνονται στο δρομολόγιο

$RC_{v \{v=1, 2, \dots, |V|\}}$ = κόστος δρομολογίου

$TRC = \sum_1^{|V|} RC_v$ συνολικό κόστος όλων των δρομολογίων

$DR_{kv \{k=1, 2, \dots, |R_v|\}, \{v=1, 2, \dots, |V|\}}$ = η καταχωρημένη απαίτηση k ανήκει στο δρομολόγιο v

$DMaxR_v \{v=1, 2, \dots, |V|\}$ = το μεγαλύτερο κόστος απαίτησης όσον αφορά το δρομολόγιο v

$RCostDMaxR_{vm \{v=1, 2, \dots, |V|\}, \{l=1, 2, \dots, |V|\}, v < l}$ = το επιπλέον κόστος στο δρομολόγιο m που προκύπτει σε αυτό εάν μετακινήσουμε την απαίτηση (με το μεγαλύτερο κόστος) από το δρομολόγιο v

$CostMatrix[v, m] \{m=1, 2, \dots, |V|\}, \{v=1, 2, \dots, |V|\}$ = δυσδιάστατος πίνακας κόστους για τον αλγόριθμο Regret. Οι διαγώνιες θέσεις $CostMatrix[v, v]$ περιέχουν $DMaxR_v$ ενώ οι άλλες θέσεις $CostMatrix[v, m] \{m < v\} \{m=1, 2, \dots, |V|\}, \{v=1, 2, \dots, |V|\}$ περιέχουν $RCostDMaxR_{vm}$

$RegretCostMatrix[v] \{v=1, 2, \dots, |V|\}$ = μονοδιάστατος πίνακας ο οποίος περιέχει τη μέγιστη διαφορά μεταξύ του ελάχιστου $RCostDMaxR_{vm \{m=1, 2, \dots, |V|\}}$ και της σχετικής τιμής $DMaxR_v$

Ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου έχει ως εξής:

Βήμα0: εκτέλεσε τον αλγόριθμο InsertionH

υπολόγισε το **TRC**

ΝέοTRC=TRC

Βήμα1: όσο (**TRC-ΝέοTRC>0**)

TRC=ΝέοTRC

Βήμα1.1: για κάθε **v** μέσα στο **V**

για κάθε $DR_{kv} \{k=1,2,\dots,|R|\}$

βρες $DMaxR_v$

$CostMatrix[v,v] = DMaxR_v$

Βήμα1.2: για κάθε $DMaxR_v \{v=1,2,\dots,|V|\}$

για κάθε **m** μέσα στο **V**

βρες $RCostDMaxR_{v,m} \{v=1,2,\dots,|V|\}, \{m=1,2,\dots,|V|\}, v < m$

$CostMatrix[v,m] = RCostDMaxR_{vm}$

Βήμα1.3: για κάθε **v** μέσα στο **V**

$RegretCostMatrix[v] = positiveMax(DMaxR_v -$

$CostMatrix[v,m]) \{m=1,2,\dots,|V|\}$ η μεγαλύτερη θετική διαφορά

μετακίνησε την απαίτηση $DMaxR_v$ από το δρομολόγιο **n** στο **m**

Βήμα1.4: υπολόγισε νέο **TRC**

end

3.6.3 Exact Algorithm

Αυτός ο αλγόριθμος παρουσιάστηκε από τον Αθανάσιο Λόη [12] και είναι μια DP (dynamic programming) υλοποίηση. Εξετάζει όλους τους πιθανούς εφικτούς συνδυασμούς οχημάτων και ανάθεσης ταξιδιών. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ο αλγόριθμος βελτιώνει συνεχώς τη λύση δηλαδή όταν ένας συνδυασμός καταχωρήσεων των απαιτήσεων έχει υψηλότερο κόστος από μια προηγούμενη λύση, τότε δεν εφαρμόζεται περαιτέρω έρευνα πάνω σε αυτό το συνδυασμό. Προκειμένου

να περιγράψουμε τον αλγόριθμο παρέχονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τη συμβολογία και τις σχέσεις που επαναλαμβάνονται περιοδικά.

Συμβολογία

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ = ομάδα δρομολογίων που δεν καταχωρούνται

$T_k = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}, k \leq n$ = ομάδα απαιτήσεων που καταχωρούνται σε μια εφικτή λύση.

S_{T_k} = ομάδα εφικτών λύσεων που προκύπτουν από όλους τους συνδυασμούς δρομολογίων που ανήκουν στο T_k

MinCost = εκφράζει το χαμηλότερο όριο κόστους το οποίο επιτρέπει στον exact αλγόριθμο να απορρίπτει όλες τις εφικτές λύσεις με μεγαλύτερο κόστος

Το **MinCost** θα μπορούσε να είναι:

Αρχικά τεράστιος αριθμός

ή Το κόστος μιας εφικτής λύσης που παράγεται από έναν InsertionH αλγόριθμο σε ένα στάδιο προ-επεξεργασίας

ή Το κόστος μιας εφικτής λύσης, που περιέχει όλες τις απαιτήσεις της ομάδας T , και παράγεται από έναν DP Exact αλγόριθμο

$PS(S_{T_k}, t_i, MinCost)$ = επιστρέφει όλες τις εφικτές λύσεις συνδυάζοντας κάθε λύση που περιέχεται στο S_{T_k} με το καινούργιο δρομολόγιο t_i , δεδομένου του *MinCost*

Η επαναλαμβανόμενη σχέση και το πρόβλημα του $S_{T(k+1)} = PS(S_{T_k}, t_{(k+1)}, MinCost)$ μειώνεται στο $S_{T(k=n)}$. Σε αυτή τη περίπτωση η ομάδα $S_{T(k=n)}$ περιέχει όλες τις απαιτήσεις που περιλαμβάνονται στο T . Μετά την εκτίμηση όλων των εφικτών λύσεων που περιέχονται στο $S_{T(k=n)}$ εντοπίζεται τελικά η βέλτιστη λύση.

Ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου έχει ως εξής

Βήμα0: $T_k = \{ \}, k = 0$

$S_{T_k} = \{ \}$

$MinCost = Min$ (αυθαίρετα τεράστιος αριθμός, κόστος της καλύτερης εφικτής λύσης που προκύπτει από οποιονδήποτε InsertionH αλγόριθμο)

Βήμα1: για κάθε απαίτηση t_i μέσα στην ομάδα T

Βήμα2: $S_{T_{k+1}} = PS(S_{T_k}, t_i, MinCost)$

Βήμα3: απέρριψε από το $S_{T_{k+1}}$ όλες τις εφικτές λύσεις με κόστος μεγαλύτερο από το $MinCost$

Βήμα4: $T_k = T_k \cup t_i, T = T \cap t_i$

Βήμα5: if $T \neq \{ \}$ επανέλαβε βήμα1

else

$MinCost = Min(S_{T_{k+1}})$

Σημείωσε την λύση με κόστος ίσο με το $MinCost$

Επέστρεψε στη προηγούμενη κατάσταση

End if

Κεφάλαιο 4 Μοντελοποίηση Προβλήματος

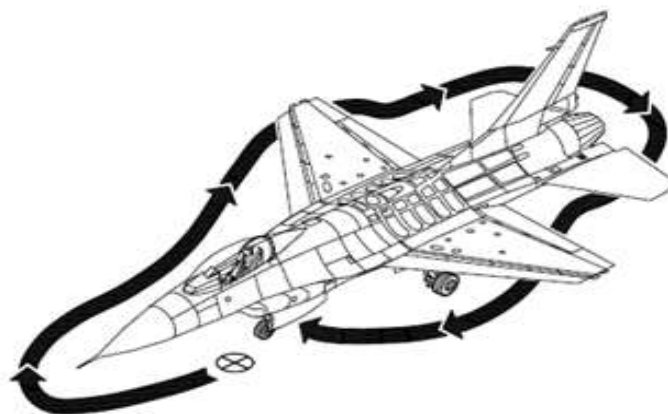
Στην προσπάθεια να βελτιστοποιηθεί η Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρηση και η Επαναδιάθεση (Quick Turnaround) ενός αεροσκάφους τύπου F-XX οι οποίες αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, χωρίς την παραμικρή παράλειψη επιθεώρησης κάποιου συστήματος του α/φους και τηρώντας πιστά όλους τους περιορισμούς και τα μέτρα ασφαλείας που αναφέρονται στη βιβλιογραφία του κατασκευαστή, υλοποιείται η μοντελοποίηση του προβλήματος των επιθεωρήσεων η οποία περιγράφεται παρακάτω.

4.1 Μοντελοποίηση Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρησης

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζεται μια Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρηση η οποία προκύπτει μετά από αρκετή εξάσκηση και χρόνια εμπειρίας του τεχνικού δίπλα στο αεροσκάφος. Όπως αποδεικνύεται παρακάτω, με τη συγκεκριμένη διαδικασία ένας υπόλογος επιτυγχάνει μια γρηγορότερη επιθεώρηση (από αυτή που αναφέρεται στα τεχνικά εγχειρίδια) χωρίς να παραμελεί τους προβλεπόμενους περιορισμούς.

4.1.1 Επιθεώρηση

Όλες οι παραδοχές που εφαρμόστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο ισχύουν και στο παρόν με την προσθήκη μιας μόνο θεώρησης σχετικά με τη διαδικασία του γρήγορου οπτικού ελέγχου περιμετρικά και πάνω στο αεροσκάφος για τυχόν στοιχεία διαρροής ή χτυπήματα (walkaround). Συγκεκριμένα, λαμβάνεται ως δεδομένο το γεγονός ότι μετά το πέρας της προσγείωσης, στάθμευσης, κράτησης του κινητήρα, εξόδου του ιπταμένου και ρυμούλκησης του αεροσκάφους στο καταφύγιο (shelter) από ειδικό όχημα, ο υπόλογος διενεργεί τη διαδικασία του walkaround πριν ξεκινήσει την κυρίως επιθεώρηση ακολουθώντας την παρακάτω πορεία γύρω από το αεροπλάνο.



Σχήμα 4-1: Στο συγκεκριμένο σχήμα φαίνεται ξεκάθαρα η διαδρομή που ακολουθεί ο τεχνικός κατά τη διαδικασία του walkaround.

Επίσης, θεωρούμε ότι η τοποθέτηση προστατευτικών καλυμμάτων και πύρων ασφαλείας στα συστήματα όπου απαιτείται, υλοποιείται με τη ταυτόχρονη επιθεώρηση αυτών από τον υπόλογο.

Μοντελοποιώντας το αεροσκάφος σε στοιχειώδεις κόμβους επιθεώρησης τους οποίους θέλω να επισκεφτώ μόνο μια φορά με το βέλτιστο συνολικό κόστος, που στη περίπτωση μας αποτελεί ο χρόνος και ομαδοποιώντας τους σε περιοχές, εξάγω τα παρακάτω:

Έχω συνολικά 19 περιοχές και 93 σημεία-κόμβοι επιθεώρησης. Πιο αναλυτικά:

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΠΛΗΘΟΣ ΚΟΜΒΩΝ
1. Αριστερό σύστημα προσγείωσης	8
2. Ρηναίο σύστημα προσγείωσης	8
3. Cockpit	5
4. Radome	8
5. Αεραγωγός	8
6. Α' υδραυλικό σύστημα+EPU	3
7. Δεξί σύστημα προσγείωσης	8
8. Δεξιά πτέρυγα	5
9. CSD,ADG,FILTERS	8
10. Δεξί οριζόντιο σταθερό	2
11. Ακροφύσιο	3
12. Αριστερό οριζόντιο σταθερό	2
13. CHIP,PTO,FILTERS	7
14. Αρχή ανεφοδιασμού	1
15. Αριστερή πτέρυγα	5
16. Β' υδραυλικό σύστημα+EMS	2
17. Ράχη	8
18. Λάδι	1
19. Πέρασ ανεφοδιασμού	1

Πίνακας 4-1: Ονομασία περιοχών και πλήθος κόμβων από τους οποίους αποτελούνται

Οι παρακάτω χρονικές διάρκειες επίσκεψης, όπου πραγματοποιείται η επιθεώρηση, δεν ταυτίζονται με αυτές της βιβλιογραφίας αλλά αποτελούν αντιπροσωπευτικές τιμές επιθεώρησης ενός μέσου υπολόγου 3^{ου} επιπέδου δεξιότητας. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τις τιμές των μεταβάσεων στον επόμενο κόμβο.

1. Αριστερό σύστημα προσγείωσης:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Φορέας centerline- αριστερό τμήμα	10,9	2
2	Πόρτα αριστερού σκέλους προσγείωσης	6	1,6
3	Φιλτράκια αριστερού σκέλους προσγείωσης	4	0,7
4	Αριστερό shock strut	13,6	0,5
5	Προβολέας προσγείωσης	4,4	0,5
6	Actuator αριστερού συστήματος προσγείωσης	4,9	1,6
7	Αριστερός τροχός	30,1	1,6

8	Αριστερό Wheel well, Actuator πόρτας αριστερού σκέλους προσγείωσης, Αριστερό Drag brace, Αριστερό Συγκρότημα φρένων	51,5	5,3
---	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------	-----

Πίνακας 4-2: 1^η περιοχή κόμβων

2. Ρηναίο σύστημα προσγείωσης:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
9	Ρηναίο Wheel well	10,9	0,3
10	Bumper	1,3	1,7
11	Ρηναίο Drag brace	10,3	0,6
12	Πόρτα ρηναίου σκέλους προσγείωσης	2,7	2,5

13	Actuator πόρτας ρηναίου σκέλους προσγείωσης	3,3	0,9
14	Ρηναίο Shock strut	8,2	0,4
15	Ψαλίδα	4,5	0,8
16	Ρηναίος τροχός, Actuator ρηναίου σκέλους προσγείωσης	17,4	9,6

Πίνακας 4-3: 2^η περιοχή κόμβων

3. Cockpit:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
17	Καλύπτρα	17,6	0,9
18	Φιάλη οξυγόνου	1,2	0,4
19	Σύρμα ενεργοποίησης	1,9	1,3

	οξυγόνου		
20	Σωστικά μέσα	2,4	3,8
21	Διαδικασία safety cockpit	84	7,2

Πίνακας 4-4: 3^η περιοχή κόμβων

4. Radome:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
22	Αριστερός αισθητήρας γωνίας προσβολής	2,8	2
23	Σωλήνας pitot	5,9	2
24	Δεξιός αισθητήρας γωνίας προσβολής	2,8	2,1
25	Σωλήνας air data	3,9	2,7
26	Σωλήνας ολικής θερμοκρασίας	3,8	2,1

27	Έμπροσθεν οπές αποστράγγισης	8,4	0,9
28	Κάτω κεραίες	5,4	0,9
29	Κεραία υψομέτρου radar	4,9	3,6

Πίνακας 4-5: 4^η περιοχή κόμβων

5. Αεραγωγός:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
30	Αριστερό φως ναυτιλίας αεραγωγού	7,6	4,2
31	Δεξί φως ναυτιλίας αεραγωγού	7,6	2,6
32	Χείλος προσβολής αεραγωγού	9,7	15,3
33	Struts κινητήρα	25,7	0,7

34	Κινητά μέρη struts	25,9	0,4
35	Κώνος-centerbody	8,4	1,9
36	Αισθητήρας θερμοκρασίας T2	5,3	1,7
37	Ρώτορας, Στάτορας, Strut αεραγωγού, Αισθητήρας πάγου	94,6	13,7

Πίνακας 4-6: 5^η περιοχή κόμβων

6. Α΄ υδραυλικό σύστημα+EPU:

Α/Α κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
38	Ενδείκτης ενεργοποίησης EPU, ποσότητα Α΄ υδραυλικού, dump	18,2	1,3
39	Ενδείκτης διαρροής υδραζίνης	0,9	3,3

40	Στάθμη ελαίου EPU	5	5,5
----	-------------------	---	-----

Πίνακας 4-7: 6^η περιοχή κόμβων

7. Δεξί σύστημα προσγείωσης:

Α/Α κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
41	Φορέας centerline- δεξί τμήμα	10,9	2
42	Πόρτα δεξιού σκέλους προσγείωσης	6	1,6
43	Φιλτράκια δεξιού σκέλους προσγείωσης	2	0,7
44	Δεξί shock strut	13,6	0,5
45	Προβολέας τροχοδρόμησης	4,5	0,5
46	Actuator δεξιού συστήματος	4,9	1,4

	προσγείωσης		
47	Δεξιός τροχός	30,1	1,6
48	Δεξί Wheel well, Actuator πόρτας δεξιού σκέλους προσγείωσης, Δεξί Drag brace, Δεξί Συγκρότημα φρένων	51,5	3,2

Πίνακας 4-8: 7^η περιοχή κόμβων

8. Δεξιά πτέρυγα:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
49	Δεξιά δεξαμενή καυσίμου	46,1	1,4
50	Δεξιός εκτοξευτήρας missile launcher	22,1	0,9
51	Δεξιός εκτοξευτήρας LAU	16,2	3,1

129

52 Δεξί flaperon 38,4 2,8

53 Δεξί πτερύγιο 24,2 5,7
χείλους προσβολής-
leading edge flap

Πίνακας 4-9: 8^η περιοχή κόμβων

9. CSD, ADG, Filters:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
54	Main shut off valve, θυρίδα flap	5,9	3,3
55	EECFCS valve, όπισθεν οπές αποστράγγισης	10,1	5,2
56	*Στάθμη ελαίου ADG, φιλτράκι ADG	3	0,4

57	Στάθμη ελαίου CSD, φιλτράκι CSD, φιλτράκι main generator	4,4	3,5
58	Πίεση συσσωρευτών- accumulators JFS	18,2	4,5
59	Φιλτράκι augmenter	5,3	2,8
60	Δεξί πτερύγιο ευστάθειας	8,1	2,1
61	Πίεση συσσωρευτή- accumulator αλεξιπτώτου	9,5	2,8

Πίνακας 4-10: 9^η περιοχή κόμβων

10. Δεξί οριζόντιο σταθερό:

Α/Α κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
62	Ανοχές δεξιού stabilizer, ρογμές,	13,1	0,9

discharger			
------------	--	--	--

63	Φίσεις δεξιού συστήματος αεροφρένων, κοπίλιες, ejector nozzles	25,1	1,4
----	----------------------------------------------------------------------------	------	-----

Πίνακας 4-11: 10^η περιοχή κόμβων

11. Ακροφύσιο:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
64	Αλεξίπτωτο	4,1	1,5
65	Πρωτεύων- αποκλίνων- εξωτερικά πτερύγια ακροφυσίου	44,5	24,6
66	Χώρος εξαγωγής καυσαερίων, liner, duct	62,2	19,3

Πίνακας 4-12: 11^η περιοχή κόμβων

12. Αριστερό οριζόντιο σταθερό:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
67	Ανοχές αριστερού stabilizer, ρωγμές, discharger	13,1	0,9
68	Φίσεις αριστερού συστήματος αεροφρένων, κοπίλιες, ejector nozzles	25,1	4,5

Πίνακας 4-13: 12^η περιοχή κόμβων

13. CHIP, PTO, Filters:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
69	Θυρίδα chaffing	22,6	3,5
70	Φιλτράκια lube- hydraulic	6,9	1,7

71	Fan discharge temperature sensor	6,2	2
72	Κύρια αντλία καυσίμου	4,1	1,8
73	Αριστερό πτερύγιο ευστάθειας	8,1	1,1
74	Πίεση συσσωρευτών- accumulators flight control	9,8	2,5
75	Chip	12,6	8,8

Πίνακας 4-14: 13^η περιοχή κόμβων

14. Αρχή ανεφοδιασμού:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
76	**Εναρξη ανεφοδιασμού	25	1,6

Πίνακας 4-15: 14^η περιοχή κόμβων

15. Αριστερή πτέρυγα:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
77	Αριστερή δεξαμενή καυσίμου	46,1	1,4
78	Αριστερός εκτοξευτήρας missile launcher	22,1	0,9
79	Αριστερός εκτοξευτήρας LAU 129	16,2	3,1
80	Αριστερό flaperon	38,4	2,8
81	Αριστερό πτερύγιο χείλους προσβολής- leading edge flap	24,2	5,2

Πίνακας 4-16: 15^η περιοχή κόμβων

16. Β' υδραυλικό σύστημα+EMS:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
82	Remote status panel, EMS fault, GO NOGO	8,9	1,8
83	Ποσότητα Β' υδραυλικού, dump	18,2	15,3

Πίνακας 4-17: 16^η περιοχή κόμβων

17. Ράχη:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
84	Θυρίδα εναέριου ανεφοδιασμού	5,8	1,1
85	Βαλβίδα αρνητικής πίεσης	2	1,2
86	Πάνω-μπροστά κεραία tacan	3,9	2,9

87	Πάνω-πίσω κεραία	6,5	3,8
88	Gun port	2,4	2,1
89	Θυρίδα εξαερισμού πυροβόλου M61A1	17,5	0,3
90	Πυροβόλο M61A1	8,5	8
91	Θυρίδα αλεξιπτώτου	5,7	17,8

Πίνακας 4-18: 17^η περιοχή κόμβων

18. Λάδι:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
92	***Στάθμη ελαίου δεξαμενής αεροσκάφους	6,9	5

Πίνακας 4-19: 18^η περιοχή κόμβων

19. Πέρασ ανεφοδιασμού:

Α/Α κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
93	****Πέρασ ανεφοδιασμού	23	4

Πίνακας 4-20: 19^η περιοχή κόμβων

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία του αεροσκάφους:

*: το κόμβο 56 πρέπει να επισκεφθώ σε χρόνο ≥ 30 λεπτών από τη κράτηση του κινητήρα. Ωστόσο θεωρώ ότι οι διαδικασίες της ρυμούλκησης του αεροσκάφους στο καταφύγιο και του walkaround οι οποίες ακολουθούν, αθροιστικά διαρκούν περίπου 5 λεπτά. Οπότε πρέπει να επισκεφθώ το κόμβο 56 σε χρόνο ≥ 25 λεπτών από την έναρξη της επιθεώρησης του υπολόγου.

** : το κόμβο 76 θέλω να επισκεφθώ σε χρόνο ≤ 1150 δευτερολέπτων (βέλτιστη τιμή η οποία προέκυψε από το πρόγραμμα) από τη κράτηση του κινητήρα έτσι ώστε να μπορέσω να σημειώσω την χρονική στιγμή επίσκεψής του, την οποία χρησιμοποιώ παρακάτω.

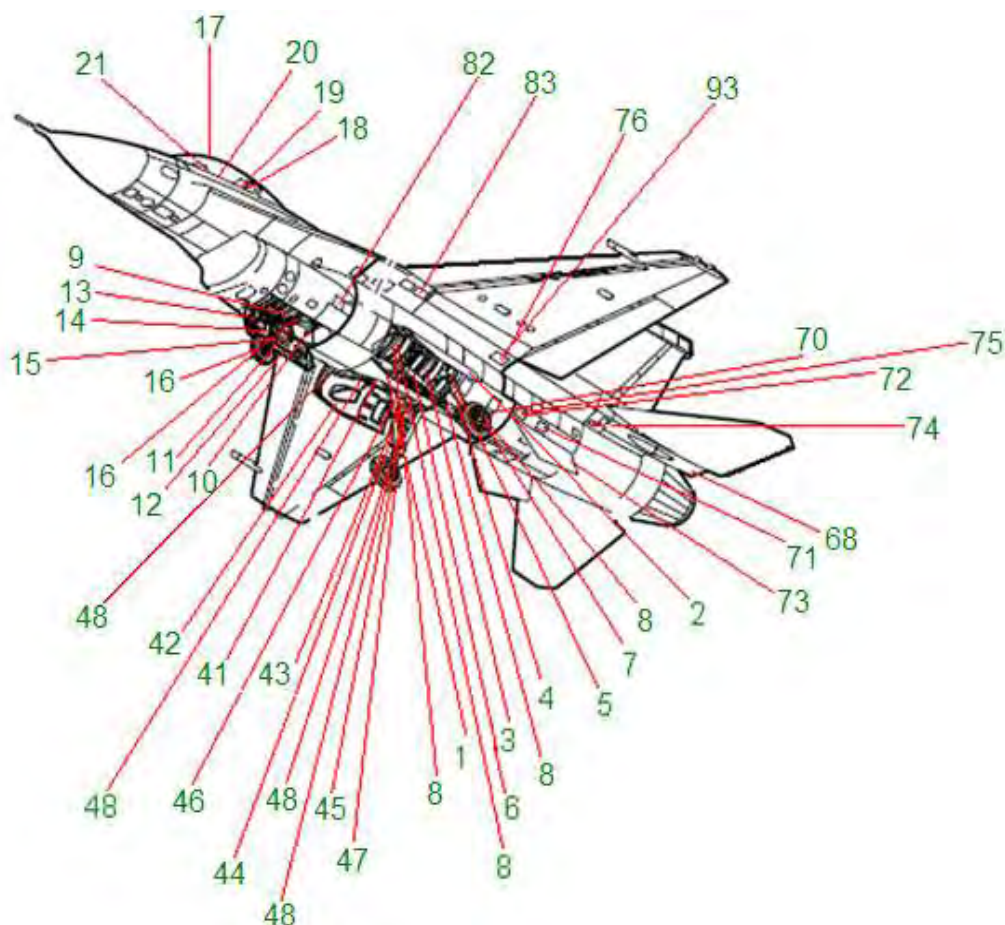
***: το κόμβο 92 πρέπει να επισκεφθώ σε χρόνο ≥ 5 και ≤ 30 λεπτών από τη κράτηση του κινητήρα. Εξαιτίας όμως των παραπάνω πρέπει να επισκεφθώ το κόμβο 92 σε χρόνο ≤ 25 λεπτών από την έναρξη της επιθεώρησης του υπολόγου.

****: το κόμβο 93 πρέπει να επισκεφθώ υποχρεωτικά **μετά το κόμβο 76** και μάλιστα **10 λεπτά από την επίσκεψη του τελευταίου** (χρονική διάρκεια ανεφοδιασμού) δηλαδή σε χρόνο ≥ 10 λεπτών + 1150 δευτερολέπτων ή ≥ 1750 δευτερολέπτων.

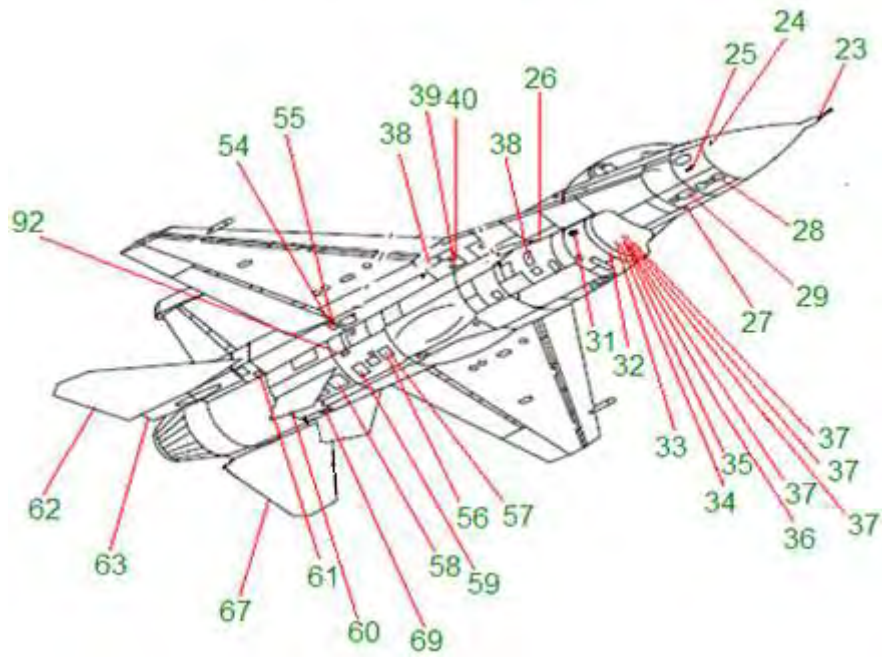
4.1.2 Συμπεράσματα

Ο συνολικός χρόνος επιθεώρησης του αεροσκάφους, τηρώντας όλους τους παραπάνω χρονικούς περιορισμούς σύμφωνα με τον κατασκευαστή και ακολουθώντας την παραπάνω ακολουθία επίσκεψης κόμβων, υπολογίζεται ακριβώς στα 2019 δευτερόλεπτα.

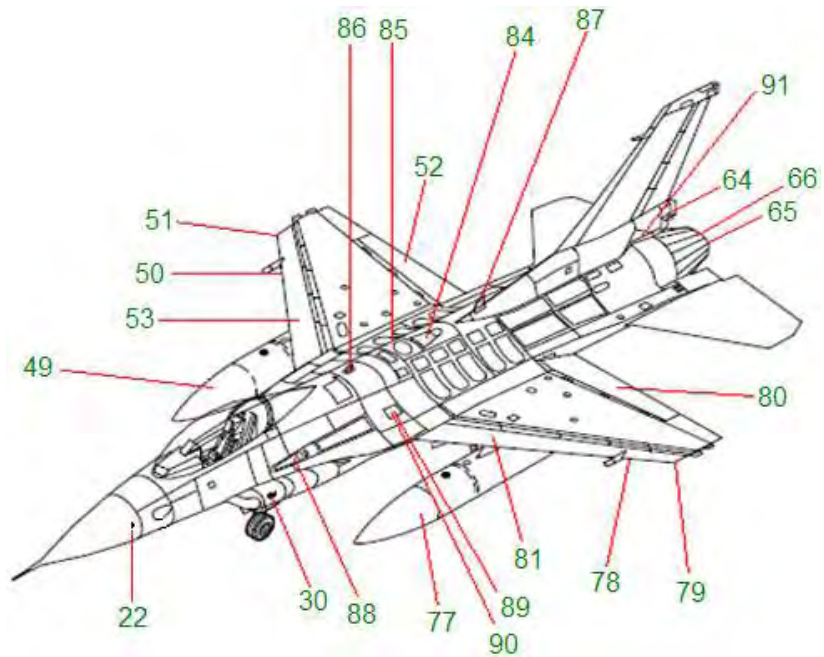
Η θέση κάθε κόμβου φαίνεται αναλυτικά στο κεφάλαιο της μεταξύ πτήσεων επιθεώρησης, το οποίο προηγήθηκε. Μια συγκεντρωτική εικόνα όλων των κόμβων-σημείων επιθεώρησης που προκύπτουν από την μοντελοποίηση, παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα. Η συγκεκριμένη αριθμητική σειρά δηλώνει και τη σειρά επιθεώρησής τους από τον υπόλογο σύμφωνα με την πιο πάνω μοντελοποίηση.



Σχήμα 4-2: Σε αντίθεση με την Μ.Π.Ε η οποία εφαρμόζεται σύμφωνα με τα τεχνικά εγχειρίδια (σχήμα 2-44), εδώ παρατηρούμε το γεγονός ότι ο έμπειρος τεχνικός επισκέπτεται τις διάφορες περιοχές του αεροσκάφους επιθεωρώντας τα σχετικά σημεία χωρίς να επανέρχεται σε αυτές για 1 ή περισσότερες φορές.



Σχήμα 4-3: Εδώ φαίνεται ξεκάθαρα η ομοιόμορφη κατανομή των επισκέψεων του έμπειρου τεχνικού όπως και στο προηγούμενο σχήμα από διαφορετική όμως οπτική γωνία του αεροσκάφους.



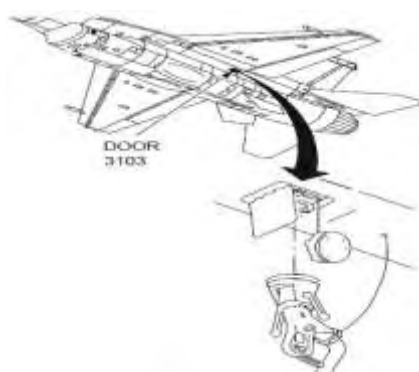
Σχήμα 4-4: Ομοίως, παρατηρείται από διαφορετική όψη η κλιμάκωση της επιθεώρησης των σημείων που ανήκουν σε κοινές περιοχές.

4.2 Μοντελοποίηση Επαναδιάθεσης

Παρακάτω παρουσιάζεται μια ταχεία επιθεώρηση – επαναδιάθεση η οποία εφαρμόζεται από έμπειρους τεχνικούς (τουλάχιστον τρία χρόνια εργασίας στο συγκεκριμένο τύπο μαχητικού αεροσκάφους), οι οποίοι έχουν καταφέρει να βρουν ένα μονοπάτι επίσκεψης των κόμβων το οποίο τους οδηγεί σε μια γρήγορη επιθεώρηση. Σημειώνεται ότι δεν έχει εντοπιστεί η παραμικρή παράλειψη και όλοι οι περιορισμοί και τα μέτρα ασφαλείας τηρούνται κατά γράμμα όπως ακριβώς προβλέπουν τα τεχνικά εγχειρίδια.

4.2.1 Επιθεώρηση

Όλες οι παραδοχές που εφαρμόστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο ισχύουν και στο παρόν, εκτός από την διαδικασία του γρήγορου οπτικού ελέγχου περιμετρικά και πάνω στο αεροσκάφος για τυχόν διαπίστωση μεγάλης διαρροής ή χτυπήματος (walkaround), η οποία θεωρούμε ότι υλοποιείται με την ταυτόχρονη επιθεώρηση των κόμβων-περιοχών από τον υπόλογο. Με σκοπό την ορθότερη προσέγγιση ρεαλιστικών αποτελεσμάτων, η χρονική διάρκεια της παραπάνω διαδικασίας διαιρείται και προστίθεται στις αντίστοιχες διάρκειες επιθεώρησης των κόμβων. Σημειώνεται ότι η επαναδιάθεση-επιθεώρηση ξεκινάει αφού πρώτα έχει ολοκληρωθεί η τοποθέτηση του σωλήνα ανεφοδιασμού (μάνικα) με καύσιμο στο αεροσκάφος.



Σχήμα 4-5: Εδώ φαίνεται η θέση της θυρίδα ανεφοδιασμού του αεροσκάφους με καύσιμο.

Μοντελοποιώντας το αεροσκάφος σε στοιχειώδεις κόμβους επιθεώρησης τους οποίους θέλω να επισκεφτώ μόνο μια φορά με το βέλτιστο συνολικό κόστος, που στη περίπτωση μας αποτελεί ο χρόνος, εξάγω τα παρακάτω. Η ομαδοποίηση των κόμβων σε περιοχές στη περίπτωση της επαναδιάθεσης α/φους είναι περιττή λόγω του ήδη μικρού αριθμού σημείων επιθεώρησης.

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Πέρασ ανεφοδιασμού	22,8	4,5
2	Ρηναίο σκέλος προσγείωσης, ρηναίος τροχός, EMS, Engine Go NoGo	32,4	6,3
3	Δεξί σκέλος προσγείωσης, δεξιός τροχός, EPU, Α' υδραυλικό σύστημα	47	4,2
4	Στάθμη ελαίου	25	4,5

	κινητήρα, ADG, ADG CSD Main gen Filters, Main shutt off valve, Hook		
5	Chip detector, Lube-Hydraulic Filters, Main fuel pump, Fan discharge temperature sensor, PTO shaft	22,6	3
6	Αριστερό σκέλος προσγείωσης, αριστερός τροχός. Β' υδραυλικό σύστημα	45	2
7	Αεραγωγός	35,2	6
8	Ακροφύσιο	33,5	-

Πίνακας 4-21: Κόμβοι επιθεώρησης κατά την επαναδιάθεση αεροσκάφους

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία του αεροσκάφους:

**: το κόμβο 1 πρέπει να επισκεφθώ σε χρόνο ≥ 10 λεπτών από την έναρξη της επιθεώρησης του υπολόγου, όσο δηλαδή διαρκεί ο ανεφοδιασμός του α/φους με καύσιμο.*

*** : το κόμβο 4 πρέπει να επισκεφθώ σε χρόνο ≥ 5 και ≤ 30 λεπτών από τη κράτηση του κινητήρα (ώστε να είναι σωστή η ένδειξη της στάθμης ελαίου). Ωστόσο όταν το αεροσκάφος σβήνει και ρυμουλκείται στο καταφύγιο εκκινεί και πάλι με σκοπό να ευθυγραμμίσει κάποια συστήματα ναυτιλίας τα οποία διαθέτει. Όταν ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, σβήνει και ο υπόλογος τοποθετεί τον σωλήνα ανεφοδιασμού στο α/φος ώστε να ξεκινήσει την επιθεώρησή του. Η τελευταία εργασία διαρκεί περίπου 3 λεπτά οπότε του απομένουν σχεδόν άλλα 2 από την έναρξη της επαναδιάθεσης όπου δε μπορεί να επισκεφθεί το κόμβο 4. Συνεπώς ο χρονικός περιορισμός επίσκεψης γίνεται ≥ 100 δευτ. και ≤ 27 λεπτών από την έναρξη της επιθεώρησης του υπολόγου.*

4.2.2 Συμπεράσματα

Ο συνολικός χρόνος επιθεώρησης του αεροσκάφους, τηρώντας όλους τους παραπάνω χρονικούς περιορισμούς σύμφωνα με τον κατασκευαστή και ακολουθώντας την παραπάνω ακολουθία επίσκεψης κόμβων, υπολογίζεται ακριβώς στα 628 δευτερόλεπτα.

Κεφάλαιο 5 Εφαρμογή αλγορίθμου DARP

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε αριθμητικά αποτελέσματα από την εφαρμογή ενός ευρετικού (heuristic) και ενός απόλυτου (exact) αλγορίθμου Dial-A-Ride (ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου) πάνω στις μοντελοποιημένες Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρηση και Επαναδιάθεση ενός μαχητικού αεροσκάφους τύπου F-XX. Σημειώνεται το γεγονός ότι ο exact αλγόριθμος τρέχει αξιόπιστα μόνο για δίκτυα τα οποία αποτελούνται από 8 το πολύ κόμβους.

5.1 DARP στη μοντελοποιημένη Μ.Π.Ε

Στη συγκεκριμένη ενότητα εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο στη μοντελοποιημένη Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρηση με σκοπό να τη βελτιστοποιήσουμε, μεταβάλλοντας κάθε φορά το πλήθος των οχημάτων εξυπηρέτησης των κόμβων όπου στη περίπτωσή μας είναι οι τεχνικοί. Εξετάζουμε την Μ.Π.Ε μοντελοποιώντας την αρχικά σε δίκτυο 94 κόμβων-σημείων επιθεώρησης και στη συνέχεια ομαδοποιώντας αυτά τα σημεία σε 20 κόμβους-περιοχές επιθεώρησης χρησιμοποιώντας τον ευρετικό αλγόριθμο (InsertionH algorithm), λόγω του μεγάλου μεγέθους, λαμβάνοντας υπόψη τον διαφορετικό αριθμό των τεχνικών-οχημάτων (Regret algorithm) που είναι κάθε φορά διαθέσιμα. Στη συνέχεια εξετάζουμε κάθε μία περιοχή ξεχωριστά με σκοπό να τη βελτιστοποιήσουμε και τοπικά, χρησιμοποιώντας στις μεν μικρές περιοχές (μέχρι 8 κόμβους) τον απόλυτο (exact) και στις δε μεγάλες τον ευρετικό (heuristic) αλγόριθμο.

5.1.1 Χρήση ενός οχήματος-τεχνικού

Στη περίπτωση αυτή διαθέτουμε μόλις έναν τεχνικό-όχημα ο οποίος θα κληθεί να εκτελέσει την Μ.Π.Ε.

5.1.1.1 Εύρεση λύσης για δίκτυο 94 κόμβων

Όπως προαναφέρθηκε εφαρμόζουμε τον ευρετικό αλγόριθμο **InsertionH** γι αυτό το μεγάλο δίκτυο των 94 κόμβων χρησιμοποιώντας μόνο έναν τεχνικό με σκοπό να βρούμε τη διαδρομή επιθεώρησης εκείνη σύμφωνα με την οποία θα ελαχιστοποιείται το κόστος ή στη περίπτωσή μας ο χρόνος εξυπηρέτησης του αεροσκάφους. Αναλυτικότερα, οι παράμετροι και τα εισαγωγικά στοιχεία του ευρετικού αλγορίθμου φαίνονται παρακάτω.

PREFERENCES.....προτιμητέα εισαγωγικά στοιχεία του δικτύου

1.....πλήθος οχημάτων εξυπηρέτησης (τεχνικοί)

94.....πλήθος κόμβων (περιλαμβανομένης της εξόδου)

8742.....πλήθος κελιών ($94 \times 94 - 94 = 8742$)

93.....πλήθος κόμβων

12000.....περιοριστική παράμετρος

VEHICLES.....οχήματα

{

VEH01.....όνομα 1^{ου} οχήματος

1000.....χωρητικότητα οχήματος

1.....σημείο αφετηρίας οχήματος

0.....κάτω όριο χρόνου λειτουργίας οχήματος

21600.....άνω όριο χρόνου λειτουργίας οχήματος

94.....σημείο στάθμευσης-εξόδου οχήματος

21500.....κάτω όριο χρονικής στιγμής εξόδου οχήματος

21600.....άνω όριο χρονικής στιγμής εξόδου οχήματος

21599.....περιοριστική παράμετρος

NOF

```

}
NODES.....κόμβοι εξυπηρέτησης-επιθεώρησης
{
1.....αύξων αριθμός κόμβου
AREA01.....όνομα κόμβου
10.....συντεταγμένες
10.....συντεταγμένες
}
...
...
...
{
94
AREA94
1
1
}
ARCS.....τόξα
{
2-2.....προορισμός - χρονική διάρκεια μετάβασης σε αυτόν
1.....προέλευση
2.....προορισμός
2.....χρονική διάρκεια μετάβασης στο προορισμό
2.....χρονική διάρκεια μετάβασης στο προορισμό
0
0
}
...
...
...
{

```

93-5

94

93

5

5

0

0

}

DEMANDS.....απαιτήσεις εξυπηρέτησης

{

Inspection01.....όνομα απαίτησης εξυπηρέτησης κόμβου

1.....σημείο έναρξης

0.....κάτω όριο χρονικής στιγμής επίσκεψης κόμβου

7200.....άνω όριο χρονικής στιγμής επίσκεψης κόμβου

11.....χρονική διάρκεια παραμονής στο κόμβο – διάρκεια επιθεώρησης κόμβου

94.....σημείο εξόδου

1800.....κάτω όριο χρονικής στιγμής επίσκεψης εξόδου

7200.....άνω όριο χρονικής στιγμής επίσκεψης εξόδου

0.....περιοριστική παράμετρος χρόνου

7200.....περιοριστική παράμετρος χρόνου

1

NOF

}

...

...

...

{

Inspection93

93

1750

7200

23
94
1800
7200
0
7200
1
NOF
}

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του ανωτέρω αλγορίθμου στο δίκτυο φαίνονται παρακάτω. Σημειώνεται ότι θα παρουσιάσουμε μόνο ένα τμήμα των αποτελεσμάτων, το οποίο είναι και το σημαντικότερο, λόγω του μεγάλου μεγέθους του αρχείου.

START_SCHEDULE_SESSION

VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1

VEH01 Inspection01 1 1 0 11 0 1 1.....όνομα οχήματος, όνομα απαίτησης επιθεώρησης, αύξων αριθμός κόμβου στη προκύπτουσα διαδρομή, παραλαβή (pickup), είσοδος στο κόμβο, έξοδος από το κόμβο, διάρκεια αναμονής, παραλαβή (pickup), αύξων αριθμός κόμβου στη προκύπτουσα διαδρομή

VEH01 Inspection02 2 1 13 19 0 1 2

VEH01 Inspection03 3 1 21 25 0 1 3

VEH01 Inspection04 4 1 26 40 0 1 4

VEH01 Inspection05 5 1 41 45 0 1 5

VEH01 Inspection06 6 1 46 51 0 1 6

VEH01 Inspection07 7 1 53 83 0 1 7

VEH01 Inspection22 8 1 88 91 0 1 22

VEH01 Inspection09 9 1 96 107 0 1 9

VEH01 Inspection08 10 1 112 164 0 1 8

VEH01 Inspection10 11 1 170 171 0 1 10

VEH01 Inspection11 12 1 173 183 0 1 11

VEH01 Inspection12 13 1 184 187 0 1 12

VEH01 Inspection13 14 1 190 193 0 1 13

[133]

VEH01 Inspection14 15 1 194 202 0 1 14
VEH01 Inspection15 16 1 203 207 0 1 15
....
....
VEH01 Inspection91 92 1 1722 1728 0 1 91
VEH01 Inspection93 93 1 1751 1774 0 1 93
VEH01 Inspection93 94 -1 1800 1800 21 -1 94.....όνομα οχήματος, όνομα απαίτησης
επιθεώρησης, αύξων αριθμός κόμβου στη προκύπτουσα διαδρομή, παράδοση
(deliver), είσοδος στο κόμβο, έξοδος από το κόμβο, διάρκεια αναμονής, παράδοση
(deliver), αύξων αριθμός κόμβου στη προκύπτουσα διαδρομή
VEH01 Inspection56 95 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection81 96 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection91 97 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection90 98 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection89 99 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection88 100 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection87 101 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection86 102 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection85 103 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection84 104 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection83 105 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection82 106 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection70 107 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection80 108 -1 1800 1800 0 -1 94
....
....
VEH01 Inspection22 185 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection09 186 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 EDEPOT 187 -20000 21500 21500 19700 0 94
END_SCHEDULE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:373.....συνολική διανυθείσα απόσταση
TOTAL_TIME:21500

Σε μια προσπάθεια επεξήγησης της διαδικασίας και της διαδρομής που ακολουθεί ο τεχνικός, θα ερμηνεύσουμε την επίσκεψή του στον 1^ο κόμβο και ομοίως ακολουθούν οι υπόλοιποι. Αναφερόμενοι στο τμήμα SCHEDULE_SESSION το οποίο είναι και το σημαντικότερο, ο πρώτος κόμβος επίσκεψης του τεχνικού (VEH01) τυχαίνει να είναι ο 1^{ος} κόμβος του μη βελτιστοποιημένου δικτύου. Έτσι ο τεχνικός κάνει παραλαβή (pickup) (συμβολίζεται με το 1) του κόμβου-πελάτη-σημείου επιθεώρησης σε χρόνο 0, παραμένει σε αυτόν έως τα 11 δευτερόλεπτα όπου και αναχωρεί για τον επόμενο. Σε αυτό το διάστημα των 11 δευτερολέπτων πραγματοποιεί την επιθεώρηση του σημείου ενώ πριν επισκεφθεί τον συγκεκριμένο κόμβο δεν χρειάστηκε να περιμένει καθόλου σε αναμονή (έτσι εξηγείται το τελευταίο 0).

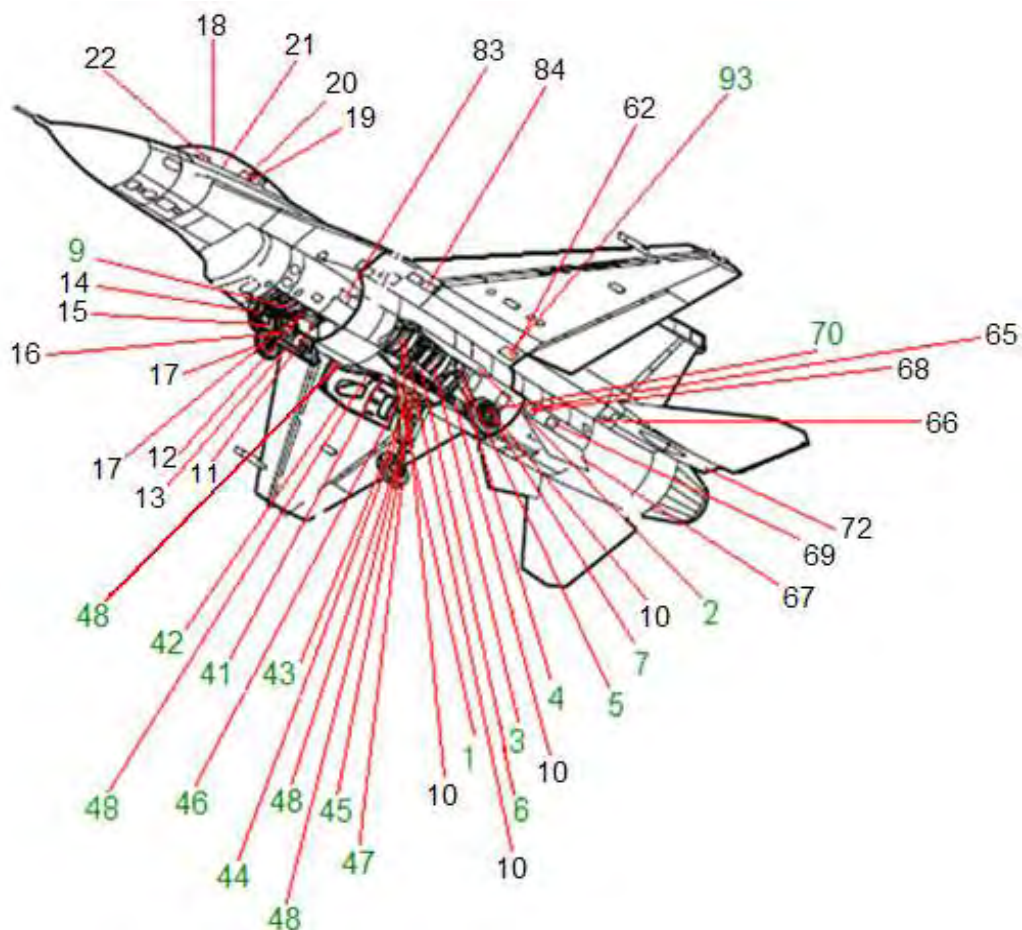
- Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βέλτιστη Μ.Π.Ε επιτυγχάνεται μόλις σε 1774+5 δευτερόλεπτα (5'' είναι η μετάβαση του τεχνικού από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ακολουθώντας τη παραπάνω διαδρομή επίσκεψης των κόμβων που αναφέρεται στα αποτελέσματα του αλγορίθμου, ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύθηκε αγγίζει τις 373 μονάδες.
- Σε αυτό το σημείο αξίζει να συγκρίνουμε το μέγεθος των 1779'' με τις αντίστοιχες χρονικές διάρκειες της Μ.Π.Ε συμφώνως με τη βιβλιογραφία του αεροσκάφους η οποία υπολογίζεται περίπου στα 90' της ώρας και της Μ.Π.Ε ενός πολύ έμπειρου τεχνικού η οποία είναι ακριβώς 2019'' (η οποία αποτέλεσε το μοντελοποιημένο δίκτυο εξέτασης πριν την βελτιστοποίησή του μέσω του αλγορίθμου).
- Η βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε είναι σαφώς συντομότερη από αυτήν της βιβλιογραφίας μιας και οι χρόνοι επιθεώρησης ορισμένων σημείων αναγράφονται μεγαλύτεροι (σημειώνεται ότι οι χρόνοι έχουν μειωθεί εξασφαλίζοντας τη τήρηση των ποιοτικών προτύπων συντήρησης ενός

αεροσκάφους). Αυτό όμως που έχει πολύ μεγάλη σημασία είναι το γεγονός ότι η βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε είναι γρηγορότερη από τη μοντελοποιημένη Μ.Π.Ε ή τη Μ.Π.Ε ενός έμπειρου τεχνικού κατά 40΄΄.

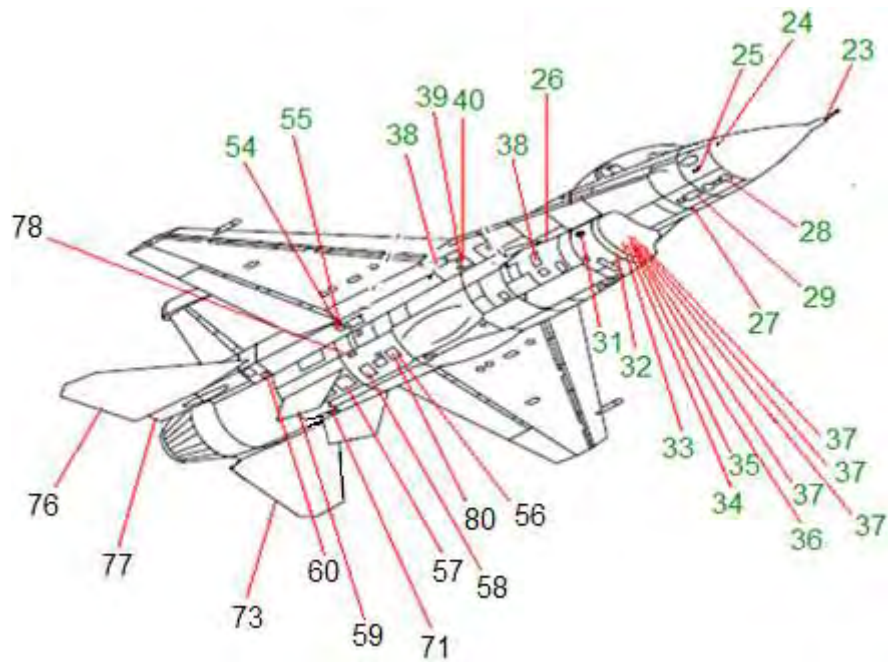
- Οπότε παρουσιάζεται μια Μ.Π.Ε η οποία εκτελέστηκε μέσω ενός αλγορίθμου δρομολόγησης τύπου DARP τηρώντας όλα τα μέτρα ασφαλείας και τους χρονικούς περιορισμούς επιθεώρησης ορισμένων σημείων με σκοπό να βρεθεί εκείνη η διαδρομή η οποία ελαχιστοποιεί τον χρόνο περάτωσής της, όπως και έγινε. Δηλαδή η βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε υποστηρίζεται πλέον από έναν αλγόριθμο και ένα μαθηματικό μοντέλο, γεγονός το οποίο απαγορεύει την οποιαδήποτε αμφισβήτηση των αποτελεσμάτων (κάτι το οποίο θα μπορούσε να συμβεί στη περίπτωση της εμπειρικής Μ.Π.Ε).
- Επιπλέον, κατά την εφαρμογή της δεν είναι απαραίτητη η τεράστια εμπειρία του τεχνικού στο αεροσκάφος, όπως συμβαίνει κατά την εμπειρική Μ.Π.Ε (όπου ο τεχνικός την επιτυγχάνει μετά από 3 περίπου χρόνια εξάσκησης στο συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους), χωρίς βέβαια να είναι περιττή.
- Επίσης, μειώνεται αισθητά το επιχειρησιακό ρίσκο που αναλαμβάνει ένας σχετικά άπειρος τεχνικός κατά την υλοποίηση της Μ.Π.Ε ο οποίος στη προσπάθειά του να μιμηθεί έναν έμπειρο τεχνικό είναι δυνατόν να προκαλέσει φθορά στον εξοπλισμό ή ακόμα χειρότερα κάποιο ατύχημα σε προσωπικού. Η διαδρομή που θα ακολουθήσει είναι πλέον γνωστή και μαθηματικά αποδεδειγμένα η βέλτιστη.
- Τέλος, η μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης μίας Μ.Π.Ε συνεπάγεται μακροπρόθεσμα, εκτός από την αύξηση της διαθεσιμότητας των αεροσκαφών, την περαιτέρω αξιοποίηση του τεχνικού προσωπικού και συγκεκριμένα των τεχνικών-υπολόγων σε άλλες εργασίες συντήρησης οποιασδήποτε μορφής,

οπότε παρατηρούμε μία σημαντική αύξηση της παραγωγικότητας του προσωπικού.

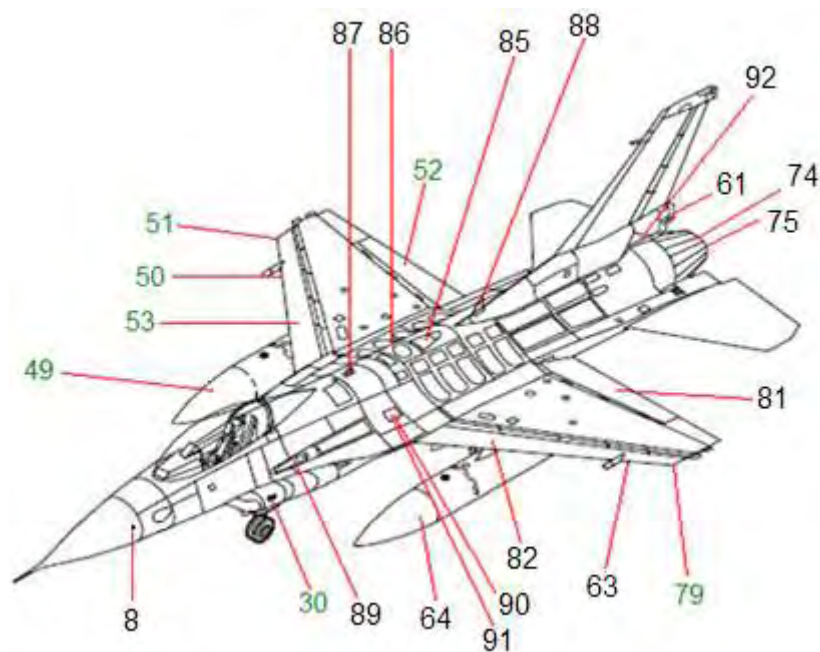
Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδρομή της βελτιστοποιημένης Μ.Π.Ε:



Σχήμα 5-1: Οι παραπάνω αριθμοί εκφράζουν τη διαδρομή που ακολουθεί ο τεχνικός κατά τη Μ.Π.Ε, η οποία προέκυψε μετά από την εφαρμογή του αλγορίθμου στο μοντελοποιημένο δίκτυο. Οι κόμβοι οι οποίοι είναι αριθμημένοι με μαύρο χρώμα σημαίνει ότι έχουν αλλάξει σειρά επιθεώρησης κατά τη βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε ενώ αυτοί με το πράσινο έχουν παραμείνει σταθεροί (όπως στην εμπειρική). Το γεγονός της κλιμάκωσης των επιθεωρήσεων ορισμένων κόμβων που ανήκουν σε κοινές περιοχές παρατηρείται και στη βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε, όπως ήταν αναμενόμενο, σε μικρότερο όμως βαθμό απ' ότι στη Μ.Π.Ε ενός έμπειρου τεχνικού (ο οποίος δεν έχει κάνει απόλυτα σωστή διαχείριση του χρόνου και χρειάζεται να περιμένει σε ορισμένους κόμβους που απαιτούν επιθεώρηση μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά όρια). Αυτό συμβαίνει διότι κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου λαμβάνονται υπόψη όλοι οι χρονικοί περιορισμοί επιθεώρησης των κόμβων.



Σχήμα 5-2: Εδώ φαίνεται η βέλτιστη σειρά επιθεώρησης των κόμβων από άλλη οπτική γωνία του αεροσκάφους. Όπως και στο προηγούμενο σχήμα έτσι και σε αυτό δεν παρατηρείται η απόλυτη κλιμάκωση των σημείων επιθεώρησης λόγω της πιστής τήρησης όλων των χρονικών περιορισμών από τον αλγόριθμο.



Σχήμα 5-3: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης από μία διαφορετική όψη.

Αναλυτικότερα η διαδρομή επίσκεψης των κόμβων στη βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε 94 κόμβων έχει ως εξής:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Φορέας centerline- αριστερό τμήμα	11	2
2	Πόρτα αριστερού σκέλους προσγείωσης	6	2
3	Φιλτράκια αριστερού σκέλους προσγείωσης	4	1
4	Αριστερό shock strut	14	1
5	Προβολέας προσγείωσης	4	01
6	Actuator αριστερού συστήματος προσγείωσης	5	2

7	Αριστερός τροχός	30	5
8	Αριστερός αισθητήρας γωνίας προσβολής	3	5
9	Ρηναίο Wheel well	11	5
10	Αριστερό Wheel well, Actuator πόρτας αριστερού σκέλους προσγείωσης, Αριστερό Drag brace, Αριστερό Συγκρότημα φρένων	52	6
11	Nose Bumper	1	2
12	Ρηναίο Drag brace	10	1
13	Πόρτα ρηναίου σκέλους προσγείωσης	3	3

14	Actuator πόρτας ρηναίου σκέλους προσγείωσης	3	1
15	Ρηναίο Shock strut	8	1
16	Ψαλίδα	4	1
17	Ρηναίος τροχός, Actuator ρηναίου σκέλους προσγείωσης	17	10
18	Καλύπτρα	18	1
19	Φιάλη οξυγόνου	1	1
20	Σύρμα ενεργοποίησης οξυγόνου	2	1
21	Σωστικά μέσα	2	4
22	Διαδικασία safety cockpit	84	9

23	Σωλήνας pitot	6	2
24	Δεξιός αισθητήρας γωνίας προσβολής	3	2
25	Σωλήνας air data	4	3
26	Σωλήνας ολικής θερμοκρασίας	4	2
27	Έμπροσθεν οπές αποστράγγισης	8	1
28	Κάτω κεραίες	5	1
29	Κεραία υψομέτρου radar	5	4
30	Αριστερό φως ναυtilίας αεραγωγού	8	4
31	Δεξί φως ναυtilίας αεραγωγού	8	3

32	Χείλος προσβολής αεραγωγού	10	15
33	Struts κινητήρα	26	1
34	Κινητά μέρη struts	26	1
35	Κώνος-centerbody	8	2
36	Αισθητήρας θερμοκρασίας T2	5	2
37	Ρώτορας, Στάτορας, Strut αεραγωγού, Αισθητήρας πάγου	95	14
38	Ενδείκτης ενεργοποίησης EPU, ποσότητα Α΄ υδραυλικού, dump	18	1
39	Ενδείκτης διαρροής υδραζίνης	1	3
40	Στάθμη ελαίου EPU	5	6

41	Φορέας centerline- δεξί τμήμα	11	2
42	Πόρτα δεξιού σκέλους προσγείωσης	6	2
43	Φιλτράκια δεξιού σκέλους προσγείωσης	2	1
44	Δεξί shock strut	14	1
45	Προβολέας τροχοδρόμησης	4	1
46	Actuator δεξιού συστήματος προσγείωσης	5	1
47	Δεξιός τροχός	30	2

48	Δεξί Wheel well, Actuator πόρτας δεξιού σκέλους προσγείωσης, Δεξί Drag brace, Δεξί Συγκρότημα φρένων	52	3
-----------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----	---

49	Δεξιά δεξαμενή καυσίμου	46	1
-----------	----------------------------	----	---

50	Δεξιός εκτοξευτήρας missile launcher	22	1
-----------	--------------------------------------------	----	---

51	Δεξιός εκτοξευτήρας LAU 129	16	3
-----------	-----------------------------------	----	---

52	Δεξί flaperon	38	3
-----------	---------------	----	---

53	Δεξί πτερύγιο χείλους προσβολής- leading edge flap	24	6
-----------	----------------------------------------------------------	----	---

54	Main shut off valve, θυρίδα flap	6	3
55	EECFCS valve, όπισθεν οπές αποστράγγισης	10	6
56	Στάθμη ελαίου CSD, φιλτράκι CSD, φιλτράκι main generator	4	4
57	Πίεση συσσωρευτών- accumulators JFS	18	4
58	Φιλτράκι augmenter	5	3
59	Δεξί πτερύγιο ευστάθειας	8	2
60	Πίεση συσσωρευτή- accumulator αλεξιπτώτου	10	5

61	Αλεξίπτωτο	4	6
62	**Εναρξη ανεφοδιασμού	25	3
63	Αριστερός εκτοξευτήρας missile launcher	22	1
64	Αριστερή δεξαμενή καυσίμου	46	11
65	Chip	13	2
66	Πίεση συσσωρευτών- accumulators flight control	10	1

67	Αριστερό πτερύγιο ευστάθειας	8	2
68	Κύρια αντλία καυσίμου	4	2
69	Fan discharge temperature sensor	6	2
70	Φιλτράκια lube- hydraulic	7	4
71	Θυρίδα chaffing	23	4
72	Φίσεις αριστερού συστήματος αεροφρένων, κοπίλιες, ejector nozzles	25	1
73	Ανοχές αριστερού stabilizer, ρογμές, discharger	13	19

74	Χώρος εξαγωγής καυσαερίων, liner, duct	59	25
75	Πρωτεύων- αποκλίνων- εξωτερικά πτερύγια ακροφυσίου	44	3
76	Φίστες δεξιού συστήματος αεροφρένων, κοπίλιες, ejector nozzles	25	1
77	Ανοχές δεξιού stabilizer, ρωγμές, discharger	13	4
78	***Στάθμη ελαίου δεξαμενής αεροσκάφους	7	8
79	Αριστερός εκτοξευτήρας LAU	16	8

	129		
80	*Στάθμη ελαίου ADG, φιλτράκι ADG	3	7
81	Αριστερό flaperon	38	3
82	Αριστερό πτερύγιο χείλους προσβολής- leading edge flap	24	5
83	Remote status panel, EMS fault, GO NOGO	9	2
84	Ποσότητα Β΄ υδραυλικού, dump	18	15
85	Θυρίδα εναέριου ανεφοδιασμού	6	1
86	Βαλβίδα αρνητικής	2	1

	πίεσης		
87	Πάνω-μπροστά κεραία tacan	4	3
88	Πάνω-πίσω κεραία	6	4
89	Gun port	2	2
90	Θυρίδα εξαερισμού πυροβόλου M61A1	18	1
91	Πυροβόλο M61A1	8	8
92	Θυρίδα αλεξιπτώτου	6	23
93	****Πέρασ ανεφοδιασμού	23	5 (έξοδος-υπογραφή τεχνικού, διάθεση αεροσκάφους)

Πίνακας 5-1: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης κατά την Μ.Π.Ε

- Ο παραπάνω πίνακας θα μπορούσε να αποτελέσει την εντολή εργασίας προς έναν τεχνικό κατά την επιθεώρηση του αεροσκάφους μέσω την εκτύπωσής του ως επίσημο έντυπο συντήρησης.

5.1.1.2 Εύρεση λύσης για δίκτυο 20 περιοχών-κόμβων

Ανάγοντας το αρκετά μεγάλο δίκτυο των 94 κόμβων σε ένα μικρότερο, ξεχωρίζουμε 19 περιοχές-γειτονιές στις οποίες ανήκουν όλοι οι κόμβοι (+1 περιοχή-έξοδος). Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον ευρετικό αλγόριθμο InsertionH και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

START_SCHEDULE_SESSION

VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1

VEH01 Inspection02 1 1 5 73 0 1 2

VEH01 Inspection04 2 1 90 141 0 1 4

VEH01 Inspection08 3 1 168 322 0 1 8

VEH01 Inspection12 4 1 329 368 0 1 12

VEH01 Inspection13 5 1 373 458 0 1 13

VEH01 Inspection14 6 1 467 492 0 1 14

VEH01 Inspection15 7 1 494 648 0 1 15

VEH01 Inspection16 8 1 653 682 0 1 16

VEH01 Inspection11 9 1 690 830 0 1 11

VEH01 Inspection10 10 1 831 870 0 1 10

VEH01 Inspection06 11 1 888 917 0 1 6

VEH01 Inspection05 12 1 931 1145 0 1 5

VEH01 Inspection03 13 1 1156 1270 0 1 3

VEH01 Inspection01 14 1 1285 1423 0 1 1

VEH01 Inspection07 15 1 1433 1568 0 1 7

VEH01 Inspection19 16 1 1578 1601 0 1 19

VEH01 Inspection17 17 1 1624 1698 0 1 17

VEH01 Inspection18 18 1 1716 1723 0 1 18

VEH01 Inspection09 19 1 1726 1813 0 1 9
VEH01 Inspection09 20 -1 1875 1875 0 -1 20
VEH01 Inspection19 21 -1 1875 1875 0 -1 20
VEH01 Inspection18 22 -1 1875 1875 0 -1 20
VEH01 Inspection17 23 -1 1875 1875 0 -1 20
VEH01 Inspection10 24 -1 1900 1900 25 -1 20
VEH01 Inspection07 25 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection06 26 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection05 27 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection04 28 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection03 29 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection02 30 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection01 31 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection11 32 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection16 33 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection15 34 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection13 35 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection12 36 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection08 37 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 Inspection14 38 -1 1900 1900 0 -1 20
VEH01 EDEPOT 39 -20000 21000 21000 19100 0 20
END_SCHEDULE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:270
TOTAL_TIME:21000

- Δηλαδή η Μ.Π.Ε που προκύπτει ολοκληρώνεται σε 1813+10 δευτερόλεπτα (10' μετάβαση από τη τελευταία περιοχή προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 270 μονάδες. Ο χρόνος περάτωσης είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν της Μ.Π.Ε των 94 κόμβων λόγω της αναγκαστικής τήρησης των χρονικών περιορισμών επίσκεψης ορισμένων

περιοχών. Αρκεί να σκεφτεί κάποιος το γεγονός ότι τα παράθυρα χρόνου στη περίπτωση των περιοχών αναφέρονται σε όλη τη περιοχή και όχι σε μεμονωμένους κόμβους.

Αναλυτικότερα η διαδρομή επίσκεψης των κόμβων στη βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε 20 περιοχών-κόμβων έχει ως εξής:

Α/Α κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Ρηναίο σύστημα προσγείωσης	68	17
2	Radome	51	27
3	Δεξιά πτέρυγα	154	7
4	Αριστερό οριζόντιο σταθερό	39	5
5	CHIP, PTO, FILTERS	85	9
6	Έναρξη ανεφοδιασμού	25	2
7	Αριστερή πτέρυγα	154	5
8	Β΄ υδραυλικό	29	8

	σύστημα+EMS		
9	Ακροφύσιο	140	1
10	Δεξί οριζόντιο σταθερό	39	18
11	Α' υδραυλικό σύστημα+EPU	29	14
12	Αεραγωγός	214	11
13	Cockpit	114	15
14	Αριστερό σύστημα προσγείωσης	138	10
15	Δεξί σύστημα προσγείωσης	135	10
16	Πέρασ ανεφοδιασμού	23	23
17	Ράχη	74	18
18	Λάδι	7	3

19	CSD, ADG, FILTERS	87	10 (έξοδος-υπογραφή τεχνικού, διάθεση αεροσκάφους)
----	----------------------	----	----------------------------------------------------------

Πίνακας 5-2: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης κατά την ομαδοποιημένη Μ.Π.Ε

5.1.1.3 Εύρεση λύσης για κάθε μία περιοχή

Οι παραπάνω 19 περιοχές είχαν μοντελοποιηθεί στο 4^ο κεφάλαιο όπου παρουσιάζονται σε πίνακες όλοι οι κόμβοι από τους οποίους αποτελείται η κάθε μία. Στη προσπάθεια εύρεσης των βέλτιστων δρομολογίων σε κάθε μία από τις περιοχές αυτές, εφαρμόζουμε τον ευρετικό αλγόριθμο για όσες αποτελούνται από 8 κόμβους και άνω, ενώ στις υπόλοιπες τρέχουμε τον απόλυτο (exact).

5.1.1.3.1 Βέλτιστη διαδρομή 1ης περιοχής

Η 1^η περιοχή (Ρηναίο σύστημα προσγείωσης) αποτελείται από 8 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **ευρετικό** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

```
START_SCHEDULE_SESSION
VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1
VEH01 Inspection08 1 1 8 25 0 1 8
VEH01 Inspection07 2 1 26 31 0 1 7
VEH01 Inspection06 3 1 32 40 0 1 6
VEH01 Inspection05 4 1 41 44 0 1 5
VEH01 Inspection04 5 1 47 50 0 1 4
VEH01 Inspection03 6 1 51 61 0 1 3
VEH01 Inspection02 7 1 63 64 0 1 2
VEH01 Inspection01 8 1 65 76 0 1 1
VEH01 Inspection08 9 -1 80 80 0 -1 9
```

[156]

VEH01 Inspection07 10 -1 80 80 0 -1 9
 VEH01 Inspection06 11 -1 80 80 0 -1 9
 VEH01 Inspection05 12 -1 80 80 0 -1 9
 VEH01 Inspection04 13 -1 80 80 0 -1 9
 VEH01 Inspection03 14 -1 80 80 0 -1 9
 VEH01 Inspection02 15 -1 80 80 0 -1 9
 VEH01 Inspection01 16 -1 80 80 0 -1 9
 VEH01 EDEPOT 17 -20000 80 80 0 0 9
 END_SCHEDULE_SESSION
 TOTAL_DISTANCE_UNITS:22
 TOTAL_TIME:80

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 1^{ης} περιοχής διαρκεί 76+4 δευτερόλεπτα (4'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 22 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 1^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Ρηναίο σύστημα προσγείωσης:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Ρηναίος τροχός, Actuator ρηναίου σκέλους προσγείωσης	17	1

2	Ψαλίδα	5	1
3	Ρηναίο Shock strut	8	1
4	Actuator πόρτας ρηναίου σκέλους προσγείωσης	3	3
5	Πόρτα ρηναίου σκέλους προσγείωσης	3	1
6	Ρηναίο Drag brace	10	2
7	Bumper	1	1
8	Ρηναίο Wheel well	11	4(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-3: Βέλτιστη διαδρομή 1^{ης} περιοχής

5.1.1.3.2 Βέλτιστη διαδρομή 2ης περιοχής

Η 2^η περιοχή (Radome) αποτελείται από 8 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **ευρετικό** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

START_SCHEDULE_SESSION

VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1

VEH01 Inspection08 1 1 8 13 0 1 8
VEH01 Inspection07 2 1 14 19 0 1 7
VEH01 Inspection06 3 1 20 28 0 1 6
VEH01 Inspection05 4 1 30 34 0 1 5
VEH01 Inspection04 5 1 37 41 0 1 4
VEH01 Inspection03 6 1 43 46 0 1 3
VEH01 Inspection02 7 1 48 54 0 1 2
VEH01 Inspection01 8 1 56 59 0 1 1
VEH01 Inspection08 9 -1 63 63 0 -1 9
VEH01 Inspection07 10 -1 63 63 0 -1 9
VEH01 Inspection06 11 -1 63 63 0 -1 9
VEH01 Inspection05 12 -1 63 63 0 -1 9
VEH01 Inspection04 13 -1 63 63 0 -1 9
VEH01 Inspection03 14 -1 63 63 0 -1 9
VEH01 Inspection02 15 -1 63 63 0 -1 9
VEH01 Inspection01 16 -1 63 63 0 -1 9
VEH01 EDEPOT 17 -20000 63 63 0 0 9
END_SCHEDULE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:25
TOTAL_TIME:63

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 2^{ης} περιοχής διαρκεί 59+4 δευτερόλεπτα (4'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 25 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 2^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Radome:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Κεραία υψομέτρου radar	5	1
2	Κάτω κεραίες	5	1
3	Έμπροσθεν οπές αποστράγγισης	8	2
4	Σωλήνας ολικής θερμοκρασίας	4	3
5	Σωλήνας air data	4	2
6	Δεξιός αισθητήρας γωνίας προσβολής	3	2
7	Σωλήνας pitot	6	2
8	Αριστερός αισθητήρας γωνίας προσβολής	3	4(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-4: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 2^{ης} περιοχής

5.1.1.3.3 Βέλτιστη διαδρομή 3ης περιοχής

Η 3^η περιοχή (Δεξιά πτέρυγα) αποτελείται από 5 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact (απόλυτο)** αλγόριθμο (λόγω του μικρού μεγέθους του) και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :V1P1V1P2V1P3V1P4V1P5V1D5V1D4V1D3V1D2V1D1
Return Cost :14

Algorithm Ended :
(MIN)V1P1V1P2V1P3V1P4V1P5V1D5V1D4V1D3V1D2V1D1 With Cost : 14

Time Elapsed in secs : 0.406

Total Combs : 2224 Reject Combs : 1138

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :14

Route Time :160

Route Slope Exact :1.16667

EXACT Demand :Inpection01 with ID :1 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inpection02 with ID :2 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inpection03 with ID :3 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inpection04 with ID :4 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inpection05 with ID :5 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :14

Total Time :160

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 3^{ης} περιοχής διαρκεί 154+6 δευτερόλεπτα (6'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 14 μονάδες. Η διαδρομή που ακολουθείται

είναι: παραλαβή κόμβου 1 (Pickup1), παραλαβή κόμβου 2 (P2), παραλαβή κόμβου 3 (P3), παραλαβή κόμβου 4 (P4), παραλαβή κόμβου 5 (P5), παράδοση κόμβου 5 (Deliver5), παράδοση κόμβου 4 (D4), παράδοση κόμβου 3 (D3), παράδοση κόμβου 2 (D2), παράδοση κόμβου 1 (D1). Δηλαδή ο τεχνικός επισκέπτεται πρώτα τον κόμβο 1, μετά 2, 3, 4, 5 και πηγαίνει στην έξοδο-υπογραφή.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 3^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Δεξιά πτέρυγα:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Δεξιά δεξαμενή καυσίμου	46	1
2	Δεξιός εκτοξευτήρας missile launcher	22	1
3	Δεξιός εκτοξευτήρας LAU 129	16	3
4	Δεξί flaperon	38	3

5	Δεξί πτερύγιο χείλους προσβολής- leading edge flap	24	6(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)
---	----------------------------------------------------------	----	--------------------------------

Πίνακας 5-5: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 3^{ης} περιοχής

5.1.1.3.4 Βέλτιστη διαδρομή 4^{ης} περιοχής

Η 4^η περιοχή (Αριστερό Οριζόντιο Σταθερό) αποτελείται από 2 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :V1P1V1P2V1D2V1D1 Return Cost :9

Algorithm Ended : (MIN)V1P1V1P2V1D2V1D1 With Cost : 9

Time Elapsed in secs : 0.016

Total Combs : 12 Reject Combs : 3

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :9

Route Time :47

Route Slope Exact :1.5

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection02 with ID :2 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :9

Total Time :47

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 4^{ης} περιοχής διαρκεί 39+8 δευτερόλεπτα (8'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 9 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 4^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Αριστερό οριζόντιο σταθερό:

Α/Α κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Ανοχές αριστερού stabilizer, ρωγμές, discharger	13	1
2	Φίσεις αριστερού συστήματος αεροφρένων, κοπίλιες, ejector nozzles	25	8(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-6: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 4^{ης} περιοχής

5.1.1.3.5 Βέλτιστη διαδρομή 5^{ης} περιοχής

Η 5^η περιοχή (CHIP, PTO, Filters) αποτελείται από 7 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1)
:V1P1V1P2V1P3V1P4V1P5V1P6V1P7V1D7V1D6V1D5V1D4V1D3V1D2V1D1
Return Cost :20

algorithm is alive : 90000

algorithm is alive : 100000

Algorithm Ended :
(MIN)V1P1V1P2V1P3V1P4V1P5V1P6V1P7V1D7V1D6V1D5V1D4V1D3V1D2V1
D1 With Cost : 20

Time Elapsed in secs : 51.391

Total Combs : 165092 Reject Combs : 63590

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :20

Route Time :91

Route Slope Exact :1.25

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection02 with ID :2 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection03 with ID :3 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection04 with ID :4 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection05 with ID :5 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection06 with ID :6 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection07 with ID :7 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :20

Total Time :91

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 5^{ης} περιοχής διαρκεί 85+6 δευτερόλεπτα (6'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 20 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 5^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

CHIP, PTO, Filters:

Α/Α κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Θυρίδα chaffing	23	4
2	Φιλτράκια lube-hydraulic	7	2
3	Fan discharge temperature sensor	6	2
4	Κύρια αντλία καυσίμου	4	2
5	Αριστερό περύγιο ευστάθειας	8	1
6	Πίεση συσσωρευτών-accumulators flight control	10	3

7	Chip	13	6(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)
---	------	----	--------------------------------

Πίνακας 5-7: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 5^{ης} περιοχής

5.1.1.3.6 Βέλτιστη διαδρομή 6^{ης} περιοχής

Η 6^η περιοχή (Εναρξη Ανεφοδιασμού) αποτελείται από 1 κόμβο. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :V1P1V1D1 Return Cost :6

Algorithm Ended : (MIN)V1P1V1D1 With Cost : 6

Time Elapsed in secs : 0

Total Combs : 2 Reject Combs : 0

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :6

Route Time :31

Route Slope Exact :1.5

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :6

Total Time :31

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 6^{ης} περιοχής διαρκεί 25+6 δευτερόλεπτα (6'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 6 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 6^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Έναρξη ανεφοδιασμού:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	**Αρχή ανεφοδιασμού	25	6(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-8: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 6^{ης} περιοχής

5.1.1.3.7 Βέλτιστη διαδρομή 7^{ης} περιοχής

Η 7^η περιοχή (Αριστερή Πτέρυγα) αποτελείται από 5 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :V1P1V1P2V1P3V1P4V1P5V1D5V1D4V1D3V1D2V1D1
Return Cost :12

Algorithm Ended :
(MIN)V1P1V1P2V1P3V1P4V1P5V1D5V1D4V1D3V1D2V1D1 With Cost : 12

Time Elapsed in secs : 0.515

Total Combs : 2792 Reject Combs : 1380

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :12

Route Time :158

Route Slope Exact :1

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection02 with ID :2 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection03 with ID :3 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection04 with ID :4 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection05 with ID :5 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :12

Total Time :158

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 7^{ης} περιοχής διαρκεί 154+4 δευτερόλεπτα (4'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 12 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 7^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Αριστερή πτέρυγα:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Αριστερή δεξαμενή καυσίμου	46	1
2	Αριστερός εκτοξευτήρας missile launcher	22	1
3	Αριστερός	16	3

εκτοξευτήρας LAU
129

4 Αριστερό flaperon 38 3

5 Αριστερό περύγιο 24 4(έξοδος-υπογραφή
χείλους προσβολής- τεχνικού)
leading edge flap

Πίνακας 5-9: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 7^{ης} περιοχής

5.1.1.3.8 Βέλτιστη διαδρομή 8^{ης} περιοχής

Η 8^η περιοχή (Β' υδραυλικό σύστημα+Engine Monitoring System) αποτελείται από 2 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :V1P1V1P2V1D2V1D1 Return Cost :6

Algorithm Ended : (MIN)V1P1V1P2V1D2V1D1 With Cost : 6

Time Elapsed in secs : 0.016

Total Combs : 12 Reject Combs : 3

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :6

Route Time :33

Route Slope Exact :1

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection02 with ID :2 Allocated on route :1

[170]

STATISTICS

Total Cost :6

Total Time :33

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 8^{ης} περιοχής διαρκεί 29+4 δευτερόλεπτα (4'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 6 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 8^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

B' υδραυλικό σύστημα+EMS:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Remote status panel, EMS fault, GO NOGO	9	2
2	Ποσότητα Β' υδραυλικού, dump	18	4(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-10: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 8^{ης} περιοχής

5.1.1.3.9 Βέλτιστη διαδρομή 9^{ης} περιοχής

Η 9^η περιοχή (Ακροφύσιο) αποτελείται από 3 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :V1P1V1P2V1P3V1D3V1D2V1D1 Return Cost :56

Algorithm Ended : (MIN)V1P1V1P2V1P3V1D3V1D2V1D1 With Cost : 56

Time Elapsed in secs : 0

Total Combs : 75 Reject Combs : 29

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :56

Route Time :167

Route Slope Exact :7

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection02 with ID :2 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection03 with ID :3 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :56

Total Time :167

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 9^{ης} περιοχής διαρκεί 138+29 δευτερόλεπτα (29'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 56 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 9^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Ακροφύσιο:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Αλεξίπτωτο	4	2
2	Πρωτεύων- αποκλίνων- εξωτερικά πτερύγια ακροφυσίου	45	25
3	Χώρος εξαγωγής καυσαερίων, liner, duct	62	29(έξοδος- υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-11: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 9^{ης} περιοχής

5.1.1.3.10 Βέλτιστη διαδρομή 10^{ης} διαδρομής

Η 10^η περιοχή (Δεξί Οριζόντιο Σταθερό) αποτελείται από 2 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :V1P1V1P2V1D2V1D1 Return Cost :11

Algorithm Ended : (MIN)V1P1V1P2V1D2V1D1 With Cost : 11

Time Elapsed in secs : 0

Total Combs : 12 Reject Combs : 3

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :11

Route Time :49

Route Slope Exact :1.83333

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection02 with ID :2 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :11

Total Time :49

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 10^{ης} περιοχής διαρκεί 39+10 δευτερόλεπτα (10'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 11 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 10^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Δεξί οριζόντιο σταθερό:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Ανοχές δεξιού stabilizer, ρωγμές, discharger	13	1

2	Φίστες δεξιού συστήματος αεροφρένων, κοπίλιες, ejector nozzles	25	10(έξοδος- υπογραφή τεχνικού)
---	----------------------------------------------------------------------------	----	----------------------------------

Πίνακας 5-12: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 10^{ης} περιοχής

5.1.1.3.11 Βέλτιστη διαδρομή 11^{ης} περιοχής

Η 11^η περιοχή (Α΄ υδραυλικό σύστημα+Emergency Power Unit) αποτελείται από 3 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :V1P1V1P2V1P3V1D3V1D2V1D1 Return Cost :11

Algorithm Ended : (MIN)V1P1V1P2V1P3V1D3V1D2V1D1 With Cost : 11

Time Elapsed in secs : 0

Total Combs : 69 Reject Combs : 27

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :11

Route Time :35

Route Slope Exact :1.375

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection02 with ID :2 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection03 with ID :3 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :11

Total Time :35

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 11^{ης} περιοχής διαρκεί 28+7 δευτερόλεπτα (7'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 11 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 11^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

A' υδραυλικό σύστημα+EPU:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Ενδείκτης ενεργοποίησης EPU, ποσότητα Α' υδραυλικού, dump	18	1
2	Ενδείκτης διαρροής υδραζίνης	1	3
3	Στάθμη ελαίου EPU	5	7(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-13: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 11^{ης} περιοχής

5.1.1.3.12 Βέλτιστη διαδρομή 12^{ης} περιοχής

Η 12^η περιοχή (Αεραγωγός) αποτελείται από 8 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **ευρετικό** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

```
START_SCHEDULE_SESSION
VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1
VEH01 Inspection08 1 1 25 120 0 1 8
VEH01 Inspection07 2 1 122 127 0 1 7
VEH01 Inspection06 3 1 129 137 0 1 6
VEH01 Inspection05 4 1 138 164 0 1 5
VEH01 Inspection04 5 1 165 191 0 1 4
VEH01 Inspection03 6 1 206 216 0 1 3
VEH01 Inspection02 7 1 219 227 0 1 2
VEH01 Inspection01 8 1 231 239 0 1 1
VEH01 Inspection08 9 -1 243 243 0 -1 9
VEH01 Inspection07 10 -1 243 243 0 -1 9
VEH01 Inspection06 11 -1 243 243 0 -1 9
VEH01 Inspection05 12 -1 243 243 0 -1 9
VEH01 Inspection04 13 -1 243 243 0 -1 9
VEH01 Inspection03 14 -1 243 243 0 -1 9
VEH01 Inspection02 15 -1 243 243 0 -1 9
VEH01 Inspection01 16 -1 243 243 0 -1 9
VEH01 EDEPOT 17 -20000 243 243 0 0 9
END_SCHEDULE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:57
TOTAL_TIME:243
```

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 12^{ης} περιοχής διαρκεί 239+4 δευτερόλεπτα (4'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 57 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 12^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Αεραγωγός:

Α/Α κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Ρώτορας, Στάτορας, Strut αεραγωγού, Αισθητήρας πάγου	95	2
2	Αισθητήρας θερμοκρασίας T2	5	2
3	Κώνος-centerbody	8	1
4	Κινητά μέρη struts	26	1
5	Struts κινητήρα	26	15
6	Χείλος προσβολής αεραγωγού	10	3

7	Δεξί φως ναυτιλίας αεραγωγού	8	4
8	Αριστερό φως ναυτιλίας αεραγωγού	8	4(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-14: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 12^{ης} περιοχής

5.1.1.3.13 Βέλτιστη διαδρομή 13^{ης} περιοχής

Η 13^η περιοχή (Cockpit) αποτελείται από 5 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :V1P1V1P2V1P3V1P4V1P5V1D5V1D4V1D3V1D2V1D1
Return Cost :21

Algorithm Ended :
(MIN)V1P1V1P2V1P3V1P4V1P5V1D5V1D4V1D3V1D2V1D1 With Cost : 21

Time Elapsed in secs : 1.063

Total Combs : 5701 Reject Combs : 2985

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :21

Route Time :128

Route Slope Exact :1.75

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection02 with ID :2 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection03 with ID :3 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection04 with ID :4 Allocated on route :1

EXACT Demand :Inspection05 with ID :5 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :21

Total Time :128

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 13^{ης} περιοχής διαρκεί 114+14 δευτερόλεπτα (14'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 21 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 13^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Cockpit:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Καλύπτρα	18	1
2	Φιάλη οξυγόνου	1	1
3	Σύρμα ενεργοποίησης οξυγόνου	2	1
4	Σωστικά μέσα	2	4

5	Διαδικασία safety cockpit	84	14(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)
---	---------------------------	----	------------------------------

Πίνακας 5-15: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 13^{ης} περιοχής

5.1.1.3.14 Βέλτιστη διαδρομή 14^{ης} περιοχής

Η 14^η περιοχή (Αριστερό Σκέλος Προσγείωσης) αποτελείται από 8 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **ευρετικό** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

```

START_SCHEDULE_SESSION
VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1
VEH01 Inspection08 1 1 11 63 0 1 8
VEH01 Inspection07 2 1 65 95 0 1 7
VEH01 Inspection06 3 1 97 102 0 1 6
VEH01 Inspection05 4 1 103 108 0 1 5
VEH01 Inspection04 5 1 109 123 0 1 4
VEH01 Inspection03 6 1 124 128 0 1 3
VEH01 Inspection02 7 1 130 136 0 1 2
VEH01 Inspection01 8 1 138 149 0 1 1
VEH01 Inspection08 9 -1 155 155 0 -1 9
VEH01 Inspection07 10 -1 155 155 0 -1 9
VEH01 Inspection06 11 -1 155 155 0 -1 9
VEH01 Inspection05 12 -1 155 155 0 -1 9
VEH01 Inspection04 13 -1 155 155 0 -1 9
VEH01 Inspection03 14 -1 155 155 0 -1 9
VEH01 Inspection02 15 -1 155 155 0 -1 9
VEH01 Inspection01 16 -1 155 155 0 -1 9
VEH01 EDEPOT 17 -20000 155 155 0 0 9

```

END_SCHEDULE_SESSION

TOTAL_DISTANCE_UNITS:28

TOTAL_TIME:155

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 14^{ης} περιοχής διαρκεί 149+6 δευτερόλεπτα (6'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 28 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 14^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Αριστερό σύστημα προσγείωσης:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Αριστερό Wheel well, Actuator πόρτας αριστερού σκέλους προσγείωσης, Αριστερό Drag brace, Αριστερό Συγκρότημα φρένων	52	2
2	Αριστερός τροχός	30	2
3	Actuator αριστερού	5	1

	συστήματος προσγείωσης		
4	Προβολέας προσγείωσης	4	1
5	Αριστερό shock strut	14	1
6	Φιλτράκια αριστερού σκέλους προσγείωσης	4	2
7	Πόρτα αριστερού σκέλους προσγείωσης	6	2
8	Φορέας centerline- αριστερό τμήμα	11	6(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-16: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 14^{ης} περιοχής

5.1.1.3.15 Βέλτιστη διαδρομή 15^{ης} περιοχής

Η 15^η περιοχή (Δεξί Σκέλος Προσγείωσης) αποτελείται από 8 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **ευρετικό** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

START_SCHEDULE_SESSION
VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1
VEH01 Inspection08 1 1 10 62 0 1 8
VEH01 Inspection07 2 1 64 94 0 1 7
VEH01 Inspection06 3 1 95 100 0 1 6
VEH01 Inspection05 4 1 101 106 0 1 5
VEH01 Inspection04 5 1 107 121 0 1 4
VEH01 Inspection03 6 1 122 124 0 1 3
VEH01 Inspection02 7 1 126 132 0 1 2
VEH01 Inspection01 8 1 134 145 0 1 1
VEH01 Inspection08 9 -1 154 154 0 -1 9
VEH01 Inspection07 10 -1 154 154 0 -1 9
VEH01 Inspection06 11 -1 154 154 0 -1 9
VEH01 Inspection05 12 -1 154 154 0 -1 9
VEH01 Inspection04 13 -1 154 154 0 -1 9
VEH01 Inspection03 14 -1 154 154 0 -1 9
VEH01 Inspection02 15 -1 154 154 0 -1 9
VEH01 Inspection01 16 -1 154 154 0 -1 9
VEH01 EDEPOT 17 -20000 154 154 0 0 9
END_SCHEDULE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:29
TOTAL_TIME:154

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 15^{ης} περιοχής διαρκεί 145+9 δευτερόλεπτα (9'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 29 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 15^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Δεξί σύστημα προσγείωσης:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Δεξί Wheel well, Actuator πόρτας δεξιού σκέλους προσγείωσης, Δεξί Drag brace, Δεξί Συγκρότημα φρένων	52	2
2	Δεξιός τροχός	30	1
3	Actuator δεξιού συστήματος προσγείωσης	5	1
4	Προβολέας τροχοδρόμησης	4	1
5	Δεξί shock strut	14	1
6	Φιλτράκια δεξιού σκέλους προσγείωσης	2	2

7	Πόρτα δεξιού σκέλους προσγείωσης	6	2
---	----------------------------------------	---	---

8	Φορέας centerline- δεξί τμήμα	11	9(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)
---	----------------------------------	----	--------------------------------

Πίνακας 5-17: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 15^{ης} περιοχής

5.1.1.3.16 Βέλτιστη διαδρομή 16^{ης} περιοχής

Η 16^η περιοχή (Πέρασ Ανεφοδιασμού) αποτελείται από 1 κόμβο. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :V1P1V1D1 Return Cost :2

Algorithm Ended : (MIN)V1P1V1D1 With Cost : 2

Time Elapsed in secs : 0

Total Combs : 2 Reject Combs : 0

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :2

Route Time :25

Route Slope Exact :0.5

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :2

Total Time :25

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 16^{ης} περιοχής διαρκεί 23+2 δευτερόλεπτα (2'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 2 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 16^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Πέρασ ανεφοδιασμού:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	****Πέρασ ανεφοδιασμού	23	2(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-18: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 16^{ης} περιοχής

5.1.1.3.17 Βέλτιστη διαδρομή 17^{ης} περιοχής

Η 17^η περιοχή (Ράχη) αποτελείται από 8 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **ευρετικό** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

START_SCHEDULE_SESSION

VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1

VEH01 Inspection08 1 1 20 26 0 1 8

VEH01 Inspection07 2 1 34 43 0 1 7

VEH01 Inspection06 3 1 44 62 0 1 6

[187]

VEH01 Inspection05 4 1 64 66 0 1 5
VEH01 Inspection04 5 1 70 77 0 1 4
VEH01 Inspection03 6 1 80 84 0 1 3
VEH01 Inspection02 7 1 85 87 0 1 2
VEH01 Inspection01 8 1 88 94 0 1 1
VEH01 Inspection08 9 -1 108 108 0 -1 9
VEH01 Inspection07 10 -1 108 108 0 -1 9
VEH01 Inspection06 11 -1 108 108 0 -1 9
VEH01 Inspection05 12 -1 108 108 0 -1 9
VEH01 Inspection04 13 -1 108 108 0 -1 9
VEH01 Inspection03 14 -1 108 108 0 -1 9
VEH01 Inspection02 15 -1 108 108 0 -1 9
VEH01 Inspection01 16 -1 108 108 0 -1 9
VEH01 EDEPOT 17 -20000 108 108 0 0 9
END_SCHEDULE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:54
TOTAL_TIME:108

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 17^{ης} περιοχής διαρκεί 94+14 δευτερόλεπτα (14'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 54 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 17^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Ράχη:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Θυρίδα αλεξιπτώτου	6	8
2	Πυροβόλο M61A1	9	1
3	Θυρίδα εξαερισμού πυροβόλου M61A1	18	2
4	Gun port	2	4
5	Πάνω-πίσω κεραία	7	3
6	Πάνω-μπροστά κεραία tacan	4	1
7	Βαλβίδα αρνητικής πίεσης	2	1
8	Θυρίδα εναέριου ανεφοδιασμού	6	14(έξοδος- υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-19: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 17^{ης} περιοχής

5.1.1.3.18 Βέλτιστη διαδρομή 18^{ης} περιοχής

Η 18^η περιοχή (Λάδι) αποτελείται από 1 κόμβο. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **exact** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Return Key is(1) :VIP1V1D1 Return Cost :9

Algorithm Ended : (MIN)VIP1V1D1 With Cost : 9

Time Elapsed in secs : 0

Total Combs : 2 Reject Combs : 0

Route ID :1

Vehicle ID :VEH01

Route Cost :9

Route Time :16

Route Slope Exact :2.25

EXACT Demand :Inspection01 with ID :1 Allocated on route :1

STATISTICS

Total Cost :9

Total Time :16

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 18^{ης} περιοχής διαρκεί 7+9 δευτερόλεπτα (9'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 9 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 18^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Λάδι:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	***Στάθμη ελαίου δεξαμενής αεροσκάφους	7	9(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-20: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 18^{ης} περιοχής

5.1.1.3.19 Βέλτιστη διαδρομή 19^{ης} περιοχής

Η 19^η περιοχή (CSD, ADG, Filters) αποτελείται από 8 κόμβους. Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον **ευρετικό** αλγόριθμο και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

```
START_SCHEDULE_SESSION
VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1
VEH01 Inspection08 1 1 19 29 0 1 8
VEH01 Inspection07 2 1 31 39 0 1 7
VEH01 Inspection06 3 1 42 47 0 1 6
VEH01 Inspection05 4 1 52 70 0 1 5
VEH01 Inspection04 5 1 74 78 0 1 4
VEH01 Inspection03 6 1 79 82 0 1 3
VEH01 Inspection02 7 1 87 97 0 1 2
VEH01 Inspection01 8 1 100 106 0 1 1
VEH01 Inspection08 9 -1 116 116 0 -1 9
VEH01 Inspection07 10 -1 116 116 0 -1 9
VEH01 Inspection06 11 -1 116 116 0 -1 9
VEH01 Inspection05 12 -1 116 116 0 -1 9
```

VEH01 Inspection04 13 -1 116 116 0 -1 9
 VEH01 Inspection03 14 -1 116 116 0 -1 9
 VEH01 Inspection02 15 -1 116 116 0 -1 9
 VEH01 Inspection01 16 -1 116 116 0 -1 9
 VEH01 EDEPOT 17 -20000 116 116 0 0 9
 END_SCHEDULE_SESSION
 TOTAL_DISTANCE_UNITS:52
 TOTAL_TIME:116

- Παρατηρούμε ότι η επιθεώρηση της 19^{ης} περιοχής διαρκεί 106+9 δευτερόλεπτα (9'' μετάβαση από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 52 μονάδες.

Αναλυτικότερα η βέλτιστη διαδρομή της επιθεώρησης της 19^{ης} περιοχής φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

CSD, ADG, Filters:

A/A κόμβου	Όνομα κόμβου	Διάρκεια επιθεώρησης (sec)	Μετάβαση στον επόμενο κόμβο (sec)
1	Πίεση συσσωρευτή- accumulator αλεξιπτώτου	10	2
2	Δεξί πτερύγιο ευστάθειας	8	3

3	Φιλτράκι augmenter	5	5
4	Πίεση συσσωρευτών- accumulators JFS	18	4
5	Στάθμη ελαίου CSD, φιλτράκι CSD, φιλτράκι main generator	4	1
6	*Στάθμη ελαίου ADG, φιλτράκι ADG	3	5
7	EECFCS valve, όπισθεν οπές αποστράγγισης	10	3
8	Main shut off valve, θυρίδα flap	6	9(έξοδος-υπογραφή τεχνικού)

Πίνακας 5-21: Βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης 19^{ης} περιοχής

5.1.2 Χρήση δύο οχημάτων-τεχνικών

Στη περίπτωση αυτή διαθέτουμε δύο τεχνικούς οι οποίοι θα κληθούν να εκτελέσουν την Μ.Π.Ε.

5.1.2.1 Εύρεση λύσης για δίκτυο 94 κόμβων με 2 τεχνικούς

Όπως προαναφέρθηκε εφαρμόζουμε τον ευρετικό αλγόριθμο **Regret** γι αυτό το μεγάλο δίκτυο των 94 κόμβων χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά δύο τεχνικούς με σκοπό να βρούμε τη διαδρομή επιθεώρησης εκείνη σύμφωνα με την οποία θα ελαχιστοποιείται το κόστος ή στη περίπτωσή μας ο χρόνος εξυπηρέτησης του αεροσκάφους. Οι παράμετροι και τα εισαγωγικά στοιχεία του ευρετικού αλγορίθμου δεν αναφέρονται για λόγους πλεονασμού, ωστόσο παρουσιάζεται το σημαντικότερο τμήμα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εκτέλεσή του.

```
START_ROUTE_SESSION
ROUTE_ID:1
VEHICLE_DESCR:VEH01
ROUTE_DISTANCE:511
ROUTE_TIME:21500
START_SCHEDULE_SESSION
VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1
VEH01 Inspection01 1 1 0 11 0 1 1
VEH01 Inspection92 2 1 28 35 0 1 92
....
....
VEH01 Inspection93 21 1 1100 1123 625 1 93
VEH01 Inspection56 22 1 1500 1503 211 1 56
VEH01 Inspection56 23 -1 1800 1800 136 -1 94
VEH01 Inspection93 24 -1 1800 1800 0 -1 94
....
....
```

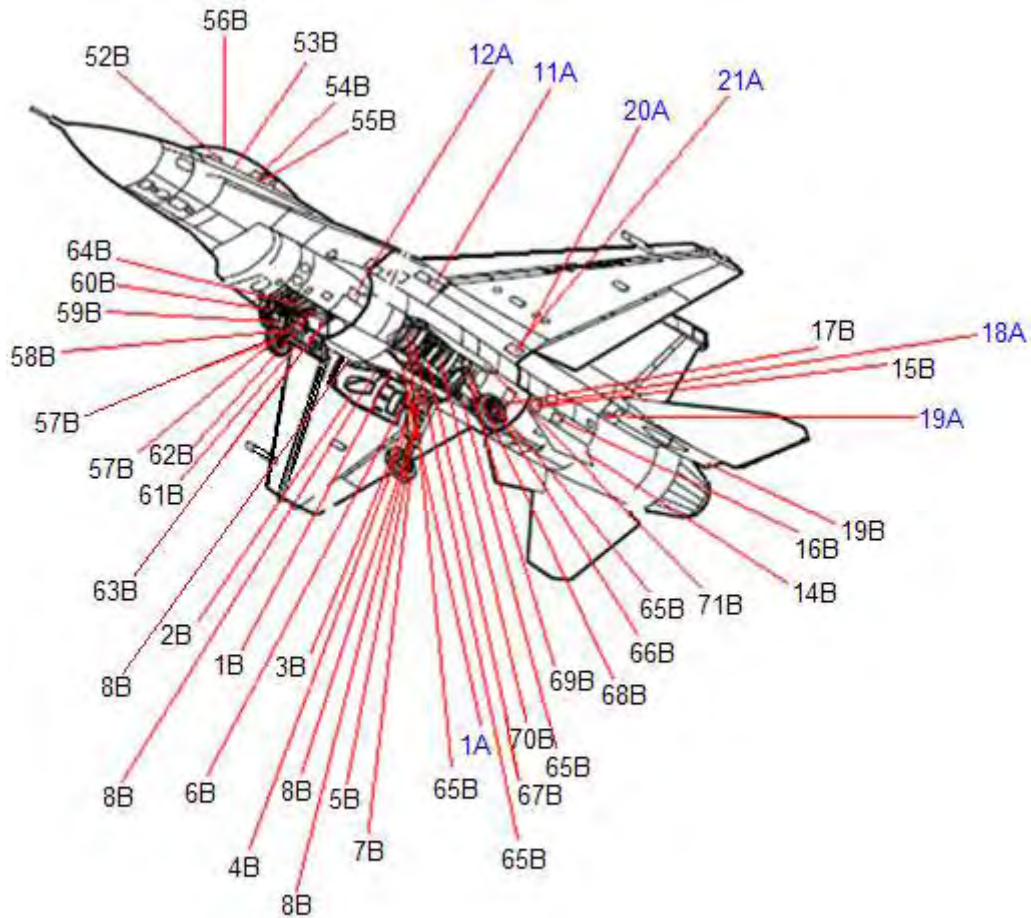
VEH01 Inspection92 43 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection76 44 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 EDEPOT 45 -20000 21500 21500 19700 0 94
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
START_ROUTE_SESSION
ROUTE_ID:2
VEHICLE_DESCR:VEH02
ROUTE_DISTANCE:356
ROUTE_TIME:21500
START_SCHEDULE_SESSION
VEH02 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 41
VEH02 Inspection41 1 1 0 11 0 1 41
VEH02 Inspection42 2 1 13 19 0 1 42
....
....
VEH02 Inspection03 70 1 1424 1428 0 1 3
VEH02 Inspection02 71 1 1430 1436 0 1 2
VEH02 Inspection30 72 -1 1800 1800 355 -1 94
VEH02 Inspection73 73 -1 1800 1800 0 -1 94
....
....
VEH02 Inspection50 141 -11800 1800 0 -1 94
VEH02 Inspection51 142 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH02 EDEPOT 143 -20000 21500 21500 19700 0 94
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:867
TOTAL_TIME:43000

- Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βέλτιστη Μ.Π.Ε επιτυγχάνεται μόλις σε 1503+10 δευτερόλεπτα (10'' είναι η μετάβαση του τεχνικού από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ακολουθώντας τη παραπάνω διαδρομή επίσκεψης των κόμβων που αναφέρεται στα αποτελέσματα του αλγορίθμου, ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύθηκε αγγίζει τις 867 μονάδες.
- Σημειώνεται το γεγονός ότι ο 1^{ος} τεχνικός καλείται να επισκεφθεί μόνο 22 κόμβους ενώ ο 2^{ος} επισκέπτεται 71 κόμβους. Ωστόσο ο 1^{ος} περιμένει για 625'' στον κόμβο 93 πριν ξεκινήσει την επιθεώρησή του λόγω χρονικού περιορισμού (διότι ο ανεφοδιασμός με καύσιμο δεν έχει ολοκληρωθεί μέχρι εκείνη τη χρονική στιγμή, οπότε δεν αφαιρεί τη μάνικα ακόμα). Επίσης ο 1^{ος} περιμένει για 211'' στον κόμβο 56 (τελευταίος) πριν ξεκινήσει την επιθεώρησή του λόγω χρονικού περιορισμού (πρέπει να συμπληρωθούν 25' λεπτά ή 1500'' για την εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου σημείου σύμφωνα πάντα με τα τεχνικά εγχειρίδια) και τελικά ολοκληρώνει την Μ.Π.Ε στα 1503+10''. Αντιθέτως, ο 2^{ος} τεχνικός δεν χρειάζεται να περιμένει σε κανέναν κόμβο και ολοκληρώνει τη διαδρομή του στα 1436''+4'' (4'' μετάβαση στην έξοδο).
- Σε αυτό το σημείο αξίζει να συγκρίνουμε το μέγεθος των 1513'' με τις αντίστοιχες χρονικές διάρκειες της Μ.Π.Ε συμφώνως με τη βιβλιογραφία του αεροσκάφους η οποία υπολογίζεται περίπου στα 90' της ώρας, της Μ.Π.Ε ενός πολύ έμπειρου τεχνικού η οποία είναι ακριβώς 2019'' (η οποία αποτέλεσε το μοντελοποιημένο δίκτυο εξέτασης πριν την βελτιστοποίησή του μέσω του αλγορίθμου) και της βελτιστοποιημένης Μ.Π.Ε που προέκυψε μέσω της εφαρμογής του αλγορίθμου χρησιμοποιώντας όμως μόνο έναν τεχνικό.
- Όπως αποδείχθηκε και στην παράγραφο 5.1.1 η βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε με τη χρήση ενός οχήματος-τεχνικού (1779'') είναι σαφώς γρηγορότερη από την

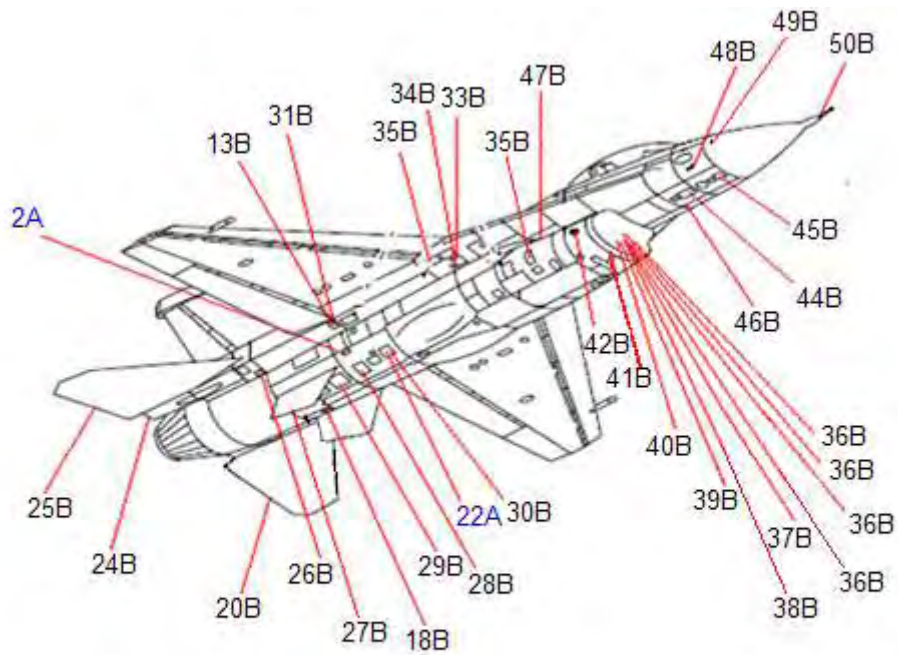
αντίστοιχη των τεχνικών εγχειριδίων και από την εμπειρική ενός «παλιού» τεχνικού. **Ωστόσο είναι κατά 266'' αργότερη από την βελτιστοποιημένη Μ.Π.Ε με χρήση δύο τεχνικών.** Το αποτέλεσμα αυτό μπορούμε να πούμε πως ήταν αναμενόμενο εάν σκεφτεί κανείς πως δύο οχήματα-τεχνικοί εξυπηρετούν σαφώς γρηγορότερα τον ίδιο αριθμό πελατών-κόμβους. Προσοχή όμως, διότι υπάρχουν αρκετοί χρονικοί περιορισμοί.

- Αξιοσημείωτη παρατήρηση σε αυτό το σημείο είναι το γεγονός ότι ο τεχνικός ο οποίος τελειώνει γρηγορότερα θα μπορούσε να αξιοποιηθεί άμεσα σε κάποια άλλη εργασία ή σε επόμενη Μ.Π.Ε, στη περίπτωση όπου τα αεροσκάφη θα σχημάτιζαν ουρές αναμονής (σε περίπτωση βεβαρημένου πτητικού προγράμματος μιας πολεμική μοίρας). Το παραπάνω σε συνδυασμό με τη μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης μιας Μ.Π.Ε, όπως αποδείχθηκε νωρίτερα, συνεπάγεται εκτός από την αύξηση της διαθεσιμότητας των αεροσκαφών μιας αεροπορίας, την σημαντική αύξηση της παραγωγικότητας του τεχνικού προσωπικού.
- Επιπλέον, κατά την εφαρμογή της δεν είναι απαραίτητη η τεράστια εμπειρία των τεχνικών στο αεροσκάφος (3 περίπου χρόνια ώστε να επιτευχθεί η εμπειρική Μ.Π.Ε) χωρίς βέβαια να είναι περιττή.
- Επίσης, μειώνεται αισθητά το επιχειρησιακό ρίσκο που αναλαμβάνουν δύο σχετικά άπειροι τεχνικοί κατά την υλοποίηση της Μ.Π.Ε οι οποίοι στη προσπάθειά τους να μιμηθούν έναν έμπειρο τεχνικό είναι δυνατόν να προκαλέσουν φθορά στον εξοπλισμό ή ακόμα χειρότερα κάποιο ατύχημα σε προσωπικό. Η διαδρομή που θα ακολουθήσουν είναι πλέον γνωστή και μαθηματικά αποδεδειγμένα η βέλτιστη.

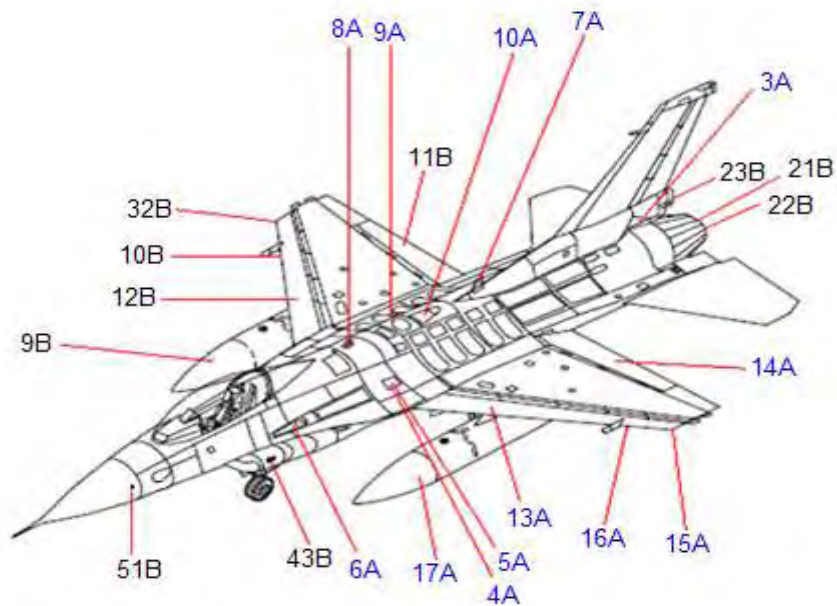
Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδρομή της βελτιστοποιημένης Μ.Π.Ε:



Σχήμα 5-4: Πιο πάνω παρουσιάζεται η αναλυτική διαδρομή που ακολουθούν οι δύο τεχνικοί κατά την Μ.Π.Ε η οποία προέκυψε από την εφαρμογή του ευρετικού αλγορίθμου πάνω στο δίκτυο 94 κόμβων. Με μπλε χρώμα διακρίνουμε τη διαδρομή του 1^{ου} τεχνικού ενώ με μαύρο τη διαδρομή του 2^{ου}. Παρατηρούμε ότι ο 2^{ος} τεχνικός είναι επιφορτισμένος με αρκετά σημεία επιθεώρησης, ωστόσο δεν χρειάζεται να περιμένει σε κανένα κόμβο για ώρα πριν ξεκινήσει την επιθεώρησή του, όπως στη περίπτωση του 1^{ου} ο οποίος περιμένει για 625'' έξω από τον κόμβο 21 οπότε και ολοκληρώνεται ο χρονικός περιορισμός επίσκεψής του.



Σχήμα 5-5: Ομοίως παρατηρείται η βεβαρημένη επιθεώρηση του 2^{ου} τεχνικού σε σχέση με τον 1^ο ο οποίος πριν ξεκινήσει την επιθεώρηση του κόμβου 22 περιμένει για 211''.



Σχήμα 5-6: Από διαφορετική οπτική γωνία φαίνονται οι δύο ξεχωριστές διαδρομές που ακολουθούν οι τεχνικοί μας.

5.1.2.2 Εύρεση λύσης για δίκτυο 20 κόμβων-περιοχών με 2 τεχνικούς

Ανάγοντας το αρκετά μεγάλο δίκτυο των 94 κόμβων σε ένα μικρότερο, ξεχωρίζουμε 19 περιοχές-γειτονιές στις οποίες ανήκουν όλοι οι κόμβοι (+1 περιοχή-έξοδος). Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον ευρετικό αλγόριθμο Regret και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

START_ROUTE_SESSION

ROUTE_ID:1

VEHICLE_DESCR:VEH01

ROUTE_DISTANCE:235

ROUTE_TIME:21000

START_SCHEDULE_SESSION

VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1

VEH01 Inspection11 1 1 59 196 0 1 11

VEH01 Inspection10 2 1 197 236 0 1 10

VEH01 Inspection08 3 1 245 400 0 1 8

VEH01 Inspection07 4 1 403 535 0 1 7

VEH01 Inspection06 5 1 541 570 0 1 6

VEH01 Inspection05 6 1 584 796 0 1 5

VEH01 Inspection04 7 1 800 851 0 1 4

VEH01 Inspection03 8 1 858 972 0 1 3

VEH01 Inspection02 9 1 982 1048 0 1 2

VEH01 Inspection01 10 1 1053 1187 0 1 1

VEH01 Inspection09 11 1 1500 1586 258 1 9

VEH01 Inspection09 12 -1 1800 1800 152 -1 20

VEH01 Inspection11 13 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH01 Inspection10 14 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH01 Inspection08 15 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH01 Inspection07 16 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH01 Inspection06 17 -1 1800 1800 0 -1 20

[200]

VEH01 Inspection05 18 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH01 Inspection04 19 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH01 Inspection03 20 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH01 Inspection02 21 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH01 Inspection01 22 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH01 EDEPOT 23 -20000 21000 21000 19200 0 20

END_SCHEDULE_SESSION

END_ROUTE_SESSION

START_ROUTE_SESSION

ROUTE_ID:2

VEHICLE_DESCR:VEH02

ROUTE_DISTANCE:124

ROUTE_TIME:21000

START_SCHEDULE_SESSION

VEH02 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 7

VEH02 Inspection14 1 1 46 71 0 1 14

VEH02 Inspection13 2 1 80 163 0 1 13

VEH02 Inspection12 3 1 168 207 0 1 12

VEH02 Inspection15 4 1 223 378 0 1 15

VEH02 Inspection16 5 1 383 412 0 1 16

VEH02 Inspection17 6 1 427 499 0 1 17

VEH02 Inspection18 7 1 517 524 0 1 18

VEH02 Inspection19 8 1 700 723 171 1 19

VEH02 Inspection19 9 -1 1800 1800 1072 -1 20

VEH02 Inspection17 10 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH02 Inspection16 11 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH02 Inspection15 12 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH02 Inspection13 13 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH02 Inspection12 14 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH02 Inspection18 15 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH02 Inspection14 16 -1 1800 1800 0 -1 20

[201]

VEH02 EDEPOT 17 -20000 21000 21000 19200 0 20

END_SCHEDULE_SESSION

END_ROUTE_SESSION

TOTAL_DISTANCE_UNITS:359

TOTAL_TIME:42000

- Δηλαδή η Μ.Π.Ε που προκύπτει ολοκληρώνεται σε 1586+10 δευτερόλεπτα (10'' μετάβαση από τη τελευταία περιοχή προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 359 μονάδες. Ο χρόνος περάτωσης είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν της Μ.Π.Ε των 94 κόμβων με δύο τεχνικούς λόγω της αναγκαστικής τήρησης των χρονικών περιορισμών επίσκεψης ορισμένων περιοχών. Αρκεί να σκεφτεί κάποιος το γεγονός ότι τα παράθυρα χρόνου στη περίπτωση των περιοχών αναφέρονται σε όλη τη περιοχή και όχι σε μεμονωμένους κόμβους.
- Σημειώνεται ότι ο 1^{ος} τεχνικός επιθεωρεί 11 περιοχές και ολοκληρώνει τη διαδικασία σε 1586''+10'' (10'' μετάβαση στην έξοδο), περιμένοντας για 258'' έξω από τον κόμβο 9 λόγω χρονικού περιορισμού. Από την άλλη, ο 2^{ος} τεχνικός επιθεωρεί 8 περιοχές σε 723''+3'' (3'' μετάβαση στην έξοδο), ενώ πριν ξεκινήσει την επιθεώρηση του κόμβου 19 περιμένει 171'' ώστε να απαλλαγεί από τον χρονικό περιορισμό του τελευταίου.

5.1.3 Χρήση τριών οχημάτων-τεχνικών

Στη περίπτωση αυτή διαθέτουμε τρεις τεχνικούς οι οποίοι θα κληθούν να εκτελέσουν την Μ.Π.Ε.

5.1.3.1 Εύρεση λύσης για δίκτυο 94 κόμβων με 3 τεχνικούς

Όπως προαναφέρθηκε εφαρμόζουμε τον ευρετικό αλγόριθμο **Regret** γι αυτό το μεγάλο δίκτυο των 94 κόμβων χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά τρεις τεχνικούς με σκοπό να βρούμε τη διαδρομή επιθεώρησης εκείνη σύμφωνα με την οποία θα ελαχιστοποιείται το κόστος ή στη περίπτωσή μας ο χρόνος εξυπηρέτησης του αεροσκάφους. Οι παράμετροι και τα εισαγωγικά στοιχεία του ευρετικού αλγορίθμου δεν αναφέρονται για λόγους πλεονασμού, ωστόσο παρουσιάζεται το σημαντικότερο τμήμα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εκτέλεσή του.

START_ROUTE_SESSION

ROUTE_ID:1

VEHICLE_DESCR:VEH01

ROUTE_DISTANCE:29

ROUTE_TIME:21000

START_SCHEDULE_SESSION

VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1

VEH01 Inspection08 1 1 11 63 0 1 8

VEH01 Inspection07 2 1 65 95 0 1 7

....

....

VEH01 Inspection02 7 1 129 135 0 1 2

VEH01 Inspection01 8 1 137 148 0 1 1

VEH01 Inspection08 9 -1 1800 1800 1645 -1 94

VEH01 Inspection07 10 -1 1800 1800 0 -1 94

....

....

VEH01 Inspection02 15 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 Inspection01 16 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH01 EDEPOT 17 -20000 21000 21000 19200 0 94
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
START_ROUTE_SESSION
ROUTE_ID:2
VEHICLE_DESCR:VEH02
ROUTE_DISTANCE:638
ROUTE_TIME:21000
START_SCHEDULE_SESSION
VEH02 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 41
VEH02 Inspection51 1 1 15 31 0 1 51
VEH02 Inspection75 2 1 134 147 0 1 75
....
....
VEH02 Inspection09 58 1 1239 1250 0 1 9
VEH02 Inspection56 59 1 1500 1503 112 1 56
VEH02 Inspection56 60 -1 1800 1800 136 -1 94
VEH02 Inspection22 61 -1 1800 1800 0 -1 94
....
....
VEH02 Inspection38 117 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH02 Inspection37 118 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH02 EDEPOT 119 -20000 21000 21000 19200 0 94
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
START_ROUTE_SESSION
ROUTE_ID:3
VEHICLE_DESCR:VEH03
ROUTE_DISTANCE:319

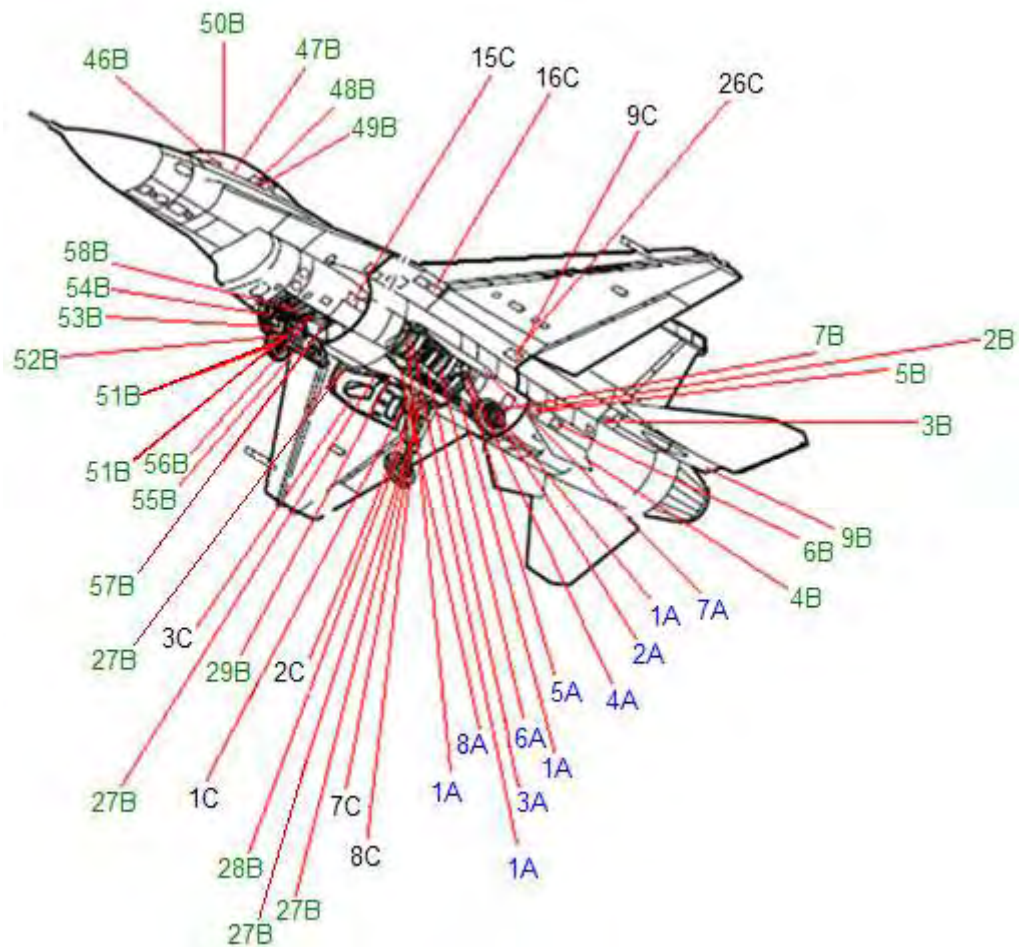
ROUTE_TIME:21000
START_SCHEDULE_SESSION
VEH03 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 64
VEH03 Inspection46 1 1 47 52 0 1 46
VEH03 Inspection43 2 1 55 57 0 1 43
....
....
VEH03 Inspection92 25 1 645 652 0 1 92
VEH03 Inspection93 26 1 950 973 293 1 93
VEH03 Inspection93 27 -1 1800 1800 822 -1 94
VEH03 Inspection91 28 -1 1800 1800 0 -1 94
....
....
VEH03 Inspection92 51 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH03 Inspection76 52 -1 1800 1800 0 -1 94
VEH03 EDEPOT 53 -20000 21000 21000 19200 0 94
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:986
TOTAL_TIME:63000

- Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βέλτιστη Μ.Π.Ε επιτυγχάνεται και πάλι σε 1503+10 δευτερόλεπτα (όπως ακριβώς και στη περίπτωση της Μ.Π.Ε με 2 τεχνικούς), (10'' είναι η μετάβαση του τεχνικού από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ακολουθώντας τη παραπάνω διαδρομή επίσκεψης των κόμβων που αναφέρεται στα αποτελέσματα του αλγορίθμου, ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύθηκε αγγίζει τις 986 μονάδες.
- Σημειώνεται το γεγονός ότι ο 1^{ος} τεχνικός καλείται να επισκεφθεί μόνο 8 κόμβους, ο 2^{ος} επισκέπτεται 59 και ο 3^{ος} 26 κόμβους . Ο 1^{ος} δεν περιμένει ποτέ

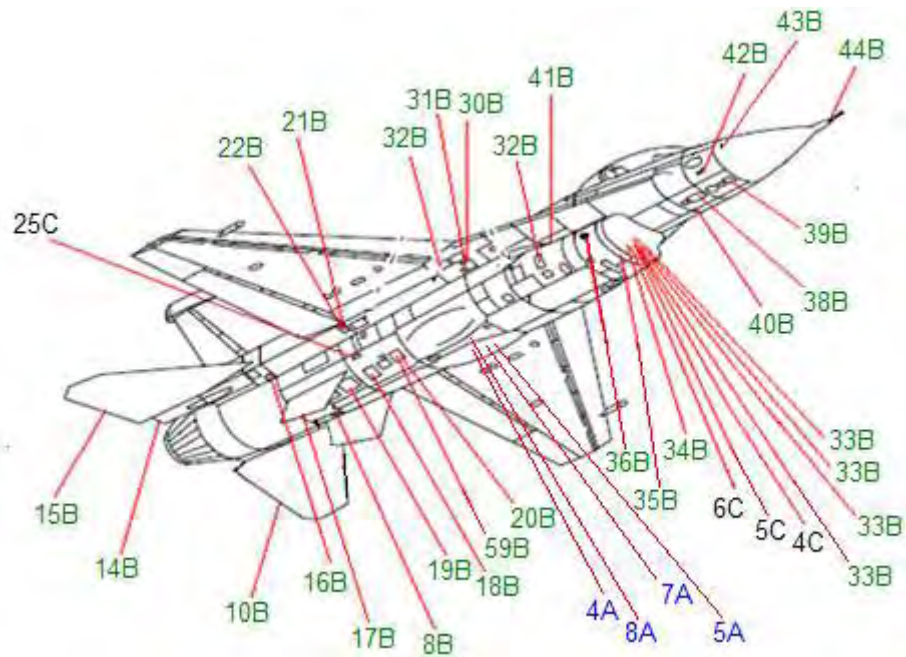
σε κανέναν κόμβο, ο 2^{ος} περιμένει 112'' στον κόμβο 56 ενώ ο 3^{ος} περιμένει για 293'' πριν ξεκινήσει την επιθεώρηση του κόμβου 93.

- Αυτό που συμπεραίνουμε είναι το γεγονός ότι ο χρόνος περάτωσης της Μ.Π.Ε δεν μπορεί να μειωθεί περισσότερο και παραμένει σταθερός στα 1513'', όσο δηλαδή χρειάστηκε κατά την Μ.Π.Ε με 2 τεχνικούς, για όσα παραπάνω οχήματα-τεχνικούς (4, 5, 6,...) και αν χρησιμοποιήσω.
- Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει συγκεκριμένος χρονικός περιορισμός επίσκεψης κάποιου κόμβου στα 1500'' (κόμβος 56 ο οποίος επιθεωρείται 25' από την κράτηση του κινητήρα), οπότε η επιθεώρησή του είναι αδύνατη πριν την ολοκλήρωσή τους. Συνεπώς, όσους τεχνικούς και αν χρησιμοποιήσω δεν μπορώ να ολοκληρώσω την Μ.Π.Ε σε λιγότερο χρόνο. Με την αύξηση του πλήθους των τεχνικών επιτυγχάνεται απλά η μείωση του φόρτου εργασίας των τεχνικών ανά μονάδα. Δηλαδή οι δύο τεχνικοί τελειώνουν την επιθεώρηση στον ίδιο χρόνο που κάνουν οι τρεις, με τη διαφορά της υψηλότερης κόπωσης.
- Ο/Οι τεχνικός-οί οι οποίοι τελειώνουν γρηγορότερα θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν άμεσα σε κάποια άλλη εργασία ή σε επόμενη Μ.Π.Ε, στη περίπτωση όπου τα αεροσκάφη θα σχημάτιζαν ουρές αναμονής (σε περίπτωση βεβαρημένου πτητικού προγράμματος μιας πολεμική μοίρας). Το παραπάνω σε συνδυασμό με τη μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης μιας Μ.Π.Ε, όπως αποδείχθηκε νωρίτερα, συνεπάγεται εκτός από την αύξηση της διαθεσιμότητας των αεροσκαφών μιας αεροπορίας, την σημαντική αύξηση της παραγωγικότητας του τεχνικού προσωπικού.

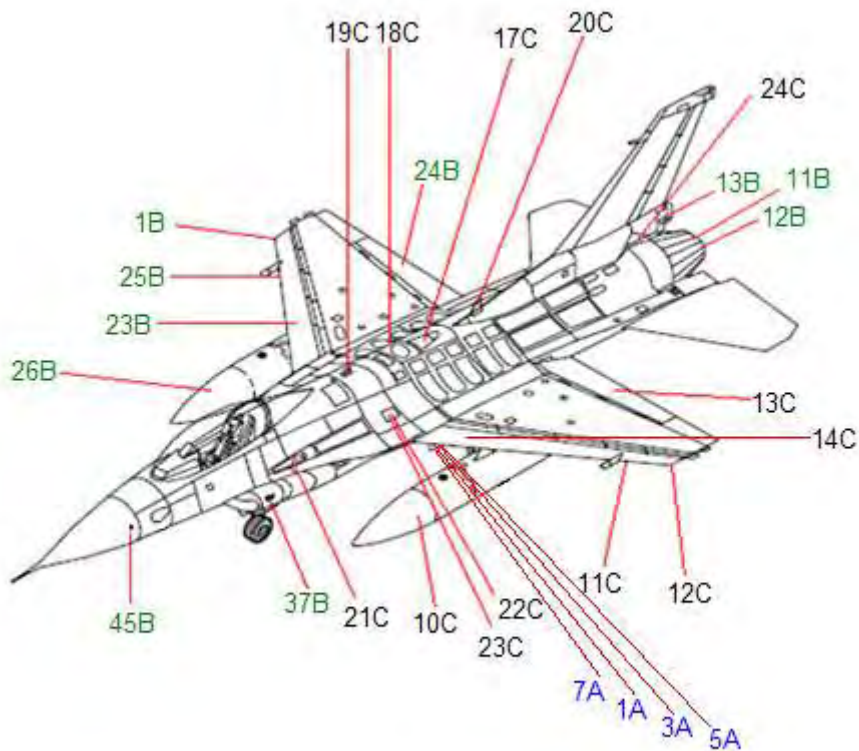
Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδρομή της βελτιστοποιημένης Μ.Π.Ε:



Σχήμα 5-7: Πιο πάνω παρουσιάζονται οι αναλυτικές διαδρομές που ακολουθούν οι τρεις τεχνικοί κατά την Μ.Π.Ε οι οποίες προέκυψαν από την εφαρμογή του ευρετικού αλγορίθμου πάνω στο δίκτυο 94 κόμβων. Με μπλε χρώμα διακρίνουμε τη διαδρομή του 1^{ου} τεχνικού, με πράσινο τη διαδρομή του 2^{ου} ενώ με μαύρο φαίνεται η διαδρομή του 3^{ου} τεχνικού. Παρατηρούμε ότι ο 1^{ος} τεχνικός τοχαίνει να επισκέπτεται μόλις 8 σημεία επιθεώρησης, ενώ ο 2^{ος} τεχνικός επισκέπτεται 59 σημεία ενώ περιμένει πριν την επιθεώρηση του κόμβου 59 για 112''. Τέλος, ο 3^{ος} τεχνικός αναλαμβάνει την επιθεώρηση των υπολοίπων 26 σημείων περιμένοντας πριν εισέλθει στον κόμβο 26 για 293'', οπότε και ολοκληρώνεται ο χρονικός περιορισμός του κόμβου.



Σχήμα 5-8: Ο 2^{ος} τεχνικός ολοκληρώνει την επιθεώρηση που του αναλογεί περιμένοντας πριν εισέλθει στον κόμβο 59 για 112''.



Σχήμα 5-9: Από διαφορετική οπτική γωνία φαίνονται οι 3 διαφορετικές διαδρομές που ακολουθούν οι τεχνικοί.

5.1.3.2 Εύρεση λύσης για δίκτυο 20 κόμβων-περιοχών με 3 τεχνικούς

Ανάγοντας το αρκετά μεγάλο δίκτυο των 94 κόμβων σε ένα μικρότερο, ξεχωρίζουμε 19 περιοχές-γειτονιές στις οποίες ανήκουν όλοι οι κόμβοι (+1 περιοχή-έξοδος). Εισάγοντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου δικτύου στον ευρετικό αλγόριθμο Regret και εκτελώντας τον, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

START_ROUTE_SESSION

ROUTE_ID:1

VEHICLE_DESCR:VEH01

ROUTE_DISTANCE:125

ROUTE_TIME:21000

START_SCHEDULE_SESSION

VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1

VEH01 Inspection10 1 1 58 97 0 1 10

VEH01 Inspection11 2 1 98 235 0 1 11

VEH01 Inspection08 3 1 245 400 0 1 8

VEH01 Inspection07 4 1 403 535 0 1 7

VEH01 Inspection06 5 1 541 570 0 1 6

VEH01 Inspection05 6 1 584 796 0 1 5

VEH01 Inspection04 7 1 800 851 0 1 4

VEH01 Inspection03 8 1 858 972 0 1 3

VEH01 Inspection02 9 1 982 1048 0 1 2

VEH01 Inspection01 10 1 1053 1187 0 1 1

VEH01 Inspection10 11 -1 1800 1800 606 -1 20

VEH01 Inspection11 12 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH01 Inspection08 13 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH01 Inspection07 14 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH01 Inspection06 15 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH01 Inspection05 16 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH01 Inspection04 17 -1 1800 1800 0 -1 20

VEH01 Inspection03 18 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH01 Inspection02 19 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH01 Inspection01 20 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH01 EDEPOT 21 -20000 21000 21000 19200 0 20
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
START_ROUTE_SESSION
ROUTE_ID:2
VEHICLE_DESCR:VEH02
ROUTE_DISTANCE:71
ROUTE_TIME:21000
START_SCHEDULE_SESSION
VEH02 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 7
VEH02 Inspection09 1 1 1500 1586 1491 1 9
VEH02 Inspection09 2 -1 1800 1800 152 -1 20
VEH02 EDEPOT 3 -20000 21000 21000 19200 0 20
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
START_ROUTE_SESSION
ROUTE_ID:3
VEHICLE_DESCR:VEH03
ROUTE_DISTANCE:98
ROUTE_TIME:21000
START_SCHEDULE_SESSION
VEH03 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 15
VEH03 Inspection12 1 1 16 55 0 1 12
VEH03 Inspection14 2 1 69 94 0 1 14
VEH03 Inspection13 3 1 103 186 0 1 13
VEH03 Inspection15 4 1 197 352 0 1 15
VEH03 Inspection16 5 1 357 386 0 1 16
VEH03 Inspection17 6 1 401 473 0 1 17

[210]

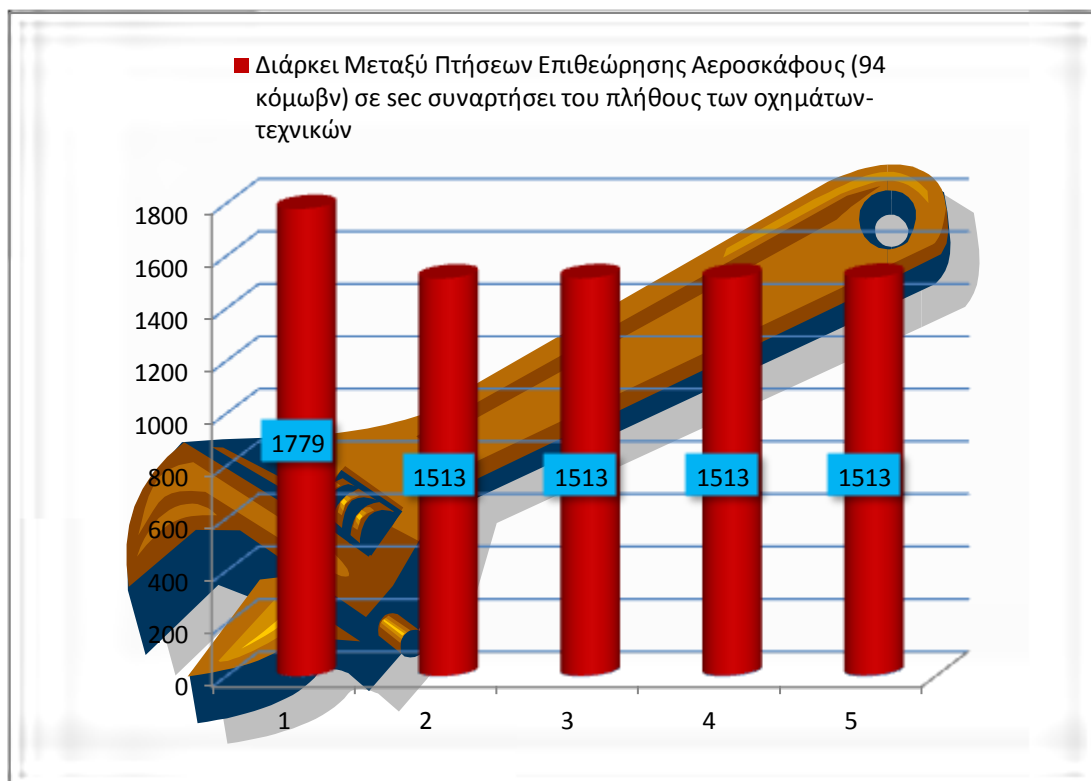
VEH03 Inspection18 7 1 491 498 0 1 18
VEH03 Inspection19 8 1 700 723 197 1 19
VEH03 Inspection19 9 -1 1800 1800 1072 -1 20
VEH03 Inspection17 10 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH03 Inspection16 11 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH03 Inspection15 12 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH03 Inspection13 13 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH03 Inspection12 14 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH03 Inspection18 15 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH03 Inspection14 16 -1 1800 1800 0 -1 20
VEH03 EDEPOT 17 -20000 21000 21000 19200 0 20
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:294
TOTAL_TIME:63000

- Δηλαδή η Μ.Π.Ε που προκύπτει ολοκληρώνεται σε 1586+10 δευτερόλεπτα (10' μετάβαση από τη τελευταία περιοχή προς την έξοδο) ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύεται είναι 294 μονάδες. Ο χρόνος περάτωσης είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν της Μ.Π.Ε των 94 κόμβων με τρεις τεχνικούς λόγω της αναγκαστικής τήρησης των χρονικών περιορισμών επίσκεψης ορισμένων περιοχών. Αρκεί να σκεφτεί κάποιος το γεγονός ότι τα παράθυρα χρόνου στη περίπτωση των περιοχών αναφέρονται σε όλη τη περιοχή και όχι σε μεμονωμένους κόμβους.
- Σημειώνεται ότι ο 1^{ος} τεχνικός επιθεωρεί 10 περιοχές και ολοκληρώνει την επιθεώρηση που του αναλογεί σε 1187'+4'' (4'' χρόνος μετάβασης από την τελευταία περιοχή επίσκεψης του 1^{ου} τεχνικού έως την έξοδο) χωρίς να χρειαστεί να περιμένει έξω από κάποια περιοχή. Αντιθέτως, ο 2^{ος} τεχνικός επισκέπτεται μόνο 1 περιοχή στην οποία όμως νωρίτερα περιμένει για 1491''

ώστε να βρεθεί εντός χρονικού περιορισμού και ολοκληρώνει τη διαδικασία στα 1586''+10'' (10'' μετάβαση στην έξοδο). Τέλος, ο 3^{ος} τεχνικός επιθεωρεί 8 περιοχές ενώ περιμένει στην 8^η για 197'' τερματίζοντας στα 723''+3'' (3'' μετάβαση στην έξοδο).

5.1.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων

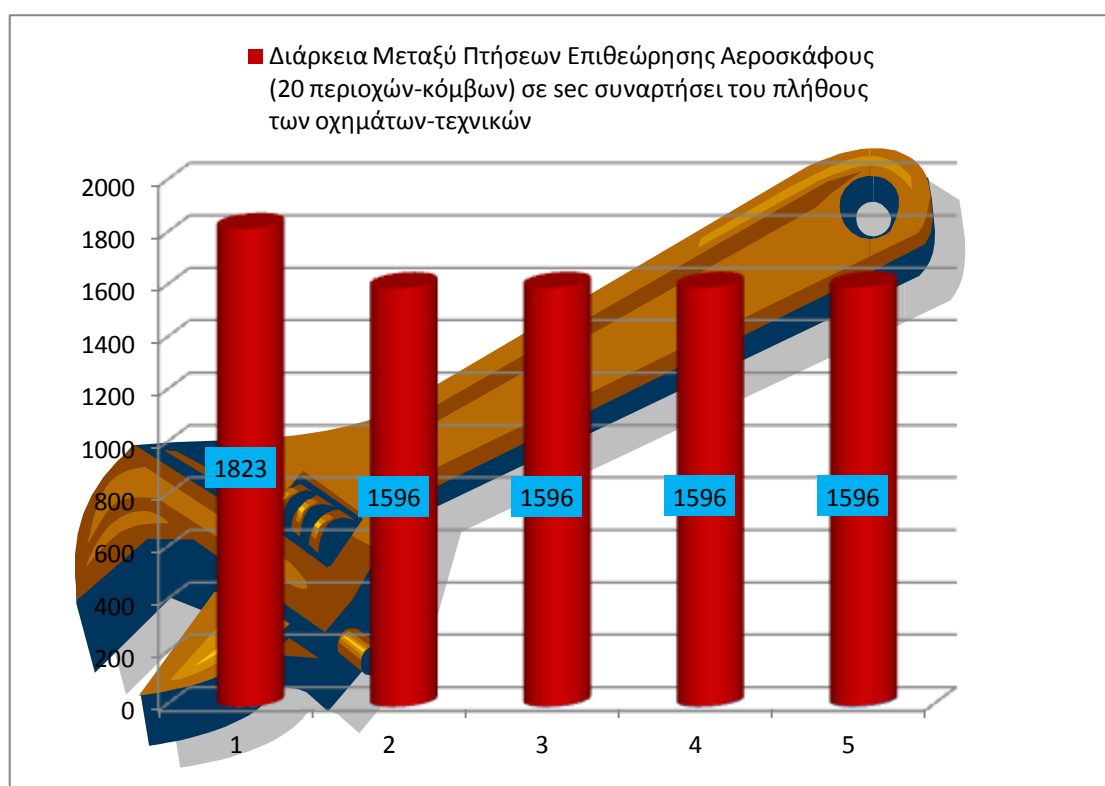
Στη παρούσα παράγραφο καλούμαστε να συγκεντρώσουμε και να συγκρίνουμε τα διαφορετικά μεγέθη των χρόνων περάτωσης μιας βελτιστοποιημένης Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρησης (Μ.Π.Ε), οι οποίοι προέκυψαν από την εφαρμογή των αλγορίθμων (heuristic, exact) πάνω στα δίκτυα 94 κόμβων, 20 περιοχών-κόμβων και ξεχωριστών περιοχών για διαφορετικό πλήθος οχημάτων-τεχνικών (1, 2, 3,..). Για την ευκολότερη κατανόησή τους παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα.



Διάγραμμα 5-1: Παρουσίαση αποτελεσμάτων χρόνων ολοκλήρωσης Μ.Π.Ε 94 κόμβων, για διαφορετικό πλήθος τεχνικών

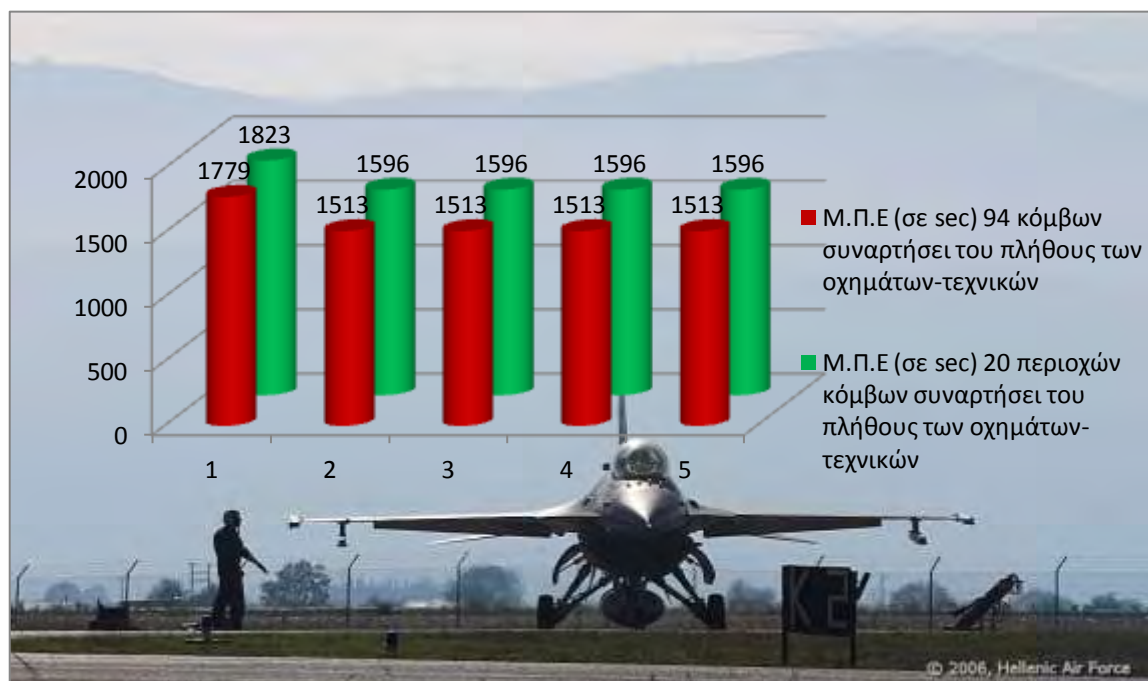
Πιο πάνω είναι εμφανές το γεγονός ότι η βελτίωση του χρόνου επιθεώρησης Μ.Π.Ε είναι αισθητή μόνο μέχρι τους 2 τεχνικούς ενώ αυξάνοντας κι άλλο τον

αριθμό τους παρατηρούμε πως ο χρόνος δεν μεταβάλλεται. Σημειώνεται ότι ο χρόνος ολοκλήρωσης της Μ.Π.Ε συμφώνως με τα τεχνικά εγχειρίδια αγγίζει τα 90΄ ή 5400΄΄. Επιπλέον, ένας έμπειρος τεχνικός, μειώνοντας τους χρόνους επιθεώρησης κάθε κόμβου σε τέτοιο βαθμό ώστε να τηρούνται τα ποιοτικά πρότυπα και οι κανόνες ασφαλείας των εγχειριδίων, καταφέρνει να επιτύχει μια Μ.Π.Ε διάρκειας 2019΄΄. Η εφαρμογή των αλγορίθμων δρομολόγησης πάνω στη μοντελοποιημένη Μ.Π.Ε των 94 σημείων εξάγει ως χρόνο ολοκλήρωσης τα 1779΄΄ μειώνοντας έτσι το μέγεθος των 2019΄΄ κατά 45΄΄, ποσό αξιοσημείωτο εάν σκεφτεί κανείς ότι αυτός ο χρόνος (1779΄΄) υποστηρίζεται πλέον από ένα μαθηματικό μοντέλο και έναν αλγόριθμο, γεγονός το οποίο καθιστά αδύνατη την αμφισβήτησή του. Τέλος, η εκτέλεση του αλγορίθμου με τη χρήση 2 οχημάτων-τεχνικών μειώνει τον χρόνο στα 1513΄΄ ποσό το οποίο δεν μπορεί να βελτιωθεί περισσότερο, όπως θα δούμε παρακάτω.



Διάγραμμα 5-2: Παρουσίαση αποτελεσμάτων χρόνων ολοκλήρωσης Μ.Π.Ε 20 περιοχών-κόμβων, για διαφορετικό πλήθος τεχνικών

Ομοίως, παρατηρείται το γεγονός της σταθεροποίησης του χρόνου επιθεώρησης μετά τους 2 τεχνικούς και στη περίπτωση της ομαδοποίησης της Μ.Π.Ε από 94 σημεία σε 20 περιοχές επιθεώρησης.



Διάγραμμα 5-3: Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων χρόνων ολοκλήρωσης Μ.Π.Ε 94 κόμβων και Μ.Π.Ε 20 περιοχών-κόμβων για διαφορετικό πλήθος οχημάτων-τεχνικών. Σημειώνεται ότι η διάρκεια επιθεώρησης μιας Μ.Π.Ε σύμφωνα με τα τεχνικά εγχειρίδια αγγίζει τα 5400'' ενώ ένας έμπειρος τεχνικός επιτυγχάνει την ολοκλήρωσή της σε 2019''. Η μαθηματικά υποστηριζόμενη βέλτιστη Μ.Π.Ε διαρκεί μόλις 1779'' με 1 τεχνικό

Στο παραπάνω διάγραμμα συγκρίνουμε τους χρόνους περάτωσης μιας Μ.Π.Ε 94 κόμβων με τους αντίστοιχους μιας ομαδοποιημένης Μ.Π.Ε σε 20 περιοχές κόμβων. Αυτό που συμπεραίνουμε είναι το γεγονός ότι ο χρόνος σταθεροποιείται μετά τους 2 τεχνικούς και στις δύο περιπτώσεις. Επίσης, παρατηρούμε ότι εάν μοντελοποιήσουμε την Μ.Π.Ε σε 94 σημεία επιθεώρησης επιτυγχάνουμε μικρότερο χρόνο ολοκλήρωσης απ'ότι εάν ομαδοποιήσουμε τα 94 σημεία σε 20 περιοχές κόμβων επιθεώρησης. Το παραπάνω γίνεται εύκολα κατανοητό αν σκεφτεί κανείς πως οι χρονικοί περιορισμοί ορισμένων κόμβων ανάγονται σε ολόκληρη την περιοχή στην οποία ανήκει αυτός,

οπότε ο τεχνικός αντί να περιμένει έξω από έναν κόμβο, ο οποίος έχει ως διάρκεια επιθεώρησης π.χ. 3'', θα περιμένει έξω από μια περιοχή κόμβων, η οποία έχει ως διάρκεια επιθεώρησης π.χ. 86''. Συνεπώς η ολοκλήρωση της Μ.Π.Ε καθυστερεί κατά 83'' τουλάχιστον, διότι το παραπάνω γεγονός μπορεί να λαμβάνει χώρα σε περισσότερους από έναν κόμβους.

5.2 DARP στη μοντελοποιημένη Επαναδιάθεση (Quick Turnaround)

Στη συγκεκριμένη ενότητα εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο στη μοντελοποιημένη Επαναδιάθεση με σκοπό να τη βελτιστοποιήσουμε, μεταβάλλοντας κάθε φορά το πλήθος των οχημάτων εξυπηρέτησης των κόμβων όπου στη περίπτωσή μας είναι οι τεχνικοί.

5.2.1 Χρήση ενός οχήματος-τεχνικού

Στο σημείο αυτό εφαρμόζουμε τον ευρετικό αλγόριθμο **InsertionH** για το δίκτυο των 9 κόμβων χρησιμοποιώντας μόνο έναν τεχνικό με σκοπό να βρούμε τη διαδρομή επιθεώρησης εκείνη σύμφωνα με την οποία θα ελαχιστοποιείται το κόστος ή στη περίπτωση μας ο χρόνος εξυπηρέτησης του αεροσκάφους. Για λόγους πλεονασμού δεν θα αναφερθούμε στα εισαγωγικά δεδομένα του αλγορίθμου (μιας και στο κεφάλαιο της μοντελοποίησης αναφέρονται αναλυτικά) παρά μόνο σε ένα τμήμα των αποτελεσμάτων του ευρετικού αλγορίθμου ο οποίος εκτελέστηκε. Ειδικότερα:

START_ROUTE_SESSION

ROUTE_ID:1

VEHICLE_DESCR:VEH01

ROUTE_DISTANCE:55

ROUTE_TIME:630

START_SCHEDULE_SESSION
VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1
VEH01 Inspection02 1 1 5 37 0 1 2
VEH01 Inspection03 2 1 43 90 0 1 3
VEH01 Inspection04 3 1 100 125 6 1 4
VEH01 Inspection05 4 1 130 153 0 1 5
VEH01 Inspection06 5 1 156 201 0 1 6
VEH01 Inspection07 6 1 203 238 0 1 7
VEH01 Inspection08 7 1 244 278 0 1 8
VEH01 Inspection01 8 1 600 623 305 1 1
VEH01 Inspection01 9 -1 630 630 0 -1 9
VEH01 Inspection04 10 -1 630 630 0 -1 9
VEH01 Inspection08 11 -1 630 630 0 -1 9
VEH01 Inspection07 12 -1 630 630 0 -1 9
VEH01 Inspection06 13 -1 630 630 0 -1 9
VEH01 Inspection05 14 -1 630 630 0 -1 9
VEH01 Inspection02 15 -1 630 630 0 -1 9
VEH01 Inspection03 16 -1 630 630 0 -1 9
VEH01 EDEPOT 17 -20000 630 630 0 0 9
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:55
TOTAL_TIME:630

- Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βέλτιστη Επαναδιάθεση (Quick Turnaround) επιτυγχάνεται σε 623+7 δευτερόλεπτα (7'' είναι η μετάβαση του τεχνικού από τον τελευταίο κόμβο προς την έξοδο) ακολουθώντας τη παραπάνω διαδρομή επίσκεψης των κόμβων που αναφέρεται στα αποτελέσματα του αλγορίθμου, ενώ η συνολική απόσταση η οποία διανύθηκε αγγίζει τις 55 μονάδες.

- Σημειώνεται το γεγονός ότι το Quick Turnaround σύμφωνα με τα τεχνικά εγχειρίδια διαρκεί 23' ή 1380''. Ωστόσο, ένας έμπειρος τεχνικός, μειώνοντας τους χρόνους επιθεώρησης των κόμβων κατά τέτοιο βαθμό ώστε να τηρούνται τα ποιοτικά πρότυπα και οι κανόνες ασφαλείας που αναφέρονται στα εγχειρίδια, επιτυγχάνει να ολοκληρώσει το Quick Turnaround σε 635''. Η εφαρμογή του αλγορίθμου δρομολόγησης στο μοντελοποιημένο δίκτυο των 9 κόμβων εξάγει ως χρόνο ολοκλήρωσης τα 623+7 δευτερόλεπτα, μέγεθος το οποίο δεν μπορεί να αμφισβητηθεί εξαιτίας του μαθηματικού υποβάθρου του.

5.2.2 Χρήση δύο οχημάτων-τεχνικών

Στο σημείο αυτό εφαρμόζουμε τον ευρετικό αλγόριθμο **Regret** για το δίκτυο των 9 κόμβων χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά 2 τεχνικούς με σκοπό να βρούμε τη διαδρομή επιθεώρησης εκείνη σύμφωνα με την οποία θα ελαχιστοποιείται το κόστος ή στη περίπτωσή μας ο χρόνος εξυπηρέτησης του αεροσκάφους. Από την εκτέλεση του αλγορίθμου προκύπτει:

```
START_ROUTE_SESSION
ROUTE_ID:1
VEHICLE_DESCR:VEH01
ROUTE_DISTANCE:7
ROUTE_TIME:630
START_SCHEDULE_SESSION
VEH01 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 1
VEH01 Inspection01 1 1 600 623 600 1 1
VEH01 Inspection01 2 -1 630 630 0 -1 9
VEH01 EDEPOT 3 -20000 630 630 0 0 9
END_SCHEDULE_SESSION
```

END_ROUTE_SESSION
START_ROUTE_SESSION
ROUTE_ID:2
VEHICLE_DESCR:VEH02
ROUTE_DISTANCE:36
ROUTE_TIME:288
START_SCHEDULE_SESSION
VEH02 SDEPOT 0 -10000 0 0 0 0 2
VEH02 Inspection02 1 1 0 32 0 1 2
VEH02 Inspection03 2 1 38 85 0 1 3
VEH02 Inspection04 3 1 100 125 11 1 4
VEH02 Inspection05 4 1 130 153 0 1 5
VEH02 Inspection06 5 1 156 201 0 1 6
VEH02 Inspection07 6 1 203 238 0 1 7
VEH02 Inspection08 7 1 244 278 0 1 8
VEH02 Inspection04 8 -1 288 288 0 -1 9
VEH02 Inspection08 9 -1 288 288 0 -1 9
VEH02 Inspection07 10 -1 288 288 0 -1 9
VEH02 Inspection06 11 -1 288 288 0 -1 9
VEH02 Inspection05 12 -1 288 288 0 -1 9
VEH02 Inspection02 13 -1 288 288 0 -1 9
VEH02 Inspection03 14 -1 288 288 0 -1 9
VEH02 EDEPOT 15 -20000 288 288 0 0 9
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
TOTAL_DISTANCE_UNITS:43
TOTAL_TIME:918

- Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βέλτιστη Επαναδιάθεση (Quick Turnaround) επιτυγχάνεται και πάλι σε 630''. Οπότε συμπεραίνουμε πως όσους τεχνικούς

και αν χρησιμοποιήσω δεν μπορεί να βελτιωθεί περισσότερο ο χρόνος περάτωσης του Quick Turnaround. Άλλωστε εάν εξετάσει κάποιος καλύτερα τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρεί ότι ο 1^{ος} τεχνικός επιθεωρεί μόνο έναν κόμβο τον οποίο πριν επισκεφθεί περιμένει για 600'', όσο δηλαδή διαρκεί ο ανεφοδιασμός του αεροσκάφους με καύσιμο, σε αντίθεση με τον 2^ο τεχνικό ο οποίος επιθεωρεί όλους τους υπόλοιπους κόμβους.

5.2.3 Συμπεράσματα Επαναδιάθεσης (Quick Turnaround)

Στις 2 προηγούμενες παραγράφους εξετάσαμε την βελτίωση του Quick Turnaround μέσω ενός ευρετικού αλγορίθμου δρομολόγησης με χρονικούς περιορισμούς (DARP with time windows) χρησιμοποιώντας αρχικά 1 και μετά 2 οχήματα-τεχνικούς. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι και στις δύο περιπτώσεις εξάγεται το αποτέλεσμα των 630 δευτερολέπτων ως η διάρκεια του βελτιστοποιημένου Quick Turnaround. Οπότε η βέλτιστη λύση εντοπίζεται στη 1^η περίπτωση όπου χρησιμοποιείται μόνο ένας τεχνικός, εξοικονομώντας με αυτό τον τρόπο τον 2ο τεχνικό τον οποίο θα μπορούσα να εκμεταλλευτώ με διαφορετικό τρόπο (είτε σε άλλο αεροσκάφος είτε σε διαφορετική εργασία). Τέλος, υπογραμμίζεται πως η διάρκεια ενός Quick Turnaround σύμφωνα με τα τεχνικά εγχειρίδια αγγίζει τα 23' ή 1380'', ενώ ένας έμπειρος τεχνικός πετυχαίνει την ολοκλήρωση του σε 635''.

Κεφάλαιο 6 Σύνοψη Μεταπτυχιακής Εργασίας

Σε αυτή τη μεταπτυχιακή εργασία μελετήσαμε την Μεταξύ Πτήσεων Επιθεώρηση και την Επαναδιάθεση (Quick Turnaround) του μαχητικού αεροσκάφους τύπου F-XX και προσπαθήσαμε να τη βελτιστοποιήσουμε εφαρμόζοντας αλγορίθμους δρομολόγησης τύπου DARP with Time Windows. Στο 5^ο κεφάλαιο αναλύονται διεξοδικά τα αποτελέσματα των αλγορίθμων αυτών πάνω στα μοντελοποιημένα δίκτυα με τα οποία ασχοληθήκαμε. Εκτός όμως από τα προηγούμενα, βασικά συμπεράσματα αποτελούν επίσης τα παρακάτω:

- Η επίτευξη τόσο μικρού χρόνου ολοκλήρωσης μιας Μ.Π.Ε συμβάλλει στη ραγδαία αύξηση της διαθεσιμότητας των αεροσκαφών μιας πολεμική μοίρας, γεγονός το οποίο τη καθιστά απόλυτα επιχειρησιακή.
- Στη παρούσα εργασία εκτός από τη βέλτιστη διαδρομή επιθεώρησης της Μ.Π.Ε και της Επαναδιάθεσης (Quick Turnaround) οπότε και βέλτιστος χρόνος ολοκλήρωσης, βρέθηκε και ο βέλτιστος αριθμός οχημάτων-τεχνικών ο οποίος πρέπει να χρησιμοποιείται.
- Όπως είδαμε αναλυτικότερα στο 5^ο κεφάλαιο, η αύξηση της παραγωγικότητας των τεχνικών οι οποίοι υποστηρίζουν το συγκεκριμένο επίπεδο συντήρησης του αεροσκάφους, αποτελεί σημαντικό αποτέλεσμα της μείωσης της διάρκειας μιας Μ.Π.Ε εάν σκεφθεί κανείς πως η αξιοποίησή τους σε άλλα αεροσκάφη (Μ.Π.Ε) ή ακόμα και σε άλλες εργασίες είναι πλέον εφικτή. Επίσης στη περίπτωση όπου τα αεροσκάφη σχημάτιζαν ουρές αναμονής (βεβαρημένο πτητικό πρόγραμμα) και ταυτόχρονα χρησιμοποιούνταν 2 τεχνικοί σε κάθε Μ.Π.Ε, αυτός που τελείωνε νωρίτερα θα μπορούσε να εξυπηρετεί επόμενο α/φος.
- Επιπλέον, επιτυγχάνεται μείωση του επιχειρησιακού ρίσκου (operational risk management-ORM) ενός άπειρου τεχνικού ο οποίος στη προσπάθεια μίμησης

ενός έμπειρου τεχνικού δύναται να προκαλέσει φθορά σε εξοπλισμό ή χειρότερα τραυματισμό προσωπικού. Η διαδρομή που θα ακολουθήσει είναι πλέον γνωστή, μέσω μιας εντολής εργασίας η οποία θα αποτελείται από τους πίνακες του κεφαλαίου 5 και μαθηματικά αποδεδειγμένα η βέλτιστη.

- Επιπλέον, κατά την εφαρμογή της δεν είναι απαραίτητη η τεράστια εμπειρία του τεχνικού στο αεροσκάφος, όπως συμβαίνει κατά την εμπειρική Μ.Π.Ε (όπου ο τεχνικός την επιτυγχάνει μετά από 3 περίπου χρόνια εξάσκησης στο συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους), χωρίς βέβαια να είναι περιττή.
- Σημαντικό στοιχείο αποτελεί ο έλεγχος ποιότητας, σε κάποιο βαθμό, τον οποίο ασκούμε πάνω στη δουλειά του τεχνικού όπως επίσης και στον ίδιο, μέσω της συγκεκριμένης βέλτιστης διαδρομής. Αυτό συμβαίνει διότι αυτή η διαδρομή υποστηρίζεται από μαθηματικά μοντέλα και έναν αλγόριθμο, γεγονός το οποίο καθιστά αδύνατη την αμφισβήτηση του χρόνου ολοκλήρωσης της Μ.Π.Ε από οποιονδήποτε, όπως παρατηρείται ορισμένες φορές σήμερα.
- Τέλος, όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή της εργασίας, καλύπτεται η επιτακτική ανάγκη εξισορρόπησης δυνάμεων στο διεθνή εναέριο χώρο. Η χώρα μας κατέχει υποπολλαπλάσιο μέγεθος αεροπορικού στόλου σε σχέση με άλλες αεροπορικές δυνάμεις. Παρόλο αυτά, η μείωση του χρόνου περάτωσης της Επαναδιάθεσης (Quick Turnaround) αεροσκάφους, τη καθιστά άκρως ανταγωνιστική και μάχιμη σε περίπτωση πολεμικής κινητοποίησης. Αρκεί να σκεφθεί κάποιος το γεγονός ότι όταν και όσα αεροσκάφη γυρίσουν από μια πολεμική επιχείρηση πρέπει να εξυπηρετηθούν όσο το δυνατόν γρηγορότερα ώστε να απογειωθούν τα ίδια και πάλι, σε αντίθεση με άλλες χώρες στη περίπτωση των οποίων υπάρχουν επιπλέον διαθέσιμα αεροσκάφη τα οποία ήδη τροχοδρομούν όταν τα άλλα επιστρέφουν..

Μερικά από τα ερωτήματα που μείνανε αναπάντητα και θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω εργασίας είναι η εφαρμογή των συγκεκριμένων αλγορίθμων δρομολόγησης πάνω στους χρόνους που προτείνει η κατασκευάστρια εταιρεία του αεροσκάφους και όχι στους ελληνικούς χρόνους (οι οποίοι τηρούν τα ποιοτικά πρότυπα). Επίσης, σοβαρό αντικείμενο για περαιτέρω έρευνα αποτελεί η βελτιστοποίηση των Μ.Π.Ε στη περίπτωση όπου τα αεροσκάφη σχηματίζουν ουρές αναμονής, δηλαδή σε ποιό σημείο μιας Μ.Π.Ε πρέπει να μπει ένας 2^{ος} τεχνικός ο οποίος έχει ολοκληρώσει την επιθεώρηση ενός προηγούμενου αεροσκάφους, ώστε να βελτιστοποιήσω την παραγωγή των Μ.Π.Ε. Τέλος, η δυναμική εκδοχή του προβλήματος επικεντρώνει αρκετό ενδιαφέρον και αξίζει να εξετασθεί σε άλλη εργασία.

Βιβλιογραφία

- 1) J.-F. Cordeau, A branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem, *Operations Res* 54 (2006), 573-586.
- 2) Y. Dumas, J. Desrosiers, and F. Soumis, The pickup and delivery problem with time windows, *Eur J Oper Res* 54 (1991), 7-22.
- 3) Q. Lu and M. Dessouky, An exact algorithm for the multiple vehicle pickup and delivery problem, *Transportation Sci* 38 (2004), 503-514.
- 4) H.N. Psaraftis, An exact algorithm for the single-vehicle many-to-many dial-a-ride problem with time windows, *Transport Sci* 17 (1983), 351-357.
- 5) G. Berbeglia, JF. Cordeau, I. Gribkovskaia, G. Laporte (2007) Static pickup and delivery problems: A classification scheme and survey. *TOP* 15:1-31.
- 6) M. Christiansen, K. Fagerholt (2002) Robust ship scheduling with multiple time windows. *Naval Res Logist* 49:611-625.
- 7) JF. Cordeau, G. Desaulniers, J. Desrosiers, M. Solomon, F. Soumis (2002) VRP with time windows. In: P. Toth, D. Vigo (eds.) *The Vehicle Routing Problem*. SIAM, Philadelphia, PA, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, vol. 9, 175-193.
- 8) M. Desrochers, JK. Lenstra, MWP. Savelsbergh, F. Soumis (1988) Vehicle routing with time windows: Optimization and approximation. In: BL. Golden, A Assad (eds.) *Vehicle Routing: Methods and Studies*. Elsevier (North-Holland), Amsterdam, 65-84.
- 9) M. Diana, M. Dessouky (2004) A new regret insertion heuristic for the large-scale dial-a-ride problems with time windows. *Transport Res B-Meth* 38:539-557.

- 10) S. Ropke, J.F. Cordeau, G. Laporte (2007) Models and branch-and-cut algorithms for pickup and delivery problems with time windows. *Networks* 49:258-272.
- 11) Sophie N. Parragh, Karl F. Doerner, Richard F. Hartl, A survey on pickup and delivery problems, Part 2: Transportation between pickup and delivery locations. Austria 2008.
- 12) Athanasios Lois. "Online Dial a Ride" Phd Thesis, Department of Mechanical Engineering University of Thessaly 2010.
- 13) Technical Orders and Handbooks of the specific aircraft (for more information contact author).

