

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

**“ Μοντελοποίηση εργασιών Κατά Φάση Επιθεώρησης μαχητικού
αεροσκάφους μέσω οργάνωσης εργασιών και διαχείρισης πόρων “**

υπό

Άγγελου Λιαρόπουλου

Διπλωματούχου Μηχανικού Αεροσκαφών Σ.Μ.Α., 2006

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

2014

© 2014 Λιαρόπουλος Άγγελος

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: Δρ. Λυμπερόπουλος Γεώργιος
(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής: Δρ. Κοζανίδης Γεώργιος
Επίκουρος καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής: Δρ. Σαχαρίδης Γεώργιος
Λέκτορας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο, για την αποδοχή και έγκριση του θέματος που του πρότεινα, για την καθοδήγηση και τη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων σε όλους τους τεχνικούς του 1^{ου} Σμήνους της Μοίρας Συντήρησης Βάσης της 110 Πτέρυγας Μάχης και ειδικά στον Υποστεγάρχη, για την πολύτιμη συνεργασία και βοήθειά τους κατά τη συλλογή των δεδομένων του προβλήματος. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στην γυναίκα μου Ελένη για την υποστήριξη, την ολόψυχη αγάπη και την υπομονή της και στην κόρη Βασιλεία-Άρτεμη που γεννήθηκε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας προσφέροντάς μου επιπρόσθετη ώθηση και όρεξη στην προσπάθειά μου για την επιτυχή ολοκλήρωσή της. Αφιερώνω αυτήν την μεταπτυχιακή εργασία στην γυναίκα μου και την κόρη μου.

Λιαρόπουλος Άγγελος

“ Μοντελοποίηση εργασιών Κατά Φάση Επιθεώρησης μαχητικού αεροσκάφους μέσω οργάνωσης εργασιών με περιορισμένους πόρους ”

Λιαρόπουλος Άγγελος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2014

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Λυμπερόπουλος Γεώργιος,
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Η Κατά Φάση Επιθεώρηση (ΚΦΕ) ενός μαχητικού αεροσκάφους αποτελείται από ένα σύνολο μη καταστροφικών και λειτουργικών ελέγχων καθώς και αντικαταστάσεων υλικών, τα οποία εκτελούνται από άτομα διαφορετικών εξειδικεύσεων και επιπέδων δεξιοτήτων και σε όλες τις περιοχές του αεροσκάφους όπως αυτές καθορίζονται από τον κατασκευαστή του. Η ανώτερο επιθεώρηση απαιτεί την κατήλωση του αεροσκάφους για χρονικό διάστημα άνω του μήνα και εκτελείται κάθε τριακόσιες (300) ώρες πτήσης για τα αεροσκάφη F-16 Blk 52+, με αποτέλεσμα την μείωση της δύναμης των διαθέσιμων προς πτήση αεροσκαφών. Η μείωση αυτή δημιουργεί προβλήματα τόσο στην εκπαίδευση του ιπτάμενου προσωπικού, όσο και στον προγραμματισμό των προς επιθεώρηση αεροσκαφών. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μείωση της χρονικής

διάρκειας της ΚΦΕ, που θα είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της διαθεσιμότητας των αεροσκαφών. Στη συνέχεια αναπτύσσεται το όλο πρόβλημα της ΚΦΕ καθώς επίσης και οι απαιτήσεις του σε ανθρώπινους πόρους και γίνεται μια προσπάθεια μοντελοποίησης του προβλήματος και αναπαράστασής του με αριθμητικούς όρους. Τέλος παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα από την επίλυση του προβλήματος καθώς επίσης και τα συμπεράσματα που εξάγονται βάση αυτών.

Λόγω της διαβάθμισης του υλικού ως

‘‘ **ΕΜΠΙΣΤΕΥΤΙΚΟ** ‘‘

παραλείπονται κάποια τμήματα της μεταπτυχιακής εργασίας από τα παραδιδόμενα αντίγραφα. Ειδικότερα δεν περιέχονται αριθμητικά δεδομένα σε κάποια δεδομένα και στα αποτελέσματα.

Ευχαριστώ για την κατανόηση σας.

‘‘ **Αποδεσμεύσιμο Αντίτυπο** ‘‘

Το αντίτυπο αυτό προορίζεται για ακαδημαϊκή χρήση και δεν περιέχει καμία πληροφορία κρίσιμη για την εθνική ασφάλεια.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	13
1.1. Κίνητρο και υπόβαθρο	13
1.2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	14
1.3 Οργάνωση μεταπτυχιακής εργασίας	15
Κεφάλαιο 2 Παρουσίαση προβλήματος	16
2.1 Παρουσίαση Κατά Φάση Επιθεώρησης.....	18
2.1.1 Παρουσίαση εξειδικεύσεων	20
2.1.2 Παρουσίαση επιθεωρήσεων	22
2.2 Περιορισμοί προβλήματος	30
2.2.1 Περιορισμοί αλληλουχίας	30
2.2.2 Περιορισμοί πόρων.....	32
Κεφάλαιο 3 Θεωρία προγραμματισμού εργασιών	34
3.1 Προγραμματισμός εργασιών με άπειρους πόρους.....	36
3.1.1 Σχεδίαση δικτύων εργασιών	37
3.1.2 Αλγόριθμος εύρεσης κρίσιμης διαδρομής	39
3.2 Προγραμματισμός εργασιών - περιορισμένων πόρων.....	41
3.3 Προγραμματισμός εργασιών - περιορισμένων πόρων πολλών ειδών (κριτήρια αλγορίθμων).....	42
3.3.1 Κριτήριο ACTIM.....	42

3.3.2	Κριτήριο ACROS.....	43
3.3.3	Κριτήριο AG3.....	44
3.4	Μοντέλο βέλτιστης λύση	45
Κεφάλαιο 4 Μοντελοποίηση		47
4.1	Μοντελοποίηση περιορισμών αλληλουχίας.....	48
4.2	Μοντελοποίηση περιορισμών πόρων	49
4.3	Μοντελοποίηση αντικειμενικής συνάρτησης	51
Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα και συμπεράσματα		53
5.1	Στοιχεία του προβλήματος και δίκτυο.....	55
5.2	Εμπειρικό χρονοδιάγραμμα διαδικασιών.....	64
5.3	Αποτελέσματα ευρετικού αλγορίθμου	66
5.4	Μοντέλο βέλτιστης λύσης	78
5.4.1	Γραμμικό μοντέλο υποπροβλήματος 0-16.....	78
5.4.2	Αποτελέσματα υποπροβλήματος 0-16.....	82
5.4.3	Γραμμικό μοντέλο υποπροβλήματος 16-97.....	82
5.4.4	Αποτελέσματα υποπροβλήματος 16-97.....	91
5.4.5	Γραμμικό μοντέλο υποπροβλήματος 97-110.....	92
5.4.6	Αποτελέσματα υποπροβλήματος 97-110.....	97
5.4.7	Χρονοδιαγράμματα και σχολιασμός βέλτιστης λύση	98
Βιβλιογραφία		110

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Αεροσκάφος F-16.....	18
Εικόνα 2: Τεχνικός που εργάζεται επί του αεροσκάφους	19
Εικόνα 3: Τεχνικοί εξειδίκευσης Corrosion	22
Εικόνα 4: Περιοχές εργασίας αεροσκάφους.....	33
Εικόνα 5: Αναπαράσταση πάνω σε τόξο.....	38
Εικόνα 6: Αναπαράσταση πάνω σε κόμβο	39
Εικόνα 9: Πίνακας περιορισμένων πόρων.....	45
Εικόνα 10: Χρόνος γραμμικού μοντέλου -16.....	98
Εικόνα 11: Χρόνος γραμμικού μοντέλου 16-97	99
Εικόνα 12: Χρόνος γραμμικού μοντέλου 97-110	99

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Πίνακας στοιχείων προβλήματος.....	55
Σχήμα 2: Δίκτυο εργασιών	60
Σχήμα 3: Πίνακας κρίσιμης διαδρομής υποπροβλήματος 16-97.....	61
Σχήμα 4: Εμπειρικό χρονοδιάγραμμα	64
Σχήμα 5: Πίνακας χρησιμοποιούμενων δεδομένων προβλήματος (0 δεν απαιτείται 1 απαιτείται ο πόρος).....	66
Σχήμα 6: Πίνακας δεδομένων κριτηρίων ACTIM, ACROS και AG3	69
Σχήμα 7: Χρονοδιάγραμμα , 100% ACTIM.....	73
Σχήμα 8: Χρονοδιάγραμμα , 100% ACTIM.....	75
Σχήμα 9: Χρονοδιάγραμμα 50% ACTIM 50% ACROS.....	77
Σχήμα 10: Χρονοδιάγραμμα γραμμικού μοντέλου 0-16.....	101

Σχήμα 11: Χρονοδιάγραμμα γραμμικού μοντέλου 16-97	101
Σχήμα 12: Χρονοδιάγραμμα γραμμικού μοντέλου 97-110	102
Σχήμα 13: Συνολικό τελικό χρονοδιάγραμμα ΚΦΕ	102
Σχήμα 14: Διάγραμμα ροής με ομαδοποιημένες εργασίες	106
Σχήμα 15: Συνολικό τελικό χρονοδιάγραμμα ΚΦΕ	107

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η Χώρα μας εδώ και αρκετές δεκαετίες αντιμετωπίζει μία συνεχή κατάσταση έντασης από τους γείτονες της. Οι ένοπλες δυνάμεις στηρίζουν την εξωτερική της πολιτική για να προασπίσουν τα συμφέροντα και την ασφάλεια της. Πρωταρχικό ρόλο ανάμεσα στις ένοπλες δυνάμεις παίζει η Πολεμική Αεροπορία που αποτελεί και την αιχμή του δόρατος σε όλες τις πολεμικές επιχειρήσεις. Κύριος στόχος της είναι η σωστή χρησιμοποίηση των διαθέσιμων μέσων και υλικών και ανθρώπινου δυναμικού για να φέρει εις πέρας μία κατάσταση κρίσης που απειλεί το ελληνικό έθνος. Είναι ευνόητο λοιπόν ότι σημαντικό χαρακτηριστικό σε όλα τα προηγούμενα είναι η ταχύτητα αντίδρασης που εξαρτάται από τη δυνατότητα της χώρας να ετοιμάσει τα αεροσκάφη της για έναν ενδεχόμενο πόλεμο. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο όμως απαιτεί ένα τέλειο συντονισμό ανάμεσα σε εργασίες διαφορετικού είδους πάνω στο ίδιο αεροσκάφος αλλά και ανθρώπινου δυναμικού διαφορετικής ειδικευσης σε αυτές τις εργασίες. Όλα τα παραπάνω κατατάσσουν αυτό το πρόβλημα στην κατηγορία της οργάνωσης εργασιών και διαχείρισης πόρων βάσει της οποίας μπορεί να μοντελοποιηθεί και να βελτιστοποιηθεί.

1.1. Κίνητρο και υπόβαθρο

Η Κατά Φάση Επιθεώρηση ενός αεροσκάφους αποτελεί μία από τις σημαντικότερες επιθεωρήσεις που εκτελούνται κατά τη διάρκεια ζωής ενός αεροσκάφους της Πολεμικής Αεροπορίας. Επίσης η μελέτη και ανάλυσή της προϋποθέτει πολύ καλή γνώση όλων των πτυχών των επί μέρους εργασιών της επιθεώρησης και όχι απλά την εξωτερική παρατήρηση τους, διότι πίσω από κάθε βήμα της ακολουθούν κανόνες που αφορούν την ασφάλεια του προσωπικού, του υλικού, των μέσων καθώς επίσης και περιορισμοί της ίδιας της υπηρεσίας όπως αυτοί διαρθρώνονται στην Ελληνική

Πολεμική Αεροπορία. Λόγω της θέσης μου στη Μοίρα Συντήρησης ως προϊστάμενος ποιοτικού ελέγχου, έχω πρόσβαση σε ένα τέτοιου είδους πρόβλημα και στις πληροφορίες που σχετίζονται με αυτό. Η καθημερινή μου ενασχόληση με την επίλυση μικροπροβλημάτων κατά την εκτέλεση επί μέρους εργασιών της ΚΦΕ, καθώς επίσης και με τον έλεγχο λήψης κατάλληλων διορθωτικών ενεργειών για τυχόν ευρήματα, μου έχει δώσει τη δυνατότητα να γνωρίσω όλες τις πτυχές της επιθεώρησης. Λόγω όλων των προαναφερθέντων αποφάσισα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο πρόβλημα προκειμένου να το βελτιώσω, διότι μέχρι τώρα αυτό που ακολουθείται είναι μία εμπειρική σειρά εργασιών χωρίς να προσδιορίζεται από κανένα πρότυπο οργάνωσης αυτών με αποτέλεσμα η συνολική χρονική διάρκειά του να είναι αρκετά μεγάλη.

1.2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Το εύρος του κλάδου της οργάνωσης εργασιών και της διαχείρισης πόρων είναι πολύ μεγάλο, με πολλούς επιστήμονες να έχουν κάνει σημαντικό έργο. Αναγκαστικά περιορίστηκα στη σχετική βιβλιογραφία που αναφέρεται στο τέλος από όπου και άντλησα πληροφορίες τόσο για το θεωρητικό κομμάτι του προβλήματος, όσο και για τη μοντελοποίηση και τη μελέτη αυτού ως ένα κοινό πρόβλημα διαχείρισης εργασιών και πόρων, με τις δικές του βέβαια ιδιαιτερότητες.

Δεδομένα για την εργασία αντλήθηκαν κατά βάση από τις τεχνικές οδηγίες τις Lockheed Martin [9]. Με τον προγραμματισμό παραγωγής και την ανάλυση μοντέλων χρονικού προγραμματισμού εργασιών με περιορισμό πόρων έχουν ασχοληθεί οι [2], [4] και [8]. Ενώ με την παρουσίαση και ανάλυση κάποιων αλγορίθμων που μας βοηθούν στην επίλυση των ανωτέρω προβλημάτων ασχολήθηκαν οι [3], [5], [6] και [7].

1.3 Οργάνωση μεταπτυχιακής εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας χωρίζεται σε τέσσερις ενότητες δηλαδή στα κεφάλαια 2 έως 5 που ακολουθούν. Συγκεκριμένα:

Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύεται η Κατά Φάση Επιθεώρηση, οι επιμέρους εργασίες που την αποτελούν, οι περιορισμοί της, το ανθρώπινο δυναμικό και το είδος της ειδίκευσης που απαιτείται για να τη φέρει εις πέρας, καθώς και οι περιοχές του αεροσκάφους που περιορίζουν την εργασία του προσωπικού.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναπτύσσεται όλο το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την κατανόηση του προβλήματος και τη μορφοποίησή του σε ένα μοντέλο προς βελτιστοποίηση.

Στο 4^ο κεφάλαιο εφαρμόζεται η θεωρία του 3^{ου} και μοντελοποιείται το πρόβλημα αποκτώντας μία μαθηματική και σχηματική υπόσταση επιτρέποντας μας να το μελετήσουμε.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και ακολουθεί ανάλυσή τους και εξαγωγή συμπερασμάτων για κάθε ένα από αυτά.

Κεφάλαιο 2 Παρουσίαση προβλήματος

Σήμερα η χώρα μας συνεχίζει να αντιμετωπίζει εκτός από τα δημοσιονομικά προβλήματα και άλλους εξωτερικούς κινδύνους που υπονομεύουν άμεσα την εθνική της ακεραιότητα και ασφάλεια. Σε μια εποχή που δεν έχουμε την πολυτέλεια για σπατάλες θα πρέπει να αξιοποιήσου σαν χώρα στον έπακρο βαθμό το εξοπλισμό που διαθέτουμε, με τη χρήση των ελάχιστων δυνατών απαιτούμενων πόρων. Οι δαπάνες για την εθνική άμυνα της χώρας έχουν μειωθεί, κάνοντας επιτακτική την ορθολογικότερη κατανομή τους καθώς επίσης και την αξιοποίηση κάθε δυνατότητας του προσωπικού και των μέσων που διαθέτει αυτό, ώστε να διατηρήσει στο επίπεδο στο οποίο βρίσκεται. Η ευθύνη των ατόμων που χειρίζονται τα οπλικά συστήματα της χώρας καθώς και αυτών που τα συντηρούν είναι τεράστια, αφού το κόστος απόκτησής, αλλά και λειτουργίας και συντήρησής τους είναι πολύ μεγάλο.

Για να διασφαλίσει όμως η χώρα μας ότι θα μπορεί ανά πάσα στιγμή να σταθεί απέναντι σε κάθε επιτιθέμενο σαν υπολογίσιμη δύναμη δεν αρκεί μόνο να έχει αποκτήσει κατά καιρούς σύγχρονα οπλικά συστήματα αλλά το βασικότερο είναι να τα διατηρεί κάθε στιγμή ετοιμοπόλεμα και 100% εύχρηστα. Όπως σε κάθε άλλη χώρα έτσι και στη δική μας δεν είναι δυνατό να απουσιάζει από τις ένοπλες δυνάμεις η πολεμική αεροπορία.

Ο ρόλος της πολεμικής αεροπορίας στο σύγχρονο πεδίο μάχης βασίζεται στην άμεση αντίδραση με την μέγιστη δυνατή δύναμη πυρός και εν συνεχεία ο έγκαιρος διαμοιρασμός της δύναμης πυρός ώστε να καταφέρει ένα σοβαρό πλήγμα στον εχθρό, διότι σε αυτές τις εποχές είναι το μοναδικό μέσο που μπορεί να διεισδύσει ταχύτατα σε μεγάλες αποστάσεις και σε τρωτά στρατηγικά σημεία του εχθρού. Η απόδοση όμως αυτή δεν αρκεί να χαρακτηρίζεται από μία κορύφωση στην αρχή της κρίσης και την

κατάπτωση μετά, διότι πάλι αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μη σωστή χρησιμοποίηση της συνολικής δύναμης της χώρας και κατά συνέπεια τον κλονισμό της ασπίδας προστασίας της σε μία επικίνδυνη κατάσταση. Για το λόγο αυτό πρέπει η ετοιμότητα των δυνάμεων να βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα ακόμα και μετά τη διεξαγωγή των πρώτων επιχειρήσεων.

Επανερχόμενοι πάλι στο ρόλο της πολεμικής αεροπορίας στη χώρα μας πρέπει να αναφέρουμε τις διαρκείς παραβιάσεις του εθνικού εναέριου χώρου οι οποίες την έχουν εξαναγκάσει να βρίσκεται σε μία συνεχόμενη κατάσταση κρίσης πράγμα που με τη σειρά του απαιτεί την καθημερινή βελτίωση με σκοπό να διατηρείται η επιχειρησιακή ετοιμότητα της χώρας. Με στόχο να παράγεται όσο το δυνατό μεγαλύτερο πτητικό έργο χωρίς να γίνεται αυτό εις βάρος των κανόνων ασφάλειας πτήσεων και εδάφους, κύριο μέλημα όλων στην πολεμική αεροπορία είναι η αύξηση των διαθέσιμων προς πτήση αεροσκαφών. Όλα αυτά όμως δεν είναι μόνο αντικρουόμενα μεταξύ τους, αλλά και με το προσωπικό που είναι διαθέσιμο για κάθε αεροσκάφος τόσο σε περίοδο ειρήνης όσο και σε περίοδο έντασης.

Αυτό που πρέπει να γίνει για να διασφαλιστεί από τον καιρό της ειρήνης η μέγιστη αξιοποίηση των αεροσκαφών που διαθέτει η χώρα, είναι να εκτελούνται όλες οι απαιτούμενες εργασίες συντήρησης επί του αεροσκάφους στον ελάχιστο δυνατό χρόνο με χρήση των ελάχιστων δυνατών πόρων διασφαλίζοντας παράλληλα ότι θα ακολουθούνται όλα τα ποιοτικά πρότυπα που έχουν θεσπίσει τόσο ο κατασκευαστής του αεροσκάφους, όσο και οι εγχώριοι φορείς. Η σημαντικότερη εργασία συντήρησης που εκτελείται από το προσωπικό της πολεμικής αεροπορίας στα αεροσκάφη F-16 είναι η Κατά Φάση Επιθεώρηση (ΚΦΕ). Κατά την επιθεώρηση αυτή διασφαλίζεται η αξιοπλοϊμότητα του στόλου των αεροσκαφών μιας και η φιλοσοφία κατασκευής τους είναι η fail-safe, δηλαδή το αεροσκάφος είναι πιθανό να έχει κάποιες αστοχίες στη

διάρκεια ζωής του οι οποίες όμως δεν θα οδηγήσουν σε επισφαλείς καταστάσεις αρκεί να επιθεωρείται όπως καθορίζει ο κατασκευαστής ώστε τα τυχόν προβλήματα να επιλυθούν εν τη γενέσει τους.

2.1 Παρουσίαση Κατά Φάση Επιθεώρησης



Εικόνα 1: Αεροσκάφος F-16

Ένα αεροσκάφος F-16 Block 52+ το οποίο βρίσκεται στο υπόστεγο συντήρησης για την εκτέλεση ΚΦΕ παρουσιάζει κατά το την ανωτέρω εικόνα. Όπως είναι φανερό και στην εικόνα 2 πολλά καλύμματα του αεροσκάφους τόσο στην άτρακτο όσο και στις



Εικόνα 2: Τεχνικός που εργάζεται επί του αεροσκάφους

πτέρυγες έχουν αφαιρεθεί ώστε το προσωπικό να έχει πρόσβαση στους χώρους των επιθεωρήσεων.

Ξεκινώντας όμως από την αρχή πρέπει να αναφέρουμε ότι η Κατά Φάση Επιθεώρηση ή όπως αναφέρεται στην αμερικάνικη βιβλιογραφία Phased Inspection, αποτελεί την σημαντικότερη εργασία ενδιάμεσου επιπέδου συντήρησης (Intermediate Level) που εκτελείται στα αεροσκάφη F-16. Η συχνότητα εκτέλεσης της είναι κάθε τριακόσιες ώρες (300hr) πτήσης του αεροσκάφους και αποτελείται από ένα σύνολο υποεπιθεωρήσεων σε όλες τις περιοχές του αεροσκάφους οι οποίες εκτελούνται από προσωπικό διαφόρων εξειδικεύσεων. Οι εργασίες που εκτελούνται απαιτούν άριστη γνώση του αντικειμένου, καθώς μιλάμε ουσιαστικά για μια πλατφόρμα οπλικών

συστημάτων η οποία εφαρμόζει την τελευταία λέξη της τεχνολογίας σε διάφορους τομείς. Προτού όμως μιλήσουμε για τις εργασίες θα αναλυθεί το απαιτούμενο προσωπικό ενώ στο τέλος θα αναφερθούμε στους κανόνες που καθορίζουν τις προτεραιότητες μεταξύ των εργασιών.

2.1.1 Παρουσίαση εξειδικεύσεων

Παρακάτω θα γίνει μία σύντομη αναφορά στο είδος του προσωπικού που εργάζεται και πως διαχωρίζεται στις κατηγορίες που ακολουθούν. Τα κριτήρια με τα οποία διαχωρίζεται το προσωπικό είναι :

- **Η ειδικότητα** : σύμφωνα με την οποία το προσωπικό διαχωρίζεται περαιτέρω σε:
 - **Μηχανικούς (Crew Chief) - (CR)**: που εμπλέκονται περισσότερο από όλες της άλλες ειδικότητες με την επιθεώρηση του θέματος, κάνουν τις αφαιρέσεις των καλυμμάτων καθώς και πολλούς οπτικούς κατά βάση ελέγχους αλλά και επιθεωρήσεις του συστήματος κλιματισμού και συμπίεσης του αεροσκάφους.
 - **Χρώστες (Corrosion) - (CO)**: που ασχολούνται με την αντιδιαβρωτική προστασία του αεροσκάφους, την απόχρωση και χρώση διαφόρων επιφανιών του αεροσκάφους και την επιθεώρηση περιοχών για διάβρωση (εικόνα 3).
 - **Κινητήρων (Engine) - (EN)**: το βασικό αντικείμενο ασχολίας αυτής της ειδικότητας είναι οι επιθεωρήσεις του κινητήρα όμως η εμπλοκή τους στην ΚΦΕ είναι κυρίως στις απαιτούμενες εκκινήσεις για λειτουργικούς ελέγχους των συστημάτων και κάποιους ελέγχους στο starter του κινητήρα.
 - **Δομής (Structure) - (ST)**: οι δομές σε ότι αφορά την ΚΦΕ ασχολούνται με την επιθεώρηση συγκεκριμένων δομικών τμημάτων του σκάφους.

- **Υδραυλικοί (Hydraulics) - (HY):** ασχολούνται με επιθεωρήσεις σε διάφορα κομμάτια του υδραυλικού συστήματος του αεροσκάφους με κύριο το σύστημα προσγείωσης.
- **NDI (Non Destructive Inspections) - (N):** είναι η ειδικότητα με κύρια αποστολή τον μη καταστροφικό έλεγχο με χρήση διαφόρων μεθόδων πέραν των οπτικών ελέγχων σε συγκεκριμένες, ευπαθείς περιοχές του αεροσκάφους.
- **Καυσίμων-Υδραζίνης (Fuel & Hydrazine) - (FU):** ασχολούνται με τις επιθεωρήσεις του συστήματος καυσίμου και της Emergency Power Unit του αεροσκάφους που σαν καύσιμο έχει την άκρος τοξική και επικίνδυνη υδραζίνη.
- **Ηλεκτρολόγοι (Elec) - (EL):** με αντικείμενο ελέγχους σε καλωδιώσεις του αεροσκάφους καθώς και καλής λειτουργίας υποσυστημάτων του.
- **Flight Control - (FL):** που εμπλέκονται με ελέγχους στο σύστημα ελέγχου της πτήσεως του αεροσκάφους.
- **Οπλουργοί (Weapon) - (W):** ασχολούνται με επιθεωρήσεις και λειτουργικούς ελέγχους των μη ηλεκτρονικών τμημάτων των οπλικών συστημάτων του αεροσκάφους.
- **Οπλουργοί (Egress) –(EG):** ασχολούνται με το κάθισμα του αεροσκάφους και τους εκρηκτικούς μηχανισμούς του συστήματος εγκατάλειψης.

Δίπλα σε κάθε τίτλο ειδικότητας παραθέτονται σε παρένθεση ο αγγλικός τίτλος και μετά την παύλα τα αρχικά που θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια όποτε αναφερόμαστε στις ειδικότητες.



Εικόνα 3: Τεχνικοί εξειδίκευσης Corrosion

- **Και το επίπεδο εξουσιοδότησης :** να εκτελέσουν κάποιες εργασίες σύμφωνα με το οποίο διακρίνουμε :
 - ο **Τους επιθεωρητές :** οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη εμπειρία και επιβλέπουν και καθοδηγούν τους εκτελεστές στις εργασίες ή ακόμα και εκτελούν κάποιες πιο πολύπλοκες.
 - ο **Και τους εκτελεστές :** που με τη σειρά τους δεν μπορούν να εκτελέσουν εργασίες χωρίς την επίβλεψη ενός επιθεωρητή

Συνολικά το διαθέσιμο προσωπικό για την ΚΦΕ είναι ένας επιθεωρητής και ένας εκτελεστής από κάθε ειδικότητα και θα πρέπει να είναι αναγκαστικά παρόντες και οι δύο για εκτελεστεί μία εργασία στο αεροσκάφος.

2.1.2 Παρουσίαση επιθεωρήσεων

Έχοντας παρουσιάσει τις κατηγορίες προσωπικού και συνοπτικά το αντικείμενο εργασίας τους, έπεται μία επιγραμματική παρουσίαση των εργασιών που απαρτίζουν

την ΚΦΕ. Οι εργασίες που παρατίθενται αποτελούνται από υποεργασίες και για λόγους ευκολίας ονομάζονται με βάση τον αύξοντα αριθμό τους, οποίος είναι τυχαίος και δεν υποδηλώνει τις προτεραιότητες μεταξύ των εργασιών, που θα αναλυθούν αργότερα. Επιπλέον για κάθε εργασία θα αναφερθούν οι απαιτούμενοι πόροι σε προσωπικό (μόνο ειδικότητα αφού απαιτούνται ένας επιθεωρητής κι ένας εκτελεστής για όλες τις εργασίες όπως προαναφέρθηκε) και ο απαιτούμενος χρόνος σε λεπτά της ώρας.

- **Επιθεώρηση Παραλαβής**

Με το που θα αφιχθεί κάποιο αεροσκάφος στον 2^ο Βαθμό συντήρησης (Intermediate Level) πρέπει απαραίτητα να γίνει η ανωτέρω επιθεώρηση για επιβεβαιωθεί αρχικά ότι το αεροσκάφος φέρει τη διαμόρφωση και τα υποσυστήματα που πρέπει για να επιθεωρηθεί περεταίρω.

Εργασίες με αύξοντα αριθμό (A/A): 1,2,3,4,5,6,7 και 8

Απαιτούμενο προσωπικό: **CR, FL, EL, EN, H, ST, EG και W, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **150, 30, 30, 30, 30, 30, 30 και 60, αντίστοιχα.**

- **Υποδοχή του Αεροσκάφους**

Είναι το πλύσιμο και κατά κύριο λόγο εργασίες λήψης μέτρων ασφαλείας ώστε να μπορούν να εκτελεστούν εργασίες στο αεροσκάφος εντός του υπόστεγου συντήρησης.

Εργασίες με (A/A): **9, 11.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **CO, FL, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **240, 30, αντίστοιχα.**

- **Επιθεωρήσεις του Airframe**

Είναι επιθεωρήσεις που εκτελούνται στην κύρια δομή του αεροσκάφους οπτικά είτε με άλλες μη καταστροφικές μεθόδους, έλεγχοι διάβρωσης, διαρροών και άνοιγμα όλων

των απαραίτητων καπό ώστε να διασφαλιστεί πρόσβαση σε εσωτερικές περιοχές του αεροσκάφους.

Εργασίες με (Α/Α): **12, 14, 16, 20, 21, 31, 37, 38, 44, 46, 47, 49, 50, 52, 56.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **CR, CR, CR, CR, CO, CR, CR, N, CR, CR, N, CR, CO, CR, N, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **420, 420, 600, 30, 180, 30, 60, 30, 60, 30, 180, 150, 30, 90, 60, αντίστοιχα.**

- **Επιθεωρήσεις των Cockpit & Fuselage**

Αφορά ελέγχους στην καλύπτρα και την δομή του σκάφους στην περιοχή που αυτή εδράζεται.

Εργασίες με (Α/Α): **24, 25, 32.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **EG, CO, EG αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **30, 30, 120, αντίστοιχα.**

- **Επιθεωρήσεις του Landing Gear System**

Ένα από τα βασικότερα συστήματα του αεροσκάφους είναι στο σύστημα προσγειώσεις. Οι επιθεωρήσεις του εμπλέκουν άτομα διαφόρων ειδικοτήτων με κομβικές εργασίες για το πρόβλημά μας την ανύψωση και την καταβίβαση του αεροσκάφους από τους γρύλους.

Εργασίες με (Α/Α): **17, 26, 33, 34, 35, 39, 60, 61, 71, 85.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **EL, CO, HY, HY, HY, HY, CR, CR, EL, HY, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **30, 60, 60, 30, 30, 90, 60, 30, 60, 60, αντίστοιχα.**

- **Επιθεωρήσεις του Flight Control System**

Είναι οι επιθεωρήσεις που εκτελούνται σε όλα τα τμήματα του συστήματος ελέγχου της πτήσεως, με κύρια βαρύτητα σε αυτό το κομμάτι στα μηχανικά και υδραυλικά.

Εργασίες με (A/A): **15, 36, 53, 57, 67, 72, 75, 78, 88.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **N, CO, HY, HY, CR, CR, CR, CR, CR, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **30, 90, 30, 60, 90, 120, 30, 30, 240, αντίστοιχα.**

- **Επιθεωρήσεις του EPU System**

Το Emergency Power Unit System είναι αυτό που σε περίπτωση ανάγκης θα αναλάβει να τροφοδοτήσει το αεροσκάφος με την απαραίτητη ηλεκτρική και υδραυλική ισχύ για χρονικό διάστημα δέκα λεπτών. Οι επιθεωρήσεις του αφορούν κυρίως τη λήψη μέτρων ασφαλείας και ελέγχους για διαβρώσεις της δεξαμενής και του συστήματος.

Εργασίες με (A/A): **10,58.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **FU, CR, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **60, 30, αντίστοιχα.**

- **Επιθεωρήσεις του Jet Fuel Starter System**

Είναι οπτικοί έλεγχοι που εκτελούνται στο στην περιοχή του συστήματος εκκίνησης του αεροσκάφους καθώς επίσης και στο Gearbox δηλαδή στο σύστημα του αεροσκάφους που μεταβιβάζει ισχύ από τον κινητήρα στο σκάφος.

Εργασίες με (A/A): **18, 51, 59, 69.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **FU, EN, CR, EN, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **180, 120, 120, 30, αντίστοιχα.**

- **Επιθεωρήσεις του Environmental Control System**

Είναι αφαιρέσεις και τοποθετήσεις εξαρτημάτων για διευκόλυνση της πρόσβασης σε περιοχές του συστήματος, καθώς επίσης και ελέγχει σε βαλβίδες και περιοχές του.

Εργασίες με (Α/Α): **54, 70.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **CR, CR, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **30, 120, αντίστοιχα.**

- **Επιθεωρήσεις του Electrical Power Supply**

Είναι ελέγχει στις καλωδιώσεις και τις γεννήτριες του σκάφους και εκτελούνται από την ειδικότητα των ηλεκτρολόγων.

Εργασίες με (Α/Α): **13, 27, 45, 48.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **EL, EL, EL, EL, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **30, 30, 210, 30, αντίστοιχα.**

- **Επιθεωρήσεις του Hydraulic and Pneumatic System**

Σε αυτές τις επιθεωρήσεις εμπλέκονται μόνο οι υδραυλικοί και επιθεωρούν κυρίως τα υδραυλικά του συστήματος προσγείωσης του σκάφους καθώς και βαλβίδες που βρίσκονται στην ίδια περιοχή.

Εργασίες με (Α/Α): **68.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **HY.**

Απαιτούμενος χρόνος: **30.**

- **Επιθεωρήσεις του Fuel System**

Η ειδικότητα καυσίμων κατά κύριο λόγο εκτελεί τις επιθεωρήσεις στο σύστημα καυσίμου του αεροσκάφους, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο δεξαμενών, υποβοηθούμενη σε κάποιες περιοχές από τους χρώστες για έλεγχο διαβρώσεων.

Εργασίες με (Α/Α): **28, 43.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **FU, CO.**

Απαιτούμενος χρόνος: **270, 60.**

- **Επιθεωρήσεις των Λοιπών Συστημάτων**

Είναι ουσιαστικά επιθεωρήσεις για διαβρώσεις και δομικές καταπονήσεις στις περιοχές με τη μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης.

Εργασίες με (Α/Α): **19, 29, 30.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **ST, CO, ST, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **30, 30, 60, αντίστοιχα.**

- **Επιθεώρηση του Ring Retainer**

Είναι μία σημαντική εργασία η οποία εκτελείται με το αεροσκάφος να βρίσκεται σηκωμένο στους γρύλος και αφορά τη σωστή λιβρομέτρηση και έλεγχο για ζημιές σε εξαρτήματα των κυρίως σκελών προσγείωσης.

Εργασίες με (Α/Α): **86**

Απαιτούμενο προσωπικό: **HY**

Απαιτούμενος χρόνος: **30**

- **Επιθεωρήσεις των Wing Ribs**

Τα Wing Ribs είναι ευπαθείς ως προ διαβρώσεις περιοχές στις πτέρυγες του αεροσκάφους που για επιθεωρηθούν πρέπει να εκτελεστεί μία αλληλουχία εργασιών διαφορετικών ειδικοτήτων.

Εργασίες με (A/A): **62, 63, 65, 66, 81.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **CR, CO,ST, CO, CR, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **60, 210, 60, 120, 60, αντίστοιχα.**

- **Επιθεωρήσεις των Integrated Servo Actuators**

Οι συγκεκριμένες επιθεωρήσεις αφορούν του γρύλους που δίνουν κίνηση στις επιφάνειες ελέγχου του αεροσκάφους και εμπλέκουν τις ειδικότητες των Υδραυλικών και των Flight Control .

Εργασίες με (A/A): **73, 74, 77, 79.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **FL, HY, FL, HY, FL, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **30, 90, 60, 60, 30, αντίστοιχα.**

- **Restoring**

Είναι κατά κύριο λόγο οι εργασίες επανατοποθέτησης όλων των καπό θυρίδων και γενικά όλων των υλικών που απαιτήθηκε να αφαιρεθούν για λόγους πρόσβασης ή για άλλους λόγους κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της ΚΦΕ και δεν έχουν γίνει σε κάποια από τις προηγούμενες εργασίες.

Εργασίες με (A/A): **97.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **CR.**

Απαιτούμενος χρόνος: **1200.**

- **Επιθεωρήσεις Follow - On**

Είναι όλοι οι λειτουργικοί έλεγχοι και οι εκκινήσεις που είναι απαραίτητο να εκτελεστούν στο αεροσκάφος, καθώς επίσης και όλες οι εργασίες πλήρωσης των συστημάτων του με καύσιμο, υδραυλικό υγρό, λάδι , άζωτο και ότι άλλο απαιτείται ώστε να είναι έτοιμο για την εκτέλεσή τους.

Εργασίες με (A/A): **55, 84, 89, 90, 95, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 108.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **FU, CR, HY, FL, EL, FU, CR, EN, CR, CR, CR, EN, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **60, 90, 60, 150, 120, 60, 120, 300, 150, 210, 60, 60, αντίστοιχα.**

- **Έξοδος Αεροσκάφους**

Είναι όλες οι εργασίες που εκτελούνται έτσι ώστε να αρθούν τα μέτρα ασφαλείας που ελήφθησαν ώστε να γίνει εργασίες συντήρησης, ο καθαρισμός και η χρώση επιφανειών του αεροσκάφους, η λίπανσή του και γενικότερα όλες οι απαραίτητες εργασίες ώστε εξέλθει το αεροσκάφος από το υπόστεγο συντήρησης. Τέλος είναι και όλοι οι τελικοί έλεγχοι από τις διάφορες ειδικότητες, η ενημέρωση των διαφόρων μητρώων του αεροσκάφους για τις εργασίες που εκτελέστηκαν σε αυτό κατά τη διάρκεια της ΚΦΕ και οι απαραίτητες πριν την πτήση επιθεωρήσεις του αεροσκάφους.

Εργασίες με (A/A): **105, 107, 109.**

Απαιτούμενο προσωπικό: **CO, CR, CR, αντίστοιχα.**

Απαιτούμενος χρόνος: **300, 240, 30, αντίστοιχα. [9]**

2.2 Περιορισμοί προβλήματος

Έχοντας αναφερθεί στο προσωπικό και στις διαδικασίες του προβλήματος, τώρα πρέπει να αναφερθούμε στους κανόνες που καθορίζουν τις σχέσεις προτεραιότητας μεταξύ των διαδικασιών καθώς επίσης και σε αυτούς λόγο περιορισμένων πόρων.

2.2.1 Περιορισμοί αλληλουχίας

Η αλληλουχία των διαδικασιών καθορίζεται τόσο από κανόνες που διασφαλίζουν την ασφάλεια του προσωπικού, των υλικών και των εργασιών, αλλά και από προβλήματα χωροταξίας εντός του υπόστεγου συντήρησης αεροσκαφών.

Θα ξεκινήσουμε λοιπόν με τους περιορισμούς οι οποίοι θέτουν τη βασική αλληλουχία των διαδικασιών με πρώτη από όλες την εργασία (με A/A) 10 που είναι η λήψη μέτρων ασφαλείας για την υδραζίνη, που αποτελεί το καύσιμο της Emergency Power Unit (EPU), το οποίο είναι άκρος τοξικό. Μετά την 10 μπορούν να εκτελεστούν οι εργασίες 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 και 11 που είναι οι εργασίες λήψης μέτρων ασφαλείας από τις διάφορες ειδικότητες σε ότι αφορά τα αντίστοιχα συστήματα του αεροσκάφους. Ως προαπαιτούμενες τις εργασίες 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 και 11 έχει η εργασία 9, που είναι το πλύσιμο του αεροσκάφους. Στη συνέχεια έπονται οι εργασίες 12, 14, 16, με αυτή τη σειρά, οι οποίες είναι οι αφαιρέσεις των καπώ για πρόσβαση. Αμέσως μετά την 12 μπορεί να εκτελεστεί η 13 που είναι έλεγχοι των ηλεκτρολόγων σε περιοχές που ανοίχτηκαν τα καπώ κατά την 12. Ομοίως μετά την 14 έπεται η 15. Ακολούθως ως προαπαιτούμενη τη 16 έχουν ως προαπαιτούμενη πολλές εργασίες – επιθεωρήσεις, αφού πλέον το αεροσκάφος είναι έτοιμο προς επιθεώρηση. Η αλληλουχία των εργασιών φαίνονται καλύτερα όταν αποδίδεται σχηματικά, πράγμα που θα γίνει στο 5^ο κεφάλαιο.

Η εργασία είναι 97 είναι το κλείσιμο των καπώ, έπεται όλων των επιθεωρήσεων και είναι προαπαιτούμενη όλων των λειτουργικών ελέγχων, οπότε θεωρείται κομβική. Οι

περισσότερες εργασίες έχουν ως προαπαιτούμενη την 16 είναι άμεσα προαπαιτούμενες της 97 εκτός από κάποιες που αποτελούν μέρος υποαλληλουχιών που έχουν ομοίως προαπαιτούμενη την 16 και είναι άμεσα προαπαιτούμενες της 97. Μία απλή υποαλληλουχία είναι η 16-28-18-97, που είναι δύο επιθεωρήσεις των καυσίμων (FU) που πρέπει να εκτελεστούν διαδοχικά. Άλλη είναι η 16-54-70-97 που είναι εργασίες των μηχανικών (CR) και μετά ηλεκτρολόγων (EL) που εκτελούνται στο Environmental Control System. Η 60 είναι η ανύψωση του αεροσκάφους στους γρύλους όπως προαναφέραμε και είναι προαπαιτούμενη των 33, 34, 35, 39 και 86 που είναι επιθεωρήσεις των υδραυλικών (HY) σε διάφορα τμήματα του συστήματος προσγείωσης κυρίως. Η 61 που έχει ως προαπαιτούμενες τις 33, 34, 35, 39 και 86 είναι η καταβίβαση του αεροσκάφους από τους γρύλους και είναι προαπαιτούμενη για τις 88, 89 και 90 που είναι λειτουργικοί έλεγχοι από τους μηχανικούς (CR), υδραυλικούς (HY) και Flight Control (FL) που πρέπει να εκτελεστούν μετά τους ελέγχους που γίνονται όσο το σκάφος είναι στους γρύλους ανύψωσης, με τα καπό και τις θυρίδες ανοιχτά. Η 85 που έπεται τις 86 είναι επιθεωρήσεις που επιβεβαιώνουν την τις μετρήσεις που έγιναν στην 86, ακολουθεί η 71 που είναι έλεγχος των καλωδιώσεων από τους ηλεκτρολόγους (EL). Μία ακόμα αλληλουχία εργασιών είναι η 16-62-63-65-66-81-97 που η αλληλουχία της επιθεώρησης των Wing Ribs των πτερύγων του αεροσκάφους. Τέλος η 16-73-74-77-79-80-97 αφορά την επιθεώρηση των Integrated Servo Actuators του αεροσκάφους. Μετά την 97 ακολουθούν οι 95, 98, 99 που είναι λειτουργικοί έλεγχοι όπως προαναφέρθηκε και η 101 που είναι η εκκίνηση του αεροσκάφους και αποτελεί προαπαιτούμενη των 84, 108 και 102 που είναι έλεγχοι και επιθεωρήσεις των μηχανικών (CR) που πρέπει να εκτελεστούν πριν τις 103 και 104 που είναι ενέργειες που πρέπει να εκτελεστούν μετά το πέρας της λειτουργίας του κινητήρα του αεροσκάφους. Οι 55 και 109 είναι διαδικασίες για την προετοιμασία του αεροσκάφους

για να αποδοθεί για πτήση δοκιμής αέρος. Η 105 με προαπαιτούμενες τις 103 και 104 είναι το πλύσιμο η χρώση όπου απαιτείται που εκτελούν οι χρώστες (CO). Τέλος η 107 είναι οι διαδικασίες καθαρισμού και προετοιμασίας προς πτήση του αεροσκάφους από τους μηχανικούς (CR).

2.2.2 Περιορισμοί πόρων

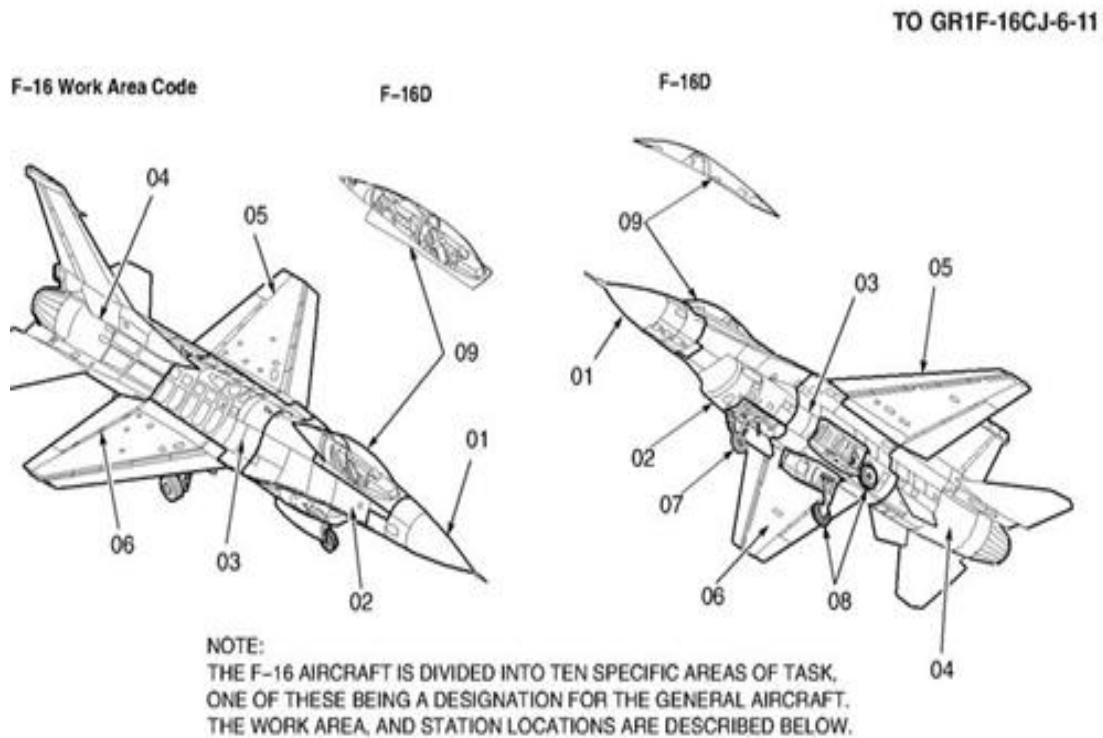
Την τελική σειρά των εργασιών επηρεάζουν εκτός από όλους τους προηγούμενους περιορισμούς και κάποιοι άλλοι που δεν έχουν σχέση με την αλληλουχία των εργασιών αλλά απαγορεύουν την πραγματοποίηση κάποιων εξ' αυτών παράλληλα με κάποιες άλλες. Αυτό σημαίνει ότι δεν μας ενδιαφέρει η σειρά με την οποία θα πραγματοποιηθούν αρκεί να μην δρομολογούνται παράλληλα και αυτό προσδιορίζεται τόσο από κανόνες ασφάλειας, από παράγοντες χωροταξίας και από τη δυνατότητα διάθεσης πόρων.

Είναι λογικό για τους ανθρώπινους πόρους να μην μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα εργασίες που απαιτούν τον ίδιο πόρο (εξειδίκευση), αφού στο πρόβλημά μας το σύνολο του κάθε πόρου είναι ένα. Επιπρόσθετα δεν γίνεται να εκτελούνται παράλληλα περισσότερες από μία εργασίες στην ίδια περιοχή του αεροσκάφους.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα το αεροσκάφος χωρίζεται σε εννέα περιοχές. Οι κύριες περιοχές στις οποίες εκτελούνται οι επιθεωρήσεις είναι οι τρία (W3), τέσσερα (W4), πέντε και έξι που θα τις θεωρήσουμε σαν μία (W5) αφού όταν εκτελείται μία επιθεώρηση που αφορά την μία πάντα αφορά και την άλλη, βάση τις τεχνικής οδηγίας του κατασκευαστή, και τέλος η εννέα (W9).

Όταν εκτελείται κάποια επιθεώρηση επηρεάζει μία η περισσότερες περιοχές του αεροσκάφους. Για λόγους ασφαλείας απαγορεύεται να εκτελούνται περισσότερες από μία εργασίες ταυτόχρονα σε μια περιοχή. Οπότε οι εργασίες που επηρεάζουν τις ίδιες

περιοχές του αεροσκάφους δεν μπορούν να εκτελεστούν παράλληλα. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν επιθεωρήσεις που εκτελούνται εκτός του αεροσκάφους, οπότε δεν επηρεάζουν καμία περιοχή από της προαναφερόμενες.



Εικόνα 4: Περιοχές εργασίας αεροσκάφους

Κεφάλαιο 3 Θεωρία προγραμματισμού εργασιών

Προγραμματισμός είναι το σχέδιο εκτέλεσης ενός πλήθους δραστηριοτήτων οι οποίες δεσμεύουν πόρους (χρήμα, χρόνο, μηχανές, συστήματα μεταφοράς, ανθρώπινο δυναμικό κλπ.). Στα συστήματα παραγωγής οι δραστηριότητες περιλαμβάνουν μεταφορά προϊόντων σε διάφορα στάδια παραγωγής, κατεργασίες που εκτελούνται από μηχανές και εργαζόμενους, προετοιμασία μηχανών (αλλαγές εργαλείων κοπής, φόρτωση/εκφόρτωση κομματιών). Στόχος του προγράμματος παραγωγής είναι ο συνδυασμός των ακόλουθων:

(α) αύξηση παραγωγικότητας

(β) ικανοποίηση πελατών - έγκαιρη παράδοση προϊόντων - ποιότητα

(γ) ελαχιστοποίηση κόστους παραγωγής

Το πρόβλημα του προγραμματισμού περιπλέκεται λόγω του πλήθους περιορισμών οι οποίοι συνδέουν πόρους και δραστηριότητες. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν τον κανόνα σε πραγματικά συστήματα και η επίλυση του προβλήματος παρουσιάζει αξεπέραστες μαθηματικές δυσκολίες. Φαντασθείτε ότι αντιμετωπίζετε το εξής πρόβλημα: Ένα εργοστάσιο παράγει δύο τύπους προϊόντων, καθένα με διαφορετικό κόστος παραγωγής, τιμή πώλησης, ελάχιστο επίπεδο ικανοποίησης της ζήτησης, είδη και χρόνους κατεργασιών. Ζητούνται οι ποσότητες παραγωγής ώστε να μεγιστοποιείται το κέρδος, να ικανοποιούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις της ζήτησης, και οι μηχανές να έχουν χρόνο για συντήρηση και επισκευές. Όταν η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί είναι γραμμικές συναρτήσεις, η βέλτιστη παραγωγή προκύπτει από την επίλυση προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού. Μείωση του κόστους λειτουργίας και βελτίωση της λύσης μπορεί να επιτευχθεί αν διατίθενται προβλέψεις για την ζήτηση ώστε τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανών οι οποίες θα εγκατασταθούν να

ταιριάζουν στη συγκεκριμένη ζήτηση. Ίσως ακόμη να ήταν προτιμότερο το σύστημα να παρήγαγε άλλους τύπους προϊόντων, τα οποία αποφέρουν περισσότερο κέρδος.

Αντιλαμβάνεται κανείς ότι το γενικό πρόβλημα της παραγωγής αποσυντίθενται σε υποπροβλήματα ή βαθμίδες. Κάθε βαθμίδα αντιμετωπίζει προβλήματα που αναφέρονται σε συγκεκριμένη κλίμακα και συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα (επιλογή προϊόντων- σχεδίαση συστήματος-προγραμματισμός παραγωγής).

Βαθμίδα 1 : Μακροπρόθεσμος Σχεδιασμός (Design)

Αποφασίζονται: επέκταση του συστήματος, χωροθέτηση τμημάτων παραγωγής, κύκλος ζωής του συστήματος, τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί.

Ορίζοντας : Μέχρι 5 έτη.

Βαθμίδα 2 : Μεσοπρόθεσμος Σχεδιασμός (Aggregate Planning)

Αποφασίζονται: γενικές πολιτικές προσαρμογής του συστήματος σε εποχικές 4 μεταβολές της ζήτησης (πρόσληψη - απόλυση εποχικού προσωπικού, υπεργολαβίες με άλλους κατασκευαστές, μετακινήσεις πόρων από το ένα τμήμα στο άλλο, υπερωρίες).

Ορίζοντας : Μέχρι 1 έτος.

Βαθμίδα 3 : Βραχυπρόθεσμος Σχεδιασμός (Master Scheduling, MRP)

Αποφασίζονται: προγραμματισμός απαιτήσεων τελικών προϊόντων (master schedule) και υλικών για αυτά (material requirements planning - MRP). Εδώ γίνονται εκτίμηση χρόνων παράδοσης για κάθε τύπο προϊόντος, υπολογισμός χρόνων παραγγελίας πρώτων υλών και προβλέψεις.

Ορίζοντας : 1-6 μήνες.

Βαθμίδα 4 : Προγραμματισμός

Το σύστημα MRP έχει δώσει τις προβλέψεις. Ο ορίζοντας της προηγούμενης βαθμίδας χωρίζεται σε περιόδους 2-6 εβδομάδων. Ο προγραμματισμός απαιτήσεων επαναλαμβάνεται κάθε εβδομάδα ή συντομότερα έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται

προβλήματα απρόβλεπτων παραγγελιών, διαθεσιμότητας πόρων, και παράλληλα το εβδομαδιαίο πρόγραμμα να ταιριάζει με τα προγράμματα των επόμενων εβδομάδων. Τα συγκεκριμένα προβλήματα θα αναπτυχθούν σε επόμενο εδάφιο.

Βαθμίδα 5 : Επαναπρογραμματισμός - Έλεγχος παραγωγής

Βλάβες μηχανών, καθυστερήσεις πρώτων υλών, ακριβείς περιορισμοί σε δραστηριότητες σε πόρους εξετάζονται λεπτομερώς. Διορθώνονται τυχόν αποκλίσεις από την προβλεπόμενη παραγωγή, καθορίζονται προτεραιότητες σε πραγματικό χρόνο. Ο ορίζοντας εκτείνεται από μία βάρδια έως μερικές ημέρες. Ο προγραμματισμός παραγωγής αποτελεί ένα εποχιακό πρόβλημα. Με τον όρο προγραμματισμό συνήθως εννοούμε τέτοιας κλίμακας προβλήματα ή ακόμη πιο βραχυπρόθεσμα. [8], [13].

3.1 Προγραμματισμός εργασιών με άπειρους πόρους

Στο παρελθόν αυτό ήταν ένα δύσκολο εγχείρημα για μεγάλα έργα με πολλές διαδικασίες και περιορισμούς, ενώ μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα ήταν κάτι που βασιζόταν κυρίως στην εμπειρία και τις δυνατότητες των διευθυντικών στελεχών. Το διάγραμμα του Gantt υπήρξε η πρώτη επιστημονική προσέγγιση στην οργάνωση εργασιών ενώ στη συνέχεια με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών κυρίως μετά το 1950 εμφανίστηκαν παράλληλα δύο τεχνικές ευρύτατα διαδεδομένες και αποδεκτές. Αυτές είναι η CPM (Critical Path Method) και η PERT (Program Evaluation and Review Technique) οι οποίες βασίζονται στη θεώρηση ότι υπάρχουν άπειροι πόροι διαθέσιμοι για να φέρουν εις πέρας το έργο.

Σε ότι αφορά τη τεχνική CPM, αυτή αναπτύχθηκε από τους Kelley και Walker και χρησιμοποιήθηκε στη βιομηχανία συνδυάζοντας προηγούμενες γνώσεις για τη διάρκεια

και το κόστος των εργασιών. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα νομοτελειακό κατευθυντικό δίκτυο εργασιών με σκοπό του μοντέλου την εύρεση της μεγαλύτερης διαδρομής. [12] Αντίστοιχα η μέθοδος PERT αναπτύχθηκε το 1959 ως μία συνδυασμένη προσπάθεια των εταιριών Booz, Allen, Hamilton και U.S. Navy σαν ένα εργαλείο ανάπτυξης του πυραύλου Polaris. Η χρησιμοποίηση της μεθόδου βοήθησε στην ολοκλήρωση του έργου 24 μήνες νωρίτερα. Το βασικό χαρακτηριστικό της είναι η χρήση πιθανοτήτων στον προσδιορισμό του χρόνου εργασιών και γι' αυτό το λόγο διακρίνεται ως ένα πιθανοκρατούμενο κατευθυντικό δίκτυο εργασιών. Σε έρευνα που έγινε σε 400 εταιρίες των Ηνωμένων πολιτειών ένα ποσοστό 80% χρησιμοποιούσε μεθόδους κρίσιμης διαδρομής εκ των οποίων 16% δεν είχαν επιτυχή αποτελέσματα, 61% είχαν μερική πρόοδο και 15% που είχαν υψηλές επιτυχίες. Σε άλλο δείγμα 500 εταιριών αποδείχθηκε ότι οι μέθοδοι CPM και PERT χρησιμοποιούνταν με μεγαλύτερο ποσοστό υπέρ οποιασδήποτε άλλης μεθόδου λήψης αποφάσεων όπως η στατιστική ανάλυση, ο γραμμικός προγραμματισμός και η προσομοίωση μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. [1]

3.1.1 Σχεδίαση δικτύων εργασιών

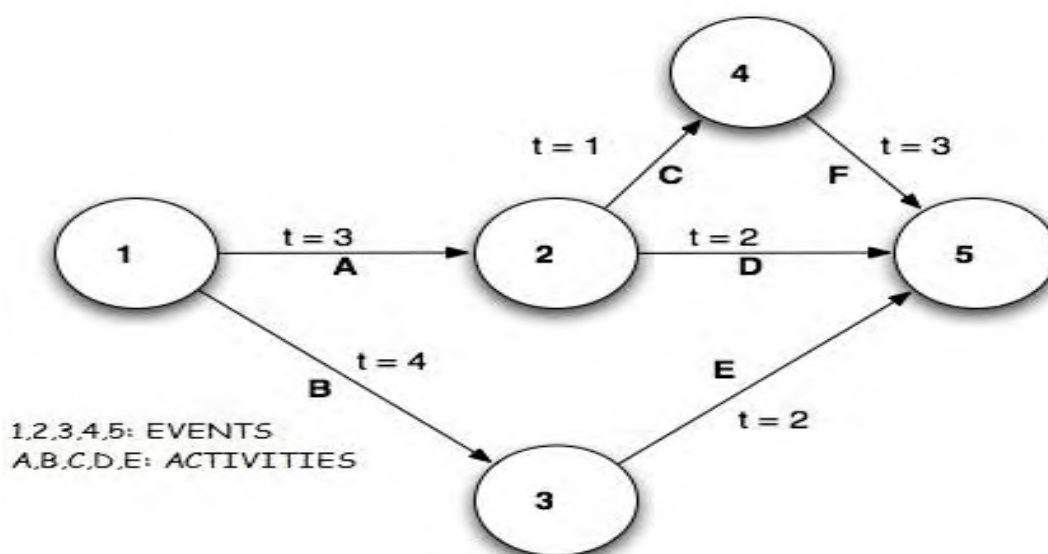
Κάθε δίκτυο εργασιών αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία τις δραστηριότητες ή διαδικασίες και τα γεγονότα, τα οποία καθορίζονται από σχέσεις προτεραιότητας. Για την καλύτερη κατανόηση του δικτύου γίνεται μια σύντομη ανάλυση αυτών παρακάτω.[1]

Δραστηριότητα είναι μία διαδικασία του δικτύου που καταναλώνει χρόνο για να ολοκληρωθεί ένα συγκεκριμένο τμήμα του συνολικού έργου. Κάθε δραστηριότητα πρέπει να ξεκινάει και να τελειώνει σε ένα γεγονός.

Γεγονός είναι ένα σημείο χρόνου που σηματοδοτεί την έναρξη ή την ολοκλήρωση μία ή περισσότερων διαδικασιών. Μπορεί επίσης να χαρακτηριστεί ως το σημείο που η επιτυχής ολοκλήρωση κάποιων διαδικασιών ενεργοποιούν την έναρξη των διαδικασιών που ακολουθούν μετά από εκεί.

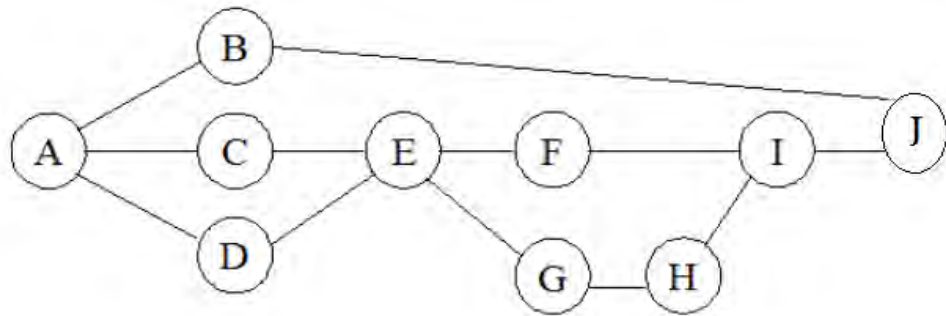
Προτεραιότητα είναι ο όρος που περιγράφει τις σχέσεις μεταξύ δύο ή περισσότερων διαδικασιών μέσα στο δίκτυο. Έτσι λοιπόν όταν λέμε ότι μια διαδικασία A προηγείται της B τότε αυτό μπορούμε να το γράψουμε σαν $A < B$.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στους δύο τρόπους που μπορούμε να αναπαραστήσουμε τις διαδικασίες πάνω σε ένα δίκτυο. Ο πρώτος είναι η αναπαράσταση πάνω σε τόξο. Με αυτόν τον τρόπο οι διαδικασίες αναπαριστώνται πάνω στο δίκτυο με τόξα ενώ τα γεγονότα με κόμβους. Τα τόξα δρομολογούνται από κόμβο σε κόμβο και ο κόμβος που βρίσκεται στην αρχή του τόξου είναι η έναρξη της διαδικασίας ενώ ο κόμβος στο βέλος του τόξου είναι το τέλος της εργασίας. Αυτά φαίνονται πιο καθαρά στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 5: Αναπαράσταση πάνω σε τόξο

Ο άλλος τρόπος αναπαράστασης μιας διαδικασίας είναι πάνω σε κόμβο. Σε αυτόν τον τρόπο οι διαδικασίες αναπαριστώνται πάνω στο δίκτυο με κόμβους ενώ οι σχέσεις προτεραιότητας καθορίζονται από τα τόξα που δρομολογούνται από κόμβο σε κόμβο. Η μορφή του φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα και είναι η μέθοδος αναπαράστασης που θα εφαρμόσουμε στη συνέχεια.



Εικόνα 6: Αναπαράσταση πάνω σε κόμβο

3.1.2 Αλγόριθμος εύρεσης κρίσιμης διαδρομής

Ως κρίσιμη διαδρομή ενός δικτύου ορίζουμε τη μεγαλύτερη διαδρομή από την αρχή μέχρι το τέλος του δικτύου. Η κρίσιμη διαδρομή αποτελεί ένα κάτω όριο το οποίο δεν μπορεί να ξεπεράσει η βέλτιστη λύση. Οι έννοιες που θα μας απασχολήσουν είναι οι ακόλουθες:

1. Νωρίτερος χρόνος έναρξης: χαρακτηρίζεται ως ο νωρίτερος πιθανός χρόνος που μπορεί να ξεκινήσει μία διαδικασία του έργου και γράφεται ως (ES).(earliest start time)

2. Νωρίτερος χρόνος λήξης: χαρακτηρίζεται ως ο νωρίτερος πιθανός χρόνος που μπορεί να λήξει μία διαδικασία του έργου και γράφεται ως (EF).(earliest finish time). Ισούται με το άθροισμα του νωρίτερου χρόνου έναρξης και τη διάρκεια της εργασίας.

$$(EFa) = (ESa) + ta$$

3. Αργότερος χρόνος έναρξης: χαρακτηρίζεται ο αργότερος πιθανός χρόνος που μπορεί να καθυστερήσει να ξεκινήσει μία διαδικασία χωρίς να επηρεαστεί ο συνολικός χρόνος του έργου και γράφεται ως (LS). Είναι προφανές ότι όλες οι διαδικασίες που δεν ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή μπορούν να καθυστερήσουν την έναρξη τους χωρίς αυτό να επηρεάσει το συνολικό χρόνο του έργου. Αντίστοιχα αυτές που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή είναι ευνόητο ότι έχουν αργότερο χρόνο έναρξης ίσο με τον νωρίτερο χρόνο έναρξης.

4. Αργότερος χρόνος λήξης: χαρακτηρίζεται ο αργότερος πιθανός χρόνος που μπορεί να καθυστερήσει να λήξει μία διαδικασία χωρίς να επηρεαστεί ο συνολικός χρόνος του έργου και γράφεται ως (LF). Είναι εύκολα κατανοητό ότι ισούται με το άθροισμα του αργότερου χρόνου έναρξης και της διάρκειας της διαδικασίας $LFa = LSa + ta$

Από τα ανωτέρω εύκολα εξάγεται ότι, αυτές που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή έχουν αργότερο χρόνο λήξης ίσο με τον νωρίτερο χρόνο λήξης. Για να υπολογίσουμε τώρα τους δύο τελευταίους χρόνους πρέπει αφού έχουμε διανύσει το δίκτυο από την αρχή προς το τέλος και έχοντας υπολογίσει τους νωρίτερους χρόνους έναρξης και λήξης και κατά συνέπεια τον συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης του έργου (CT), να διανύσουμε τώρα το δίκτυο αντίστροφα θέτοντας σαν αργότερο χρόνο λήξης του έργου τον συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης του έργου (CT). Κινούμενοι πλέον αντίστροφα όταν πριν από μια διαδικασία προηγείται ένα σύνολο διαδικασιών τότε ο αργότερος χρόνος λήξης αυτών είναι ίσος με τον αργότερο χρόνο έναρξης αυτής. Αντίστοιχα όταν μία διαδικασία προηγείται από ένα σύνολο διαδικασιών τότε ο μικρότερος αργότερος χρόνος έναρξης αυτών ισούται με τον αργότερο χρόνο λήξης αυτής.

Τα περιθώρια χρόνου που δημιουργούνται οδηγούν στον ορισμό νέων μεταβλητών όπως το συνολικό περιθώριο (total slack TS), που ορίζεται ως η διαφορά ανάμεσα

στον αργότερο και νωρίτερο χρόνο έναρξης μίας διαδικασίας. Όλες οι διαδικασίες που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή έχουν συνολικό περιθώριο ίσο με μηδέν.

$$T\mathbf{S}a = L\mathbf{S}a - E\mathbf{S}a = L\mathbf{F}a - E\mathbf{F}a \quad (3.1)$$

Αντίστοιχα ως ελεύθερο περιθώριο (free slack FS), ορίζεται η διαφορά ανάμεσα στον νωρίτερο χρόνο λήξης μίας διαδικασίας και στον μικρότερο από τους νωρίτερους χρόνους έναρξης όσων διαδικασιών ακολουθούν αυτήν. Το ελεύθερο περιθώριο δεν μπορεί να υπερβαίνει το συνολικό περιθώριο.

3.2 Προγραμματισμός εργασιών - περιορισμένων πόρων

Στα περισσότερα όμως έργα δεν γίνεται να υπάρχουν απεριόριστοι πόροι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης του έργου. Η βέλτιστη λύση σε τέτοιου είδους προβλήματα είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί ιδιαίτερα αν αυτά είναι σε μεγάλη κλίμακα. Ένας τρόπος είναι να χρησιμοποιηθούν διάφοροι ευρετικοί αλγόριθμοι. Αυτοί δεν είναι τίποτα άλλο από ένα σύνολο κανόνων απόφασης οι οποίοι μπορεί να οδηγήσουν σε ένα ολικά βέλτιστο χωρίς να εγγυούνται κάτι τέτοιο. Στη συνέχεια θα επεξηγηθούν δύο αλγόριθμοι που η εφαρμογή του ξεχωριστά τον καθένα αλλά και συνδυαστικά θα μας δώσει κάποιες αρχικές υποβέλτιστες λύσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που θα μας απασχολήσουν.

Με τον όρο TEARL ορίζουμε το χρόνο στον οποίο η διαδικασία δύναται να ξεκινήσει επειδή όλες οι προγενέστερες από αυτήν έχουν ολοκληρωθεί. Μπορεί όμως λόγω έλλειψης πόρων να μην ξεκινήσει σε αυτό το χρόνο αλλά αργότερα. Αντίστοιχα με το όρο TSTART ορίζεται ο χρόνος που ξεκινάει η διαδικασία. Τέλος TFIN είναι ο χρόνος στον οποίο ολοκληρώνεται πλέον η διαδικασία και ισούται με το άθροισμα του t_{start} και της διάρκειας της διαδικασίας. [5]

Κάθε κριτήριο ανάλογα με τους κανόνες απόφασης αντιστοιχίζει μία τιμή σε κάθε διαδικασία. Οι διαδικασίες έπειτα από αυτό τοποθετούνται σε σειρά από τη μεγαλύτερη τιμή προς τη μικρότερη με προτεραιότητα πάντα αυτήν που έχει μεγαλύτερη τιμή και της επιτρέπεται μέσω των σχέσεων αλληλουχίας του δικτύου να ξεκινήσει.

3.3 Προγραμματισμός εργασιών - περιορισμένων πόρων πολλών ειδών (κριτήρια αλγορίθμων)

Στο σημείο αυτό η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνεται περισσότερο διότι εκτός από τους περιορισμένους πόρους, έχουμε και πολλά είδη πόρων που απαιτεί η κάθε διαδικασία. Η φιλοσοφία λειτουργίας του αλγορίθμου είναι ίδια, εφόσον όταν με κάποιο κριτήριο δοθεί η τιμή προτεραιότητας σε κάποια διαδικασία τότε αυτή ξεκινάει εφόσον υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι όλων των ειδών που αυτή απαιτεί και επιπλέον όλες οι προαπαιτούμενες διαδικασίες έχουν ολοκληρωθεί. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τρία κριτήρια με βάση τα οποία θα δοθεί προτεραιότητα στις εργασίες του προβλήματος.

3.3.1 Κριτήριο ACTIM

Ένα κριτήριο με βάση το οποίο μπορούμε να κατατάξουμε τις εργασίες και να μας δώσει μία λύση αρκετά κοντά στη βέλτιστη είναι το κριτήριο ACTIM. Παίρνει το όνομα του από το “ Activity time ” που βασίζεται στον αλγόριθμο του BROOK. [1] Αυτό το κριτήριο αναφέρεται στο μέγιστο χρόνο που διαχειρίζεται κάθε διαδικασία από το σημείο που τοποθετείται στο δίκτυο μέχρι το τέλος του. Για να υπολογιστεί η τιμή της κάθε διαδικασίας, ξεκινώντας από κάθε μία ξεχωριστά προχωρούμε προς το τέλος του δικτύου από οποιαδήποτε δυνατή διαδρομή αθροίζοντας τους χρόνους διαδικασιών

των διαδρομών. Από όλους τους χρόνους που θα προκύψουν για μία διαδικασία επιλέγουμε τον μεγαλύτερο και αυτό επαναλαμβάνεται για όλες τις διαδικασίες. [3],[14]

$$ACTIM_j = \max \sum_j(T_{ij}) \quad (3.2)$$

3.3.2 Κριτήριο ACROS

Ένα αντίστοιχο κριτήριο με το ACTIM, είναι το ACROS, μόνο που έχει σχέση με τους απαιτούμενους πόρους και όχι με το χρόνο. Για τον υπολογισμό του πρέπει αρχικά να καθοριστεί το μέγιστο διαθέσιμο πλήθος των πόρων από κάθε είδος I , Ar_i . Έπειτα ελέγχεται αν αυτό το πλήθος καλύπτει τις απαιτήσεις κάθε διαδικασίας ξεχωριστά ώστε να μην καταλήξουμε σε μία μη εφικτή κατάσταση. Πρέπει να ισχύει $R_{ij} \leq Ar_i$ για κάθε i,j . Όπου i το είδος του πόρου και j το πλήθος των διαδικασιών και R_{ij} οι απαιτούμενοι πόροι της εργασίας j από τον πόρο είδους i . Στη συνέχεια υπολογίζουμε τον ολικό αριθμό που απαιτείται από το σύνολο των διαδικασιών σε όλο το δίκτυο από το κάθε είδος πόρου.

$$Sr_j = \sum_j(R_{ij}) \quad (3.3)$$

Ακολούθως υπολογίζουμε το λόγο του διαθέσιμου πλήθους προς το προηγούμενο σύνολο για κάθε πόρο.

$$Ki = Ari/Sri \quad (3.4)$$

Τελικά η τιμή του κριτηρίου για κάθε δραστηριότητα είναι το άθροισμα των επιμέρους λόγων του πλήθους των απαιτούμενων πόρων από το κάθε είδος προς τον προηγούμενο λόγο αντίστοιχα.

$$ACROS_j = \sum_i (R_{ij}/k_i) \quad (3.5)$$

3.3.3 Κριτήριο AG3

Από το συνδυασμό των δύο προηγούμενων κριτηρίων προκύπτει το κριτήριο AG3 όπως παρουσιάζεται και στην ακόλουθη εξίσωση:

$$AG3 = w * ACROS + (1 - w) * ACTIM \quad (3.6)$$

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται σαν παράδειγμα ένας πίνακας που χρησιμοποιεί μόνο το κριτήριο ACTIM. Η χρήση του κριτηρίου αυτού δεν αλλάζει κάτι αφού δεν θα είχαμε αλλαγή αν χρησιμοποιούσαμε κάποιο άλλο. Στις επόμενες γραμμές του πίνακα φαίνονται τα μεγέθη που προαναφέρθηκαν με τη μόνη διαφορά ότι αν έχουμε πολλά είδη πόρων αλλάζει ανάλογα η γραμμή που αναφέρεται στους διαθέσιμους πόρους διότι ο πίνακας αφορά μόνο ένα είδος πόρου. Στη γραμμή που αναφέρεται στις επιτρεπόμενες διαδικασίες εισέρχονται όλες εκείνες που τους επιτρέπεται να ξεκινήσουν αν όλες οι προαπαιτούμενες τους έχουν ολοκληρωθεί, δηλαδή αν καλύπτουν τους περιορισμούς αλληλουχίας του δικτύου. Στη συνέχεια ελέγχεται το στοιχείο της γραμμής με τους απαιτούμενους πόρους για την κάθε μία. Εάν οι διαθέσιμοι πόροι το επιτρέπουν τότε ξεκινάει η διαδικασία με τη μεγαλύτερη τιμή κριτηρίου από επιτρεπόμενες. [14]

Activity	1-2	1-3	2-4	3-4	1-4
Duration	2	3	8	6	5
ACTIM	10	9	8	6	5
Resources					
Required	1	1	1	2	4
TEARL	0	0	2	3	0
TSTART	0	0	2	3	9
TFIN	2	3	10	9	14
TNOW		0	2	3	9
Resources					
Available	5	4	3	2	4
Activities					
Allowed	(1/2)	(1/3)	(1-4)	(2/4)	(1/4)
Iteration No.		1			

Εικόνα 7: Πίνακας περιορισμένων πόρων

3.4 Μοντέλο βέλτιστης λύση

Με όλες τις προηγούμενες μεθόδους βρίσκουμε κάποιες λύσεις για το πρόβλημα που μας απασχολεί, όμως κανένας δεν μας εξασφαλίζει ότι είναι και οι καλύτερες δυνατές. Υπάρχει πιθανότητα να είναι βέλτιστες αλλά για να το διαπιστώσουμε αυτό θα πρέπει να αναπτύξουμε μια μεθοδολογία που θα μας οδηγήσει στη βέλτιστη λύση.

Η προαναφερθείσα μεθοδολογία είναι η μοντελοποίηση του προβλήματος, δηλαδή η μετατροπή του από τη μορφή κειμένου που αποτελεί την εκτενή περιγραφή του, σε ένα σύνολο από μαθηματικές σχέσεις που στη συνέχεια με τη χρήση λογισμικού LINGO θα επιλύσουμε ώστε τελικά να εξάγουμε τη βέλτιστη δυνατή λύση.

Η μέθοδος όμως της μαθηματικής μοντελοποίησης δεν είναι απόλυτα ξεκομμένη από τα αποτελέσματα των προηγούμενων ευρετικών αλγορίθμων αλλά τα αποτελέσματα τους χρησιμοποιούνται για να επιταχύνουμε την εξεύρεση της λύσης. Αυτό επιτυγχάνεται διότι έχοντας μια αρχική λύση του προβλήματός μας αυτόματα αποκτάμε ένα άνω όριο το οποίο δεν μπορεί να ξεπερνά η βέλτιστη. Σε περίπτωση που

δεν θέλαμε να λύσουμε αρχικά το πρόβλημα με τις προηγούμενες μεθόδους, θα έπρεπε σαν άνω όριο να θέσουμε το άθροισμα των χρόνων όλων των εργασιών που είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από της λύσεις θα βρήκαμε με τη χρήση ευρετικών αλγορίθμων. Αυτό θα είναι ως συνέπεια τη χαλάρωση των περιθωρίων λύσης στο μοντέλο βέλτιστης λύσης, με αποτέλεσμα το πρόγραμμα να χρειάζεται πολλαπλάσιο χρόνο για την εξεύρεση της λύσης ή μπορεί ακόμα και να μην μπορούσε να βρει κάποια λύση.

Κεφάλαιο 4 Μοντελοποίηση

Έχοντας παρουσιάσει τις διάφορες πτυχές του προβλήματός μας, με τους διάφορους περιορισμούς που το διέπουν και την απαραίτητη θεωρία που θα μας βοηθήσει στην επίλυσή του, μπορούμε να συνεχίσουμε με την ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου του προβλήματος. Το μαθηματικό μοντέλο αποτελεί μια μαθηματική απεικόνιση του προβλήματος, δηλαδή η μετατροπή του από μορφή κειμένου σε ένα σύνολο εξισώσεων. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι εξισώσεις που μοντελοποιούν τους περιορισμούς του προβλήματος και ακολούθως η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος.

Αρχικά πρέπει να αναφέρουμε έναν περιορισμό που μας εξασφαλίζει ότι κάθε εργασία θα εκτελεστεί μία και μόνο φορά στο πρόβλημά μας. Αυτό διασφαλίζεται μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\sum_{t=1}^n x_{jt} = 1 \quad (4.1)$$

για κάθε εργασία j .

Όπου:

- j : η εκάστοτε εργασία.
- t : η χρονική στιγμή (διακριτή).
- x_{jt} : η μεταβλητή απόφασης που παίρνει τιμή 1 αν η εργασία j ολοκληρώνεται στη χρονική στιγμή t , 0 αλλιώς.
- n : το άνω όριο στην τιμή του χρόνου.

4.1 Μοντελοποίηση περιορισμών αλληλουχίας

Η διαδικασία της μοντελοποίησης συνεχίζεται με την προσπάθεια να αναπαραστήσουμε τις σχέσεις προτεραιότητας των διαδικασιών με μια μαθηματική συνάρτηση. Η μαθηματική απεικόνιση των σχέσεων προτεραιότητας που προαναφέρθηκαν περιγράφεται από πολλές σχέσεις ανισοϊσοτήτων οι οποίες όμως δύνανται να αναπαρασταθούν από μία γενική. Η γενική αυτή ανισοϊσότητα που περιγράφει τους περιορισμούς αλληλουχίας του προβλήματός μας είναι:

$$\sum_{t=1}^n (t * x_{jt}) + P_k \leq \sum_{t=1}^n (t * x_{kt}) \quad (4.2)$$

για κάθε εργασία j και k .

Όπου:

- k : μία εργασία που εκτελείται μετά τη j .
- P_k : η χρονική διάρκεια της εργασίας k .

Από την ανωτέρω γενική ανισοϊσότητα εξάγονται όλοι οι περιορισμοί αλληλουχίας, που διέπουν το πρόβλημα. Είναι φανερό ότι ο εξαγόμενος αριθμός συναρτήσεων είναι πολύ μεγάλος ακόμα και με τη θέσπιση ως μονάδας μέτρησης του χρόνου το μισάωρο, αφού ο χρονικός ορίζοντας του προβλήματος είναι μεγάλος καθώς επίσης και λόγω του μεγάλου αριθμού των εργασιών.

4.2 Μοντελοποίηση περιορισμών πόρων

Στο σημείο αυτό ακολουθεί η μορφοποίηση των περιορισμών που διέπουν τους πόρους. Ως πόρος του προβλήματος και με βάση την παρουσίασή του που έγινε σε προηγούμενο κεφάλαιο θεωρείται το ανθρώπινο δυναμικό. Όπως προαναφέρθηκε για την εκτέλεση των εργασιών του προβλήματος απαιτείται να εργασθούν ένας επιθεωρητής κι ένας εκτελεστής, επιπλέον λόγω της πολυπλοκότητας του αντικειμένου υπάρχουν επιθεωρητές κι εκτελεστές διαφόρων εξειδικεύσεων. Λόγω της απαίτησης για ένα εκτελεστή κι ένα επιθεωρητή για την εκτέλεση κάθε εργασίας θα θεωρήσουμε ως πόρο μόνο την εξειδίκευση που απαιτείται για την εκτέλεση της εκάστοτε εργασίας. Οπότε από το σημείο αυτό όταν θα αναφέρεται ότι ως πόρος απαιτείται μία εξειδίκευση θα εννοούμε επιθεωρητή κι εκτελεστή της εξειδίκευσης αυτής.

Άλλος ένας παράγοντας που μας περιορίζει το πρόβλημα είναι η περιοχές του αεροσκάφους στις οποίες θα εργαστεί το ανθρώπινο δυναμικό. Στην προσέγγισή μας θα θεωρήσουμε τις περιοχές του αεροσκάφους ως πόρο που είναι απαραίτητος για την εκτέλεση μιας εργασίας. Εργασίες που εκτελούνται επί υλικών του αεροσκάφους αλλά εκτός αυτού δεν θα έχουν πόρο περιοχή του αεροσκάφους. Οπότε καταλήγουμε σε μία γενική εξίσωση της μορφής:

$$\sum_{j=1}^n (w_{ij} * \sum_{u=t}^{t+P_j-1} x_{ju}) \leq w_i \quad (4.3)$$

για κάθε t και j .

Όπου:

- i : ο πόρος (εξειδίκευση και περιοχή του αεροσκάφους)
- w_{ij} : η απαιτούμενη ποσότητα του πόρου i για την εκτέλεση της εργασίας j .

- $\sum_{u=t}^{t+P_j-1} x_{ju}$: παίρνει τιμή 1 αν η εργασία j τελειώσει στο χρονικό διάστημα $[t, t+P_i-1]$ και 0 αν όχι.

Από την ανωτέρω γενική εξίσωση εξάγεται ένα μεγάλο πλήθος εξισώσεων-περιορισμών για κάθε πόρο και για κάθε χρονική περίοδο.

Τελικά καταλήγουμε σε δεκατρία (13) είδη πόρων που συμπεριλαμβάνουν τις εξειδικεύσεις και τις περιοχές του αεροσκάφους και φαίνονται παρακάτω:

1. CO: Χρώστες – Αντιδιαβρωτική Προστασία

2. CR: Μηχανικοί (Crew Chief)

3. EG: Οπλουργοί (Egress)

4. EL: Ηλεκτρολόγοι

5. EN: Κινητήρων

6. FL: Flight Control

7. FU: Καυσίμων

8. HY: Υδραυλικοί

9. N: N.D.I.

10. W3: Περιοχές 1,2 και 3 του αεροσκάφους

11. W4: Περιοχή 4 του αεροσκάφους

12. W5: Περιοχές 5 και 6 του αεροσκάφους

13. W9: Περιοχές 8 και 9 του αεροσκάφους

Το πλήθος τώρα των διαθέσιμων πόρων (Ar) είναι για κάθε ειδικότητα ένα στο βασικό πρόβλημα, (σε υποθέσεις που θα κάνουμε στη συνέχεια για κάποιους πόρους θα μεταβληθεί), για τις περιοχές του αεροσκάφους είναι ανελαστικά ένα αφού μία είναι και η περιοχή αυτή.

4.3 Μοντελοποίηση αντικειμενικής συνάρτησης

Ο βασικός στόχος της εργασίας είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού απαιτούμενου χρόνου για την εκτέλεση της ΚΦΕ. Αυτό μπορεί να εκφραστεί και ως ελαχιστοποίηση του χρόνου έναρξης μία τελικής (εικονικής) εργασίας στην οποία καταλήγει το δίκτυο του προβλήματός μας. Αυτό μαθηματικά εκφράζεται με την ακόλουθη αντικειμενική συνάρτηση.

$$\text{Min} \sum_{t=1}^n t * x_k \quad (4.4)$$

Όπου k θεωρούμε την τελική εργασία του προβλήματος.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι στην παρούσα εργασία ως μονάδα μέτρησης του χρόνου θεωρήθηκαν τα 30 λεπτά της ώρας. Η παραδοχή αυτή έγινε αφενός για να περιοριστεί το μέγεθος του προβλήματος που θα κλιθούμε να επιλύσουμε με τη χρήση του λογισμικού LINGO, αφετέρου διότι είναι μία ρεαλιστική προσέγγιση για τον προγραμματισμό των εργασιών της τεχνικής υποστήριξης των αεροσκαφών.

Ακόμα όμως και με αυτή την προσέγγιση το πρόβλημα παραμένει εξαιρετικά μεγάλο, οπότε όπως θα αναλυθεί και στο επόμενο κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να το «σπάσουμε» σε μικρότερα προβλήματα χωρίς όμως να επηρεάζουμε την τελική λύση του ολικού προβλήματος.

Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα και συμπεράσματα

Αρχικά στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία επεξήγηση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος. Όπως έχει προαναφερθεί για λόγους ευκολίας οι εργασίες θα εκφράζονται με ένα αριθμό που αποτελεί τον αρχικό αύξοντα αριθμό που είχε κατά τη συλλογή των δεδομένων του προβλήματος. Κατ' αρχάς έγινε η απεικόνιση των σχέσεων αλληλουχίας των εργασιών σε ένα δίκτυο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2. Στο δίκτυο αυτό ξεχωρίζουν κάποιες εργασίες που θα τις χαρακτηρίσουμε ως «κομβικές».

Λόγο του μεγάλου μεγέθους του προβλήματος αλλά και λόγο της ύπαρξης «κομβικών» εργασιών (όπως θα παρουσιαστεί και στη συνέχεια), δηλαδή εργασιών από τις οποίες ξεκινάνε άμεσα ή μέσω άλλων όλες οι επόμενες και καταλήγουν ομοίως όλες οι προηγούμενες, το πρόβλημα χωρίστηκε σε τρία υποπροβλήματα. Οι κομβικές αυτές εργασίες για το πρόβλημά μας είναι η 16 και η 97. Το πρώτο υποπρόβλημα είναι από την αρχή έως την 16 εργασία, είναι ουσιαστικά η παραλαβή και η προετοιμασία του αεροσκάφους για την εκτέλεση των επιθεωρήσεων της ΚΦΕ, είναι σχετικά εύκολο να επιλυθεί, οπότε λύνεται με χρήση λογισμικού LINGO άμεσα. Το δεύτερο αποτελείται από τις εργασίες από την 16 έως την 97 και είναι ουσιαστικά το πρόβλημα στο οποίο εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που θα αναλυθεί ακολούθως. Το τρίτο πρόβλημα αφορά τις εργασίες από την 97 έως το τέλος, που είναι οι λειτουργικοί έλεγχοι που πρέπει να γίνουν στο αεροσκάφος μετά της επιθεωρήσεις, με βάση το δίκτυο είναι ένα κάπως πολύπλοκο πρόβλημα, το οποίο όμως λύνεται σχετικά εύκολα λόγω των περιορισμών πόρων που το διέπουν. Οπότε και το τρίτο υποπροβλήματα επιλύεται άμεσα με τη χρήση του λογισμικού LINGO.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στην μεθοδολογία επίλυσης του δευτέρου προβλήματος που είναι στην ουσία το κύριο μέρος της ΚΦΕ χωρίς την προετοιμασία και τους λειτουργικούς ελέγχους του αεροσκάφους. Έχοντας αναπαραστήσει σε δίκτυο το πρόβλημά μας έχουμε στην ουσία ένα πρόβλημα χωρίς περιορισμό πόρων. Επιλύοντας το πρόβλημα θεωρώντας απείρους τους πόρους εξάγουμε μία αρχική λύση που αποτελεί κάτω όριο για τη λύση του πραγματικού προβλήματος. Αυτός είναι ο καλύτερος χρόνος στον οποίο μπορεί να ολοκληρωθεί όλο το έργο υπό την προϋπόθεση ότι θα δαπανήσουμε σε αυτό όσους πόρους χρειάζεται ανά πάσα στιγμή, πράγμα το οποίο δεν είναι εφικτό λόγω των περιορισμένων πόρων. Επίσης θα μας δώσει τους νωρίτερους και αργότερους χρόνους έναρξης και λήξης των διαδικασιών δίνοντας έτσι μία πιο σαφή εικόνα της κατάστασης.

Έχοντας ολοκληρώσει τα προηγούμενα βήματα μπορούμε να προχωρήσουμε στην εφαρμογή του ευρετικού αλγορίθμου. Ο λόγος που ο ευρετικός αλγόριθμος προηγείται της εύρεσης της βέλτιστης λύσης δεν είναι τυχαίος. Για να βρεθεί η βέλτιστη λύση, στο μοντέλο LINGO απαιτείται ένα όριο υποβέλτιστου χρόνου στο οποίο δύναται να ολοκληρωθεί το έργο, έτσι ώστε να το έχει ως ένα ανώτατο όριο χρόνου το οποίο πρέπει να ελαχιστοποιήσει. Άρα σκοπός μας είναι να βρούμε όσο το δυνατό καλύτερο χρόνο γίνεται μέσω του ευρετικού αλγορίθμου και να τον χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια.

Εφαρμόζουμε τρεις διαφορετικούς ευρετικούς αλγορίθμους στο πρόβλημα και καταλήγουμε σε τρεις λύσεις. Από αυτές επιλέγουμε την βέλτιστη η οποία θα αποτελέσει ένα άνω όριο το οποίο δεν θα μπορεί να ξεπερνά η βέλτιστη λύση. Στη συνέχεια επιλύουμε το πρόβλημα για να βρούμε τη βέλτιστη λύση με χρήση του λογισμικού LINGO. Τέλος μελετάμε την επίδραση στη λύση της αλλαγής του αριθμού

ορισμένων πόρων και της ομαδοποίησης κάποιων εργασιών, σε ρεαλιστικές πάντα βάσεις.

5.1 Στοιχεία του προβλήματος και δίκτυο

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μία σύντομη παρουσίαση των στοιχείων του προβλήματος με τη μορφή πίνακα. Στο σχήμα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα δεδομένα του προβλήματος. Η ανάλυση των στοιχείων του πίνακα έχει γίνει σε προηγούμενα κεφάλαια.

Στη συνέχεια ακολουθεί το δίκτυο που δημιουργείται από την επεξεργασία των δεδομένων του πίνακα του σχήματος 1. Στο σχήμα 2 βλέπουμε την αναπαράσταση των εργασιών στους κόμβους του δικτύου με νούμερα. Τα διάφορα χρώματα που έχουν οι κόμβοι αναπαριστούν τις εκάστοτε απαιτούμενες εξειδικεύσεις ανά εργασία όπως εξηγείται και στον πίνακα του κάτω δεξιά. Με πορτοκαλί χρώμα χαρακτηρίζεται η κρίσιμη διαδρομή και με μπλε τα λοιπά τόξα του δικτύου.

Σχήμα 1: Πίνακας στοιχείων προβλήματος

Α/Α ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ	ΠΡΟΤΥΠΟΣ ΧΡΟΝΟΣ	ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ	ΠΕΡΙΟΧΕΣ	30min
1	CR	150,00	10	-	5
2	FL	30,00	10	-	1
3	EL	30,00	10	-	1
4	EN	30,00	10	-	1
5	H	30,00	10	-	1
6	ST	30,00	10	-	1
7	EG	30,00	10	-	1

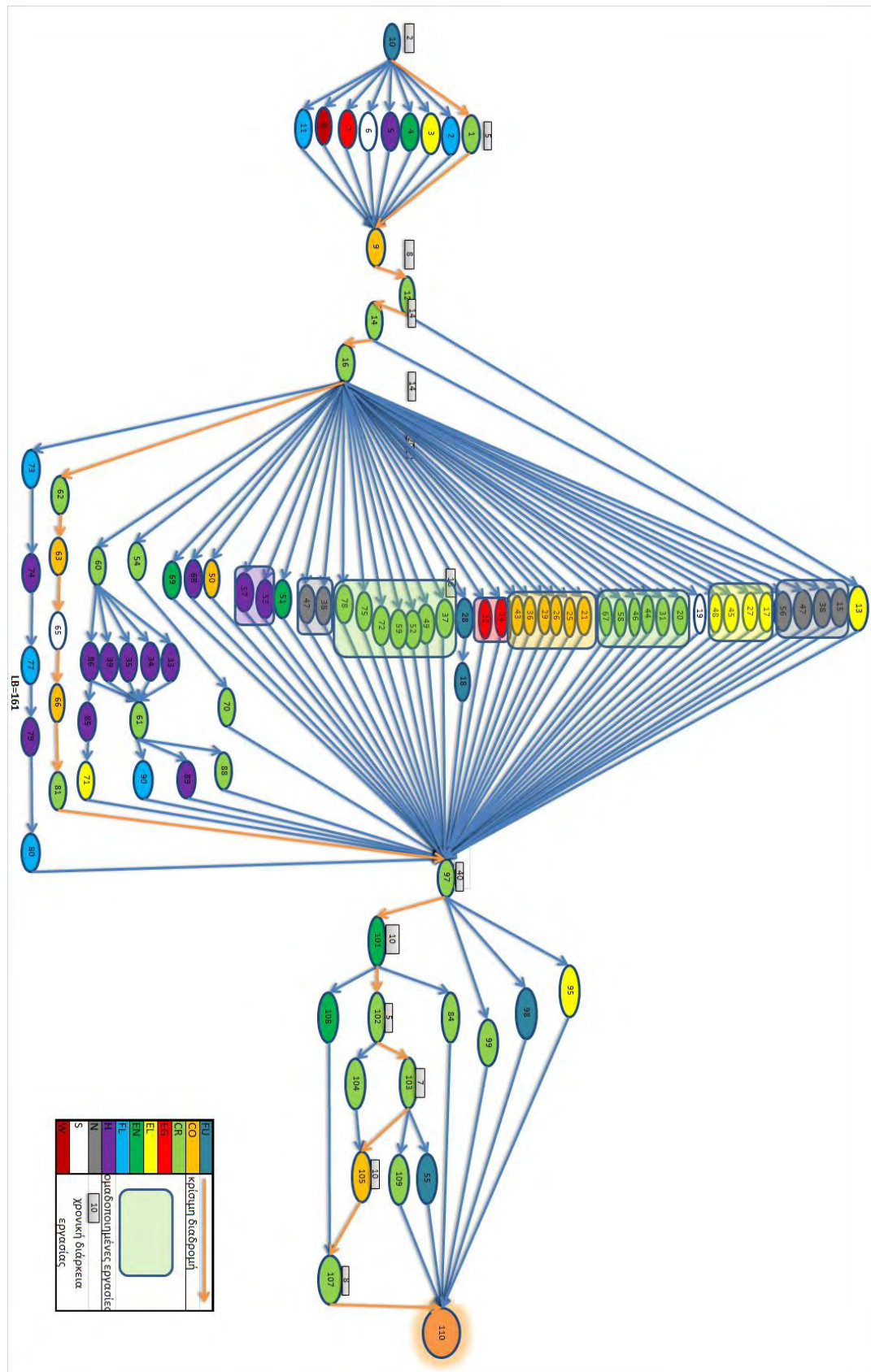
8	W	60,00	10	-	2
9	CO	240,00	1,2,3,4,5,6,7,8,11	-	8
10	FU	60,00	0	W3	2
11	FL	30,00	10	-	1
12	CR	420,00	9	W3,W4,W5,W9	14
13	EL	30,00	16	W3,W4,W5,W9	1
14	CR	420,00	12	W3,W4,W5,W9	14
15	ND	30,00	16	W5	1
16	CR	600,00	14	W3,W4,W5,W9	20
17	EL	30,00	16	-	1
18	FU	180,00	28	W3	6
19	ST	30,00	16	W3	1
20	CR	30,00	16	-	1
21	CO	180,00	16	-	6
24	EG	30,00	16	W9	1
25	CO	30,00	16	W9	1
26	CO	60,00	16	-	2
27	EL	30,00	16	-	1
28	FU	270,00	16	W3	9
29	CO	30,00	16	W4	1
30	ST	60,00	16	W3	2
31	CR	30,00	16	W3	1
32	EG	120,00	16	W3	4
33	HY	60,00	60	-	2

34	HY	30,00	60	-	1
35	HY	30,00	60	-	1
36	CO	90,00	16	W4	3
37	CR	60,00	16	W4	2
38	ND	30,00	16	W5	1
39	HY	90,00	60	-	3
43	CO	60,00	16	W3	2
44	CR	60,00	16	W3,W5	2
45	EL	210,00	16	W3,W4,W5,W9	7
46	CR	30,00	16	W3	1
47	ND	180,00	16	W5	6
48	EL	30,00	16	W3	1
49	CR	150,00	16	W4	5
50	CO	30,00	16	W5	1
51	EN	120,00	16	W4	4
52	CR	90,00	16	W4	3
53	HY	30,00	16	W4	1
54	CR	30,00	16	W4	1
55	FU	60,00	103	W3,W4,W5,W9	2
56	ND	60,00	16	W4	2
57	HY	60,00	16	W4	2
58	CR	30,00	16	W3	1
59	CR	120,00	16	W4	4
60	CR	60,00	16	W3,W4,W5,W9	2
61	CR	30,00	60,86	W3,W4,W5,W9	1

62	CR	60,00	16	W5	2
63	CO	180,00	62	W5	6
64	CO	30,00	63	W5	1
65	ST	60,00	64	W5	2
66	CO	120,00	65	W5	4
67	CR	90,00	16	W5	3
68	HY	30,00	16	W3	1
69	EN	30,00	16	W3	1
70	CR	120,00	54	W3	4
71	EL	60,00	85	W3,W4,W5,W9	2
72	CR	120,00	16	W4	4
73	FL	30,00	16	W5	1
74	HY	90,00	73	W5	3
75	CR	30,00	16	W4	1
77	FL	60,00	74	W4	2
78	CR	30,00	16	W9	1
79	HY	60,00	77	W4	2
80	FL	30,00	79	W4	1
81	CR	60,00	66	W5	2
84	CR	90,00	101	W3,W4,W5,W9	3
85	HY	60,00	86	W3,W4,W5,W9	2
86	HY	30,00	60	-	1
88	CR	180,00	61	W4	6
89	HY	60,00	61	W3,W4,W5,W9	2
90	FL	150,00	61	W3,W4,W5,W9	5

91	CR	60,00	61	W3,W4,W5,W9	2
95	EL	120,00	97	W3,W4,W5,W9	4
97	CR	1200,00	88,89,90,91.	W3,W4,W5,W9	40
98	FU	60,00	97	W3,W4,W5,W9	2
99	CR	120,00	97	W3,W4,W5,W9	4
101	EN	300,00	97	W9	10
102	CR	150,00	101	W3,W4,W5,W9	5
103	CR	210,00	102	W4,W5	7
104	CR	60,00	102	W4	2
105	CO	300,00	103,104	W3,W4,W5,W9	10
107	CR	240,00	105,108	W4,W5	8
108	EN	60,00	101	W3,W4,W5,W9	2
109	CR	30,00	103	W3,W4,W5,W9	1
110	-	-	-	-	-

Σχήμα 2: Δίκτυο εργασιών



Σχήμα 3: Πίνακας κρίσιμης διαδρομής υποπροβλήματος 16-97

Όνομα	Χρόνοι					
	Χρόν. Διάρ.	ES	LS	EF=ES+t	LF=LS+t	TS=LF-EF
17	1	X	X	X	X	X
18	6	X	X	X	X	X
19	1	X	X	X	X	X
20	1	X	X	X	X	X
21	6	X	X	X	X	X
24	1	X	X	X	X	X
25	1	X	X	X	X	X
26	2	X	X	X	X	X
27	1	X	X	X	X	X
28	9	X	X	X	X	X
29	1	X	X	X	X	X
30	2	X	X	X	X	X
31	1	X	X	X	X	X
32	4	X	X	X	X	X
33	2	X	X	X	X	X
34	1	X	X	X	X	X

35	1	X	X	X	X	X
36	3	X	X	X	X	X
37	2	X	X	X	X	X
38	1	X	X	X	X	X
39	3	X	X	X	X	X
43	2	X	X	X	X	X
44	2	X	X	X	X	X
45	7	X	X	X	X	X
46	1	X	X	X	X	X
47	6	X	X	X	X	X
48	1	X	X	X	X	X
49	5	X	X	X	X	X
50	1	X	X	X	X	X
51	4	X	X	X	X	X
52	3	X	X	X	X	X
53	1	X	X	X	X	X
54	1	X	X	X	X	X
56	2	X	X	X	X	X

57	2	X	X	X	X	X
58	1	X	X	X	X	X
59	4	X	X	X	X	X
60	2	X	X	X	X	X
61	1	X	X	X	X	X
62	2	X	X	X	X	X
63	7	X	X	X	X	X
65	2	X	X	X	X	X
66	4	X	X	X	X	X
67	3	X	X	X	X	X
68	1	X	X	X	X	X
69	1	X	X	X	X	X
70	4	X	X	X	X	X
71	2	X	X	X	X	X
72	4	X	X	X	X	X
73	1	X	X	X	X	X
74	3	X	X	X	X	X
75	1	X	X	X	X	X

77	2	X	X	X	X	X
78	1	X	X	X	X	X
79	2	X	X	X	X	X
80	1	X	X	X	X	X
81	2	X	X	X	X	X
85	2	X	X	X	X	X
86	1	X	X	X	X	X
88	6	X	X	X	X	X
89	2	X	X	X	X	X
90	5	6	12	11	17	6

Ο ανωτέρω πίνακας είναι αυτός που προκύπτει από τις σχέσεις των διαδικασιών και μας παρουσιάζει τους χρόνους οι οποίοι χωρίζονται στους Earliest και στους Latest. Ο ανωτέρω πίνακας αφορά το υποπρόβλημα 16-97 που όπως αναφέραμε είναι και το πολυπλοκότερο, οι διαδικασίες που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή φαίνεται από τον πίνακα ότι έχουν περιθώριο χρόνου ίσο με μηδέν.

5.2 Εμπειρικό χρονοδιάγραμμα διαδικασιών

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται το εμπειρικό χρονοδιάγραμμα εργασιών της ΚΦΕ που εφαρμόζεται προς το παρόν.

Σχήμα 4: Εμπειρικό χρονοδιάγραμμα

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ 300ΩΡΗΣ ΚΦΕ ΑΦΩΝ F-16C/D BLOCK 52+																													
ΗΜΕΡΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΝΑ ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ																													
ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
CREW CHIEF	E															E													
ΚΑΥΣΙΜΑ		M															M												
ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ			Π															Π											
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ				I															I										
ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ					Σ															Σ									
WEAPON						T															T								
EGREES							E															E							
NDI								Y															Y						
FLCS									T															T					
ΧΡΩΣΤΕΣ										I															I				
ΔΟΜΗΣ											K	O															K	O	

Οι βασικές παρατηρήσεις που έχουμε να κάνουμε είναι:

α. Ως βασική μονάδα μέτρησης του χρόνου χρησιμοποιείται η ημέρα. Αυτό συμβαίνει διότι αυτό που ενδιαφέρει τον υπεύθυνο της ΚΦΕ είναι ο προγραμματισμός του προσωπικού που θα εργαστεί τη εκάστοτε ημέρα. (Στη δικιά μας προσέγγιση του προβλήματος όπως προαναφέρθηκε μονάδα μέτρησης του χρόνου είναι τα 30 λεπτά τις ώρας και η εργάσιμη ημέρα θεωρούμε ότι είναι έξι ώρες εργασίας επί του αεροσκάφους).

β. Η επιθεώρηση έχει συνολικό χρόνο τις X ημέρες, (χρόνος εξαιρετικά μεγάλος).

5.3 Αποτελέσματα ευρετικού αλγορίθμου

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του ευρετικού αλγορίθμου. Αναλυτικότερα θα παρουσιαστούν οι πίνακες με τις τιμές του κριτηρίου του ευρετικού αλγορίθμου και στη συνέχεια τα αντίστοιχα χρονοδιαγράμματα που αναφέρονται στην κάθε περίπτωση.

Τα κριτήρια που θα χρησιμοποιήσουμε λόγο του είδους του προβλήματος είναι το κριτήριο ACTIM, το κριτήριο ACROS και το κριτήριο AG3 στο οποίο η συνεισφορά του κάθε προηγούμενου κριτηρίου θα είναι 50%. Υπενθυμίζεται ότι τα χρονοδιαγράμματα αφορούν το τμήμα του προβλήματος που ονομάσαμε 16-97 και είναι το κύριο τμήμα των επιθεωρήσεων τις ΚΦΕ, το οποίο είναι και το απαιτητικότερο ως προς την επίλυσή του. Η λύση των άλλων δύο υποπροβλημάτων λόγο του μικρότερου μεγέθους τους δεν απαιτεί την εύρεση αρχικά μία υποβέλτιστης λύσης, ώστε να μειωθεί το εύρος των λύσεων.

Σχήμα 5: Πίνακας χρησιμοποιούμενων δεδομένων προβλήματος (0 δεν απαιτείται 1 απαιτείται ο πόρος)

		RESOURCES												
NAME	TIME	FU	CO	CR	EG	EL	EN	FL	HY	N	W3	W4	W5	W9
17	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
18	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

20	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
25	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
26	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
28	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
29	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
30	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
31	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
32	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
33	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
34	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
35	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
36	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
37	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
38	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
39	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
43	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
44	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
45	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
46	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
47	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
48	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
49	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

50	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0
51	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
52	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
53	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
54	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
56	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
57	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
58	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
59	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0		1	0	0
60	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
61	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
62	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
63	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
65	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
66	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
67	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
68	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
69	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
70	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
71	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
72	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
73	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
74	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
75	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

77	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
78	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	1
79	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
80	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
81	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
85	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
86	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
88	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
89	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
90	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
	ΣΥΝΟΛΟ	2	9	20	2	5	2	4	12	3	21	24	19	10

Σχήμα 6: Πίνακας δεδομένων κριτηρίων ACTIM, ACROS και AG3

		ACTIM	ACTIM%	ACROS	ACROS%	AG3=W*ACR+(1-W)*ACT	
NAME	TIME					WEIGHT=	0,50
17	1	X	X	X	X	X	X
18	6	X	X	X	X	X	X
19	1	X	X	X	X	X	X
20	1	X	X	X	X	X	X
21	6	X	X	X	X	X	X
24	1	X	X	X	X	X	X
25	1	X	X	X	X	X	X

26	2	X	X	X	X	X	X
27	1	X	X	X	X	X	X
28	9	X	X	X	X	X	X
29	1	X	X	X	X	X	X
30	2	X	X	X	X	X	X
31	1	X	X	X	X	X	X
32	4	X	X	X	X	X	X
33	2	X	X	X	X	X	X
34	1	X	X	X	X	X	X
35	1	X	X	X	X	X	X
36	3	X	X	X	X	X	X
37	2	X	X	X	X	X	X
38	1	X	X	X	X	X	X
39	3	X	X	X	X	X	X
43	2	X	X	X	X	X	X
44	2	X	X	X	X	X	X
45	7	X	X	X	X	X	X
46	1	X	X	X	X	X	X

47	6	X	X	X	X	X	X
48	1	X	X	X	X	X	X
49	5	X	X	X	X	X	X
50	1	X	X	X	X	X	X
51	4	X	X	X	X	X	X
52	3	X	X	X	X	X	X
53	1	X	X	X	X	X	X
54	1	X	X	X	X	X	X
56	2	X	X	X	X	X	X
57	2	X	X	X	X	X	X
58	1	X	X	X	X	X	X
59	4	X	X	X	X	X	X
60	2	X	X	X	X	X	X
61	1	X	X	X	X	X	X
62	2	X	X	X	X	X	X
63	7	X	X	X	X	X	X
65	2	X	X	X	X	X	X
66	4	X	X	X	X	X	X

67	3	X	X	X	X	X	X
68	1	X	X	X	X	X	X
69	1	X	X	X	X	X	X
70	4	X	X	X	X	X	X
71	2	X	X	X	X	X	X
72	4	X	X	X	X	X	X
73	1	X	X	X	X	X	X
74	3	X	X	X	X	X	X
75	1	X	X	X	X	X	X
77	2	X	X	X	X	X	X
78	1	X	X	X	X	X	X
79	2	X	X	X	X	X	X
80	1	X	X	X	X	X	X
81	2	X	X	X	X	X	X
85	2	X	X	X	X	X	X
86	1	X	X	X	X	X	X
88	6	X	X	X	X	X	X
89	2	X	X	X	X	X	X

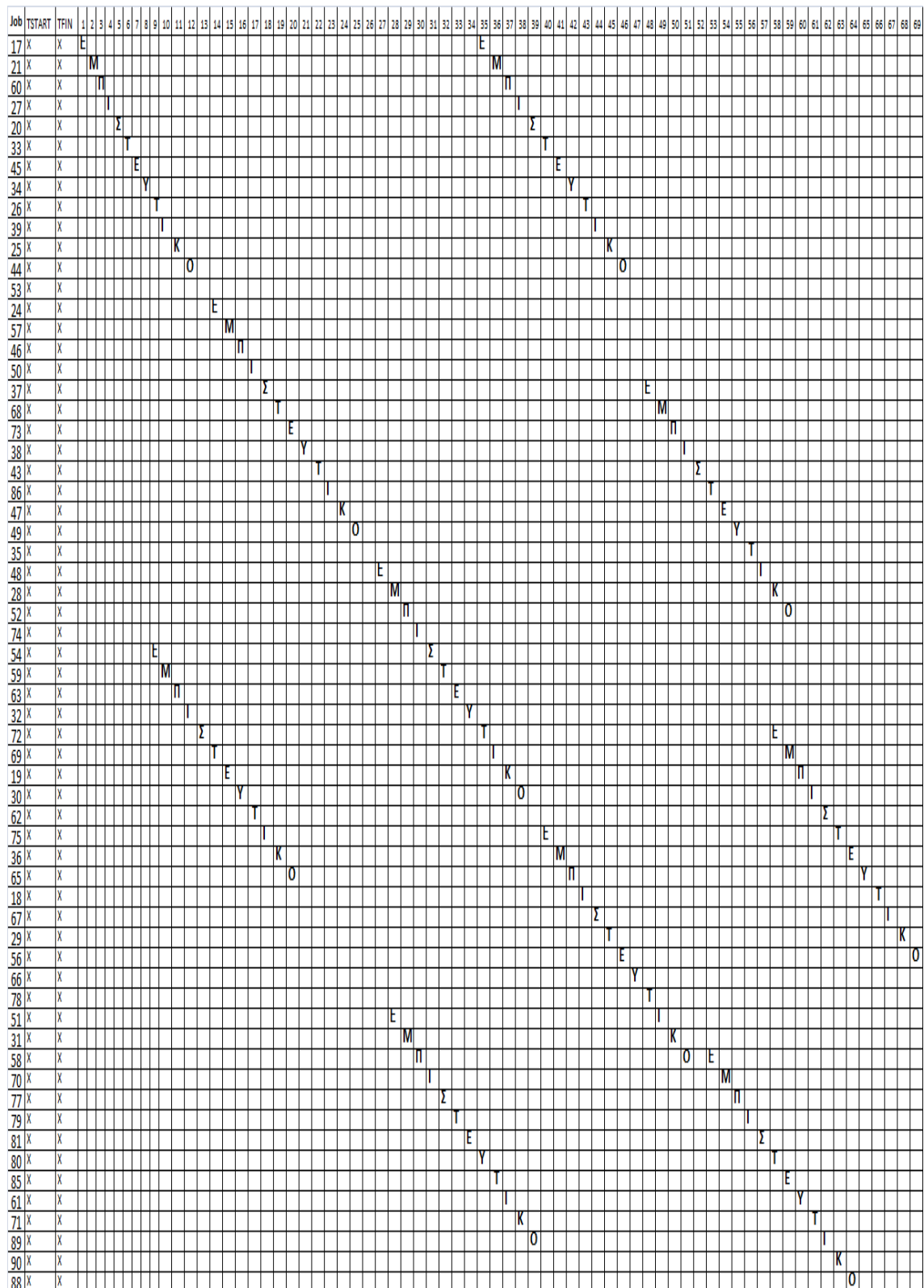
90	5	X	X	X	X	X	X
----	---	---	---	---	---	---	---

Στον πρώτο από τους δύο ανωτέρω πίνακες παρουσιάζονται οι εργασίες του υποπροβλήματος 16-97, οι χρόνοι που διαρκεί η κάθε εργασία καθώς επίσης και οι απαιτούμενοι πόροι για κάθε εργασία σε μορφή 0-1 (0 αν δεν απαιτείται ο πόρος και 1 αν απαιτείται). Στον δεύτερο παρουσιάζονται οι τιμές των κριτηρίων ACTIM, ACROS και AG3.

Το ακόλουθο χρονοδιάγραμμα εργασιών προκύπτει από την εφαρμογή του ευρετικού αλγορίθμου με χρήση του κριτηρίου ACTIM. Στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι χρόνοι έναρξης και λήξης τις κάθε εργασίας και παρατηρούμε ότι ο συνολικό χρόνος για την ολοκλήρωση των επιθεωρήσεων είναι**X**.... μισάωρα δηλαδή **X** εργάσιμες ημέρες.

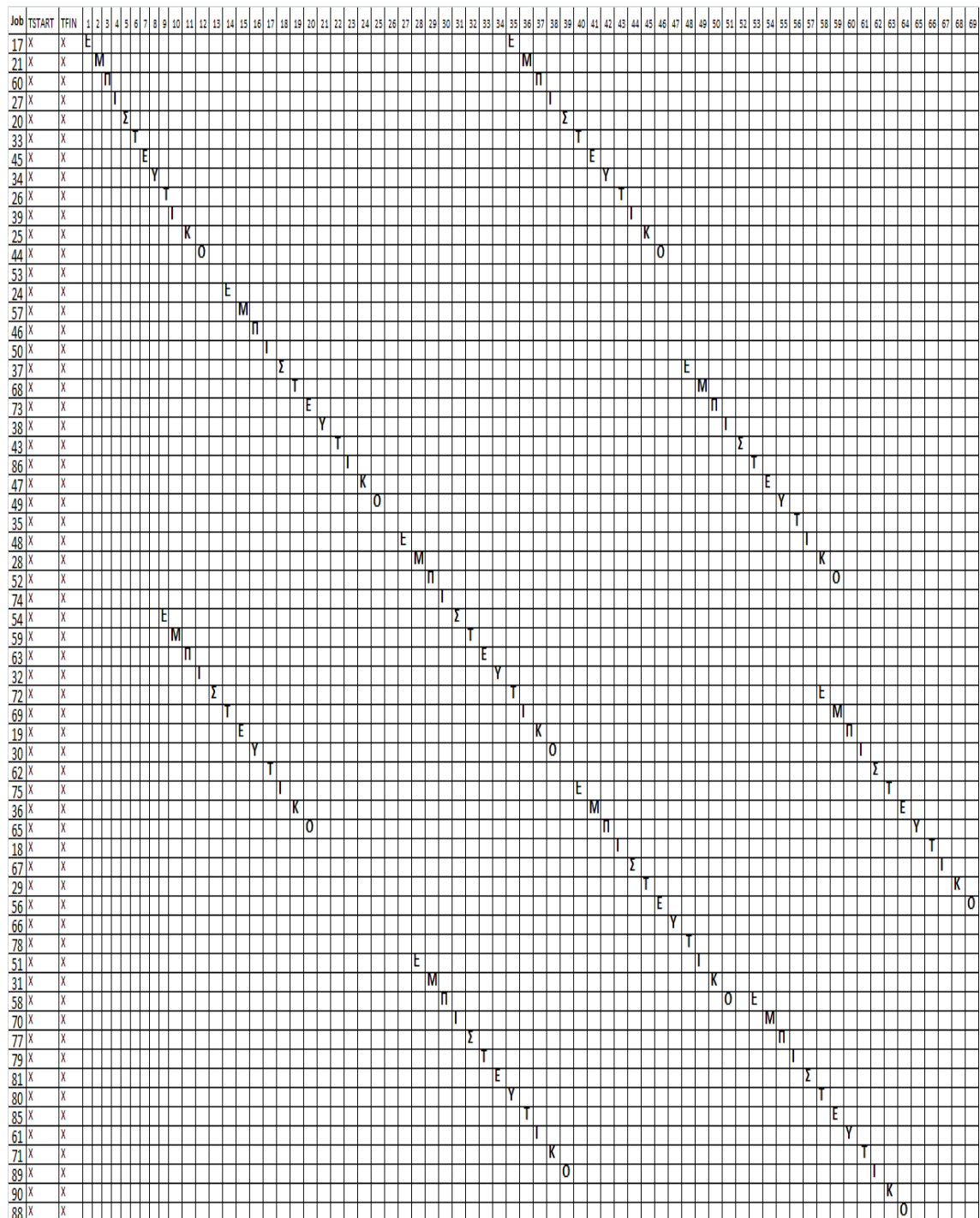
Σχήμα 7: Χρονοδιάγραμμα , 100% ACTIM

Σχήμα 8: Χρονοδιάγραμμα , 100% ACTIM



Στο επόμενο χρονοδιάγραμμα παρουσιάζεται το αποτέλεσμα του αλγορίθμου αν λάβουμε ως κριτήριο το AG3 με συντελεστή 50%. Το αποτέλεσμα είναι ο χρόνος ολοκλήρωσης του υποπροβλήματος να γίνεται **X** μισάωρα που είναι και το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα που εξάγαμε με βάση τον αλγόριθμο που εφαρμόσαμε.

Σχήμα 9: Χρονοδιάγραμμα 50% ACTIM 50% ACROS



Έχοντας βρει μία λύση που μπορεί να είναι υποβέλτιστη αλλά και βέλτιστη, συνεχίζουμε την προσπάθεια εύρεσης της βέλτιστης λύσης επιλύοντας το πρόβλημα με τη χρήση του λογισμικού LINGO, θέτοντας ως άνω όριο στις λύσεις το **X**,

περιορίζοντας έτσι αισθητά το εύρος των λύσεων στις οποίες θα κάνει έλεγχο το πρόγραμμα.

5.4 Μοντέλο βέλτιστης λύσης

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα τρία μοντέλα, για τα τρία υποπροβλήματα στα οποία χωρίσαμε το πρόβλημά μας, από τα οποία θα εξαχθεί η βέλτιστη λύση για κάθε ένα, οπότε αθροιστικά η συνολική λύση του προβλήματος. Θα παραχθούν τα αντίστοιχα χρονοδιαγράμματα και θα ευρενηθεί το πώς επηρεάζεται η βέλτιστη λύση του υποπροβλήματος 16-97 αν ομαδοποιήσουμε κάποιες εργασίες. Τα ακόλουθα μοντέλα είναι σε περιβάλλον LINGO.

5.4.1 Γραμμικό μοντέλο υποπροβλήματος 0-16

SETS:

TASK: TIME, START , ES;

PRED(TASK, TASK);

PERIOD;

RESOURCE: CAP;

TXR(TASK, RESOURCE): NEED;

TXP(TASK, PERIOD): SX;

RXP(RESOURCE, PERIOD);

ENDSETS

DATA:

PERIOD = 1.....;

TASK TIME =

1 5

2 1

3 1

4 1

5 1

6 1
7 1
8 2
9 8
10 2
11 1
12 14
13 1
14 14
15 1
16 0
;

PRED= 10,1,10,2,10,3,10,4,10,5,10,6,10,7,10,8,10,11
1,9,2,9,3,9,4,9,5,9,6,9,7,9,8,9,11,9
9,12
12,14
14,16
9,13
12,15
13,16
;

RESOURCE =CO,CR,EG,EL,EN,FL,FU,EU,H,HY,N,W3,W4,W5,W9;

CAP =.....;

TXR, NEED =

1, CR, 1
2, FL, 1
3, EL, 1
4, EN, 1
5, H, 1
7, EG, 1
9, CO, 1
10, FU, 1
11, FL, 1
12, CR, 1
13, EL, 1

```

13, W3, 1
13, W4, 1
13, W5, 1
13, W9, 1
14, CR, 1
14, W3, 1
14, W4, 1
14, W5, 1
14, W9, 1
15, N, 1
15, W5, 1
16, CR, 1
16, W3, 1
16, W4, 1
16, W5, 1
16, W9, 1
;
ENDDATA

```

SUBMODEL SEQUENCE:

NTSK = @SIZE(TASK);

MIN = START(NTSK);

@FOR(TASK(I):

[DEFSTRT] START(I) = @SUM(PERIOD(T): T * SX(I, T));

);

@FOR(TASK(I):

[MUSTDO] @SUM(PERIOD(T): SX(I, T)) = 1;

@FOR(PERIOD(T): @BIN(SX(I, T)));

);

@FOR(PRED(I, J):


```
[PRECD] START(J) >= START( I) + TIME( I);
);
```

```
@FOR( RXP( R, T):
[RSRUSE] @SUM( TXR( I, R):
@SUM( PERIOD( S)| S #GE# ( T - ( TIME( I) - 1)) #AND# S #LE# T:
NEED( I, R) * SX( I, S))) <= CAP( R);
);
```

```
@FOR( TASK( J):
ES( J) = @SMAX( 0, @MAX( PRED( I, J): ES( I) + TIME(I)));
@SUM( PERIOD(T) | T #LE# ES( J): SX( J, T)) = 0;
);
```

```
ENDSUBMODEL
```

```
CALC:
```

```
@SET('TERSEO',2); ! Turn off default output;
```

```
@SOLVE( SEQUENCE);
! Print a simple report;
```

```
@WRITE(@NEWLINE(1),' Project length= ', START(NTSK)+TIME(NTSK),
```

```
@NEWLINE(1));
```

```
@WRITE(' Task Start_At End_At Resources_used', @NEWLINE(1));
! Print in time order;
```

```
@FOR(PERIOD( t):
```

```
@FOR(TASK(j) | @ABS(START(j)- t) #LE# .5:
```

```
@WRITE( ' ', @FORMAT(TASK(j),"8s"),
' ', @FORMAT(START(j),"7.1f"),
' ', @FORMAT(START(j)+TIME(j),"7.1f"));
```

! Find any resources r used by task j;

```
@FOR( TXR(j,r):
  @WRITE(' ', @FORMAT(RESOURCE(r),"8s"));
);

@WRITE(@NEWLINE(1));
);
ENDCALC
```

5.4.2 Αποτελέσματα υποπροβλήματος 0-16

Project length= 44

Task	Start_At	End_At	Resources_used				
10	X	X	FU				
1	X	X	CR				
2	X	X	FL				
3	X	X	EL				
4	X	X	EN				
5	X	X	H				
6	X	X					
7	X	X	EG				
11	X	X	FL				
8	X	X					
9	X	X	CO				
12	X	X	CR				
13	X	X	EL	W3	W4	W5	W9
14	X	X	CR	W3	W4	W5	W9
16	X	X	CR	W3	W4	W5	W9
15	X	X	N	W5			

5.4.3 Γραμμικό μοντέλο υποπροβλήματος 16-97

SETS:

TASK: TIME, START , ES;

PRED(TASK, TASK);

PERIOD;

```

RESOURCE: CAP;
TXR( TASK, RESOURCE): NEED;
TXP( TASK, PERIOD): SX;
RXP( RESOURCE, PERIOD);
ENDSETS

```

```

DATA:

```

```

PERIOD = 1.....
;

```

```

TASK TIME =

```

```

16    0
17    1
18    6
19    1
20    1
21    6
24    1
25    1
26    2
27    1
28    9
29    1
30    2
31    1
32    4
33    2
34    1
35    1
36    3
37    2
38    1
39    3
43    2
44    2
45    7
46    1
47    6

```

48	1
49	5
50	1
51	4
52	3
53	1
54	1
56	2
57	2
58	1
59	4
60	2
61	1
62	2
63	7
65	2
66	4
67	3
68	1
69	1
70	4
71	2
72	4
73	1
74	3
75	1
77	2
78	1
79	2
80	1
81	2
85	2
86	1
88	6
89	2
90	5
97	0
	;

PRED=

16,19,16,20,16,21,16,24,16,25,16,26,16,27,16,28
16,29,16,30,16,31,16,32,16,36,16,37,16,38,16,43,16,44,16,45,16,46
16,47,16,48,16,49,16,50,16,51,16,52,16,53,16,54,16,56,16,57,16,58
16,59,16,60,16,62,16,67,16,68,16,69,16,72,16,73,16,75,16,78
28,18
54,70
60,33,60,34,60,35,60,39,60,86
61,88,61,89,61,90
62,63
63,65
65,66
66,81
73,74
74,77
77,79
79,80
85,71
86,61,86,85
39,61,33,61,34,61,35,61
88,97,89,97,90,97
17,97,18,97,19,97,20,97,21,97,24,97,25,97,26,97,27,97
29,97,30,97,31,97,32,97
36,97,37,97,38,97
43,97,44,97,45,97,46,97,47,97,48,97,49,97,50,97,51,97,52,97,53,97
56,97,57,97,58,97,59,97
67,97,68,97,69,97,70,97,71,97,72,97,75,97,78,97,80,97,81,97
;

RESOURCE =CO,CR,EG,EL,EN,FL,FU,EU,H,HY,N,W3,W4,W5,W9;

CAP =;

TXR, NEED =

17, EL, 1
18, FU, 1
18, W3, 1
19, W3, 1

20,	CR,	1
21,	CO,	1
24,	EG,	1
24,	W9,	1
25,	CO,	1
25,	W9,	1
26,	CO,	1
27,	EL,	1
28,	FU,	1
28,	W3,	1
29,	CO,	1
29,	W4,	1
30,	W3,	1
31,	CR,	1
31,	W3,	1
32,	EG,	1
32,	W3,	1
33,	HY,	1
34,	HY,	1
35,	HY,	1
36,	CO,	1
36,	W4,	1
37,	CR,	1
37,	W4,	1
38,	N,	1
38,	W5,	1
39,	HY,	1
43,	CO,	1
43,	W3,	1
44,	CR,	1
44,	W3,	1
44,	W5,	1
45,	EL,	1
45,	W3,	1
45,	W4,	1
45,	W5,	1
45,	W9,	1
46,	CR,	1
46,	W3,	1

47,	N,	1
47,	W5,	1
48,	EL,	1
48,	W3,	1
49,	CR,	1
49,	W4,	1
50,	CO,	1
50,	W5,	1
51,	EN,	1
51,	W4,	1
52,	CR,	1
52,	W4,	1
53,	HY,	1
53,	W4,	1
54,	CR,	1
54,	W4,	1
56,	N,	1
56,	W4,	1
57,	HY,	1
57,	W4,	1
58,	CR,	1
58,	W3,	1
59,	CR,	1
59,	W4,	1
60,	CR,	1
60,	W3,	1
60,	W4,	1
60,	W5,	1
60,	W9,	1
61,	CR,	1
61,	W3,	1
61,	W4,	1
61,	W5,	1
61,	W9,	1
62,	CR,	1
62,	W5,	1
63,	CO,	1
63,	W5,	1
65,	W5,	1
66,	CO,	1

66,	W5,	1
67,	CR,	1
67,	W5,	1
68,	HY,	1
68,	W3,	1
69,	EN,	1
69,	W3,	1
70,	CR,	1
70,	W3,	1
71,	EL,	1
71,	W3,	1
71,	W4,	1
71,	W5,	1
71,	W9,	1
72,	CR,	1
72,	W4,	1
73,	FL,	1
73,	W5,	1
74,	HY,	1
74,	W5,	1
75,	CR,	1
75,	W4,	1
77 ,	FL,	1
77,	W4,	1
78,	CR,	1
78,	W9,	1
79,	HY,	1
79,	W4,	1
80,	FL,	1
80,	W4,	1
81,	CR,	1
81,	W5,	1
85,	HY,	1
85,	W3,	1
85,	W4,	1
85,	W5,	1
85,	W9,	1
86,	HY,	1
88,	CR,	1


```

88,   W4,   1
89,   HY,   1
89,   W3,   1
89,   W4,   1
89,   W5,   1
89,   W9,   1
90,   FL,   1
90,   W3,   1
90,   W4,   1
90,   W5,   1
90,   W9,   1
;

```

ENDDATA

SUBMODEL SEQUENCE:

NTSK = @SIZE(TASK);

MIN = START(NTSK);

@FOR(TASK(I):

[DEFSTRT] START(I) = @SUM(PERIOD(T): T * SX(I, T));

);

@FOR(TASK(I):

[MUSTDO] @SUM(PERIOD(T): SX(I, T)) = 1;

@FOR(PERIOD(T): @BIN(SX(I, T)));

);

@FOR(PRED(I, J):

[PRECD] START(J) >= START(I) + TIME(I);

);

```

@FOR( RXP( R, T):
[RSRUSE] @SUM( TXR( I, R):
@SUM( PERIOD( S)| S #GE# ( T - ( TIME( I) - 1)) #AND# S #LE# T:
NEED( I, R) * SX( I, S))) <= CAP( R);
);

```

```

@FOR( TASK( J):
    ES( J) = @SMAX( 0, @MAX( PRED( I, J): ES( I) + TIME(I)));
    @SUM( PERIOD(T) | T #LE# ES( J): SX( J, T)) = 0;
);

```

ENDSUBMODEL

CALC:

```
@SET('TERSEO',2); ! Turn off default output;
```

```

@SOLVE( SEQUENCE);
! Print a simple report;

```

```
@WRITE(@NEWLINE(1),' Project length= ', START(NTSK)+TIME(NTSK),
```

```
@NEWLINE(1));
```

```

@WRITE(' Task Start_At End_At Resources_used', @NEWLINE(1));
! Print in time order;

```

```
@FOR(PERIOD( t):
```

```
@FOR(TASK(j) | @ABS(START(j)- t) #LE# .5:
```

```

@WRITE( ' ', @FORMAT(TASK(j),"8s"),
        ' ', @FORMAT(START(j),"7.1f"),
        ' ', @FORMAT(START(j)+TIME(j),"7.1f"));
! Find any resources r used by task j;

```

```
@FOR( TXR(j,r):
```

```

@WRITE(' ', @FORMAT(RESOURCE(r),"8s"));

);

@WRITE(@NEWLINE(1));

);

ENDCALC

```

5.4.4 Αποτελέσματα υποπροβλήματος 16-97

Project length= 66

Task	Start_At	End_At	Resources_used					
16	X	X						
20	X	X	CR					
27	X	X	EL					
60	X	X	CR	W3	W4	W5	W9	
17	X	X	EL					
28	X	X	FU	W3				
36	X	X	CO	W4				
62	X	X	C	W5				
35	X	X	HY					
67	X	X	CR	W5				
21	X	X	CO					
39	X	X	HY					
54	X	X	CR	W4				
49	X	X	CR	W4				
38	X	X	N	W5				
34	X	X	HY					
86	X	X	HY					
26	X	X	CO					
85	X	X	HY	W3	W4	W5	W9	
30	X	X	W3					
57	X	X	HY	W4				
73	X	X	FL	W5				
78	X	X	CR	W9				
18	X	X	FU	W3				
52	X	X	CR	W4				
63	X	X	CO	W5				
33	X	X	HY					
51	X	X	EN	W4				
61	X	X	CR	W3	W4	W5	W9	

71	X	X	EL	W3	W4	W5	W9
29	X	X	CO	W4			
88	X	X	CR	W4			
65	X	X	W5				
70	X	X	CR	W3			
74	X	X	HY	W5			
90	X	X	FL	W3	W4	W5	W9
37	X	X	CR	W4			
50	X	X	CO	W5			
69	X	X	EN	W3			
45	X	X	EL	W3	W4	W5	W9
89	X	X	HY	W3	W4	W5	W9
31	X	X	CR	W3			
77	X	X	FL	W4			
47	X	X	N	W5			
58	X	X	CR	W3			
43	X	X	CO	W3			
79	X	X	HY	W4			
32	X	X	EG	W3			
59	X	X	CR	W4			
66	X	X	CO	W5			
80	X	X	FL	W4			
68	X	X	HY	W3			
75	X	X	CR	W4			
46	X	X	CR	W3			
56	X	X	N	W4			
19	X	X	W3				
53	X	X	HY	W4			
44	X	X	CR	W3	W5		
72	X	X	CR	W4			
25	X	X	CO	W9			
81	X	X	CR	W5			
24	X	X	EG	W9			
48	X	X	EL	W3			
97	X	X					

5.4.5 Γραμμικό μοντέλο υποπροβλήματος 97-110

SETS:

TASK: TIME, START , ES;
 PRED(TASK, TASK);
 PERIOD;
 RESOURCE: CAP;
 TXR(TASK, RESOURCE): NEED;
 TXP(TASK, PERIOD): SX;
 RXP(RESOURCE, PERIOD);
 ENDSETS

DATA:

PERIOD = 1.....;

TASK TIME =

55 2
 84 3
 95 4
 97 0
 98 2
 99 4
 101 10
 102 5
 103 7
 104 2
 105 10
 107 8
 108 2
 109 1
 110 0 ;

PRED=

97,95,97,98,97,99,97,101
 101,84,101,102,101,108
 102,103,102,104
 103,55,103,109,103,105
 104,105
 105,107
 108,107
 55,110
 84,110,95,110,98,110,99,110,107,110,109,110;

RESOURCE =CO,CR,EG,EL,EN,FL,FU,EU,H,HY,N,W3,W4,W5,W9;

CAP =;

TXR, NEED =

55, FU, 1
55, W3, 1
55, W4, 1
55, W5, 1
55, W9, 1
84, CR, 1
84, W3, 1
84, W4, 1
84, W5, 1
84, W9, 1
95, EL, 1
95, W3, 1
95, W4, 1
95, W5, 1
95, W9, 1
97, CR, 1
97, W3, 1
97, W4, 1
97, W5, 1
97, W9, 1
98, FU, 1
98, W3, 1
98, W4, 1
98, W5, 1
98, W9, 1
99, CR, 1
99, W3, 1
99, W4, 1
99, W5, 1
99, W9, 1
101, EN, 1

101, W9, 1
 102, CR, 1
 102, W3, 1
 102, W4, 1
 102, W5, 1
 102, W9, 1
 103, CR, 1
 103, W4, 1
 103, W5, 1
 104, CR, 1
 104, W4, 1
 105, CO, 1
 105, W3, 1
 105, W4, 1
 105, W5, 1
 105, W9, 1
 107, CR, 1
 107, W4, 1
 107, W5, 1
 108, EN, 1
 108, W3, 1
 108, W4, 1
 108, W5, 1
 108, W9, 1
 109, CR, 1
 109, W3, 1
 109, W4, 1
 109, W5, 1
 109, W9, 1;

ENDDATA

SUBMODEL SEQUENCE:

NTSK = @SIZE(TASK);

MIN = START(NTSK);

```
@FOR( TASK( I):
[DEFSTRT] START( I) = @SUM( PERIOD( T): T * SX( I, T));
);
```

```
@FOR( TASK( I):
[MUSTDO] @SUM( PERIOD( T): SX( I, T)) = 1;
```

```
@FOR( PERIOD( T): @BIN( SX( I, T)));
);
```

```
@FOR( PRED( I, J):
[PRECD] START(J) >= START( I) + TIME( I);
);
```

```
@FOR( RXP( R, T):
[RSRUSE] @SUM( TXR( I, R):
@SUM( PERIOD( S)| S #GE# ( T - ( TIME( I) - 1)) #AND# S #LE# T:
NEED( I, R) * SX( I, S))) <= CAP( R);
);
```

```
@FOR( TASK( J):
ES( J) = @SMAX( 0, @MAX( PRED( I, J): ES( I) + TIME(I)));
@SUM( PERIOD(T) | T #LE# ES( J): SX( J, T)) = 0;
);
```

```
ENDSUBMODEL
```

```
CALC:
```

```
@SET('TERSEO',2); ! Turn off default output;
```

```
@SOLVE( SEQUENCE);
! Print a simple report;
```



```

@WRITE(@NEWLINE(1),' Project length= ', START(NTSK)+TIME(NTSK),

@NEWLINE(1));

@WRITE(' Task Start_At End_At Resources_used', @NEWLINE(1));
! Print in time order;

@FOR(PERIOD( t):

@FOR(TASK(j) | @ABS(START(j)- t) #LE# .5:

@WRITE( ' ', @FORMAT(TASK(j),"8s"),
      ' ', @FORMAT(START(j),"7.1f"),
      ' ', @FORMAT(START(j)+TIME(j),"7.1f"));
! Find any resources r used by task j;

@FOR( TXR(j,r):
      @WRITE(' ', @FORMAT(RESOURCE(r),"8s"));
      );

@WRITE(@NEWLINE(1));
);
);
ENDCALC

```

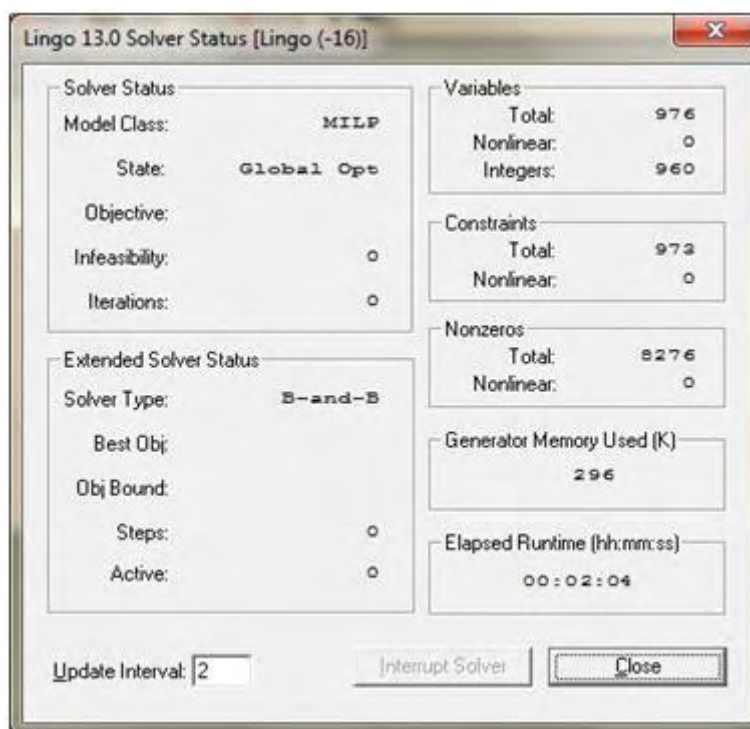
5.4.6 Αποτελέσματα υποπροβλήματος 97-110

Project length= 61

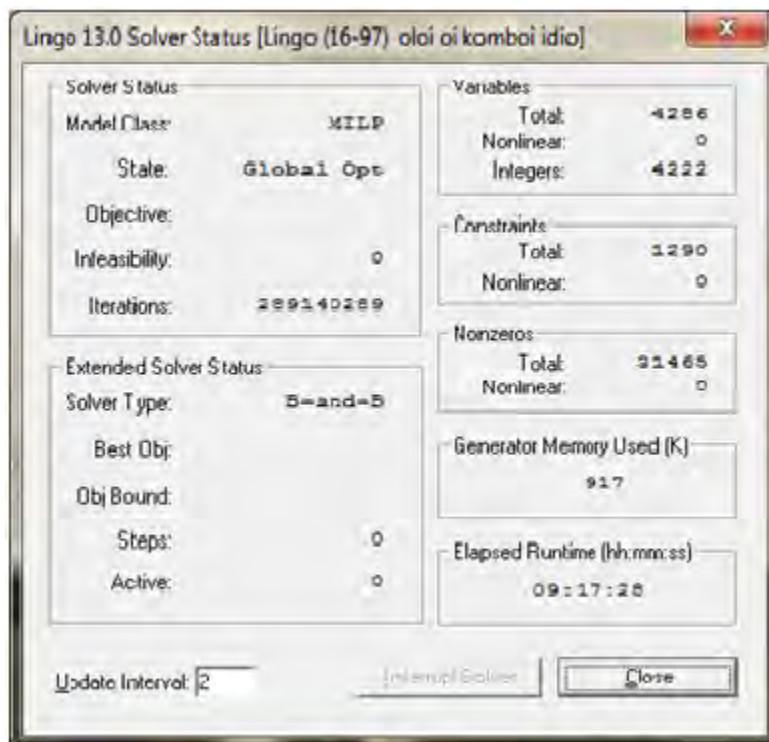
Task	Start_At	End_At	Resources_used				
97	X	X	CR	W3	W4	W5	W9
101	X	X	EN	W9			
102	X	X	CR	W3	W4	W5	W9
104	X	X	CR	W4			
103	X	X	CR	W4	W5		
105	X	X	CO	W3	W4	W5	W9
108	X	X	EN	W3	W4	W5	W9
95	X	X	EL	W3	W4	W5	W9
84	X	X	CR	W3	W4	W5	W9
98	X	X	FU	W3	W4	W5	W9
99	X	X	CR	W3	W4	W5	W9

55	X	X	FU	W3	W4	W5	W9
109	X	X	CR	W3	W4	W5	W9
107	X	X	CR	W4	W5		
110	X	X					

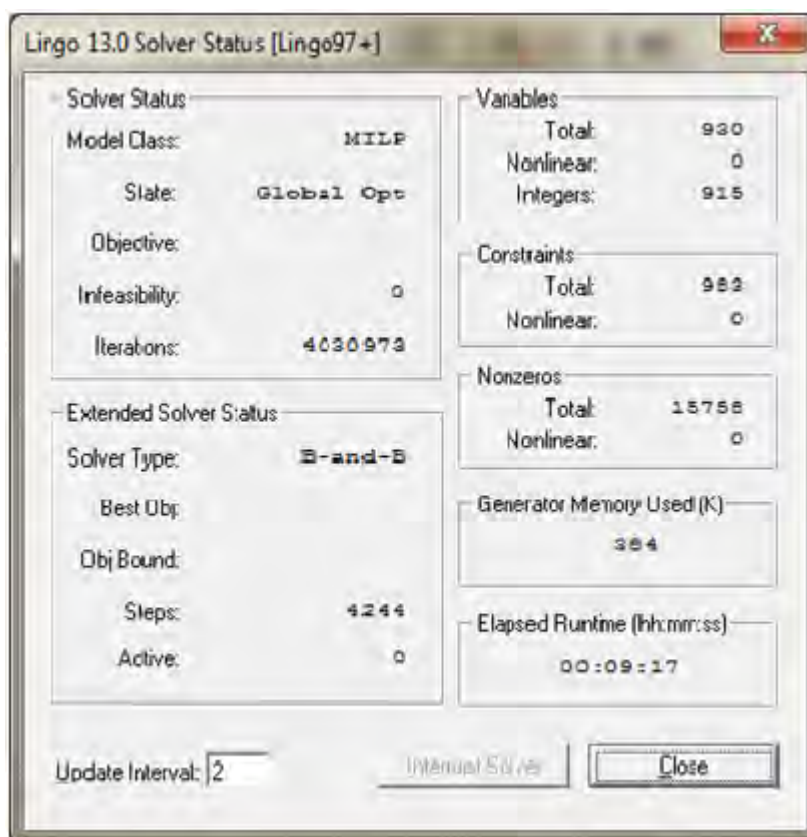
5.4.7 Χρονοδιαγράμματα και σχολιασμός βέλτιστης λύσης



Εικόνα 8: Χρόνος γραμμικού μοντέλου -16



Εικόνα 9: Χρόνος γραμμικού μοντέλου 16-97



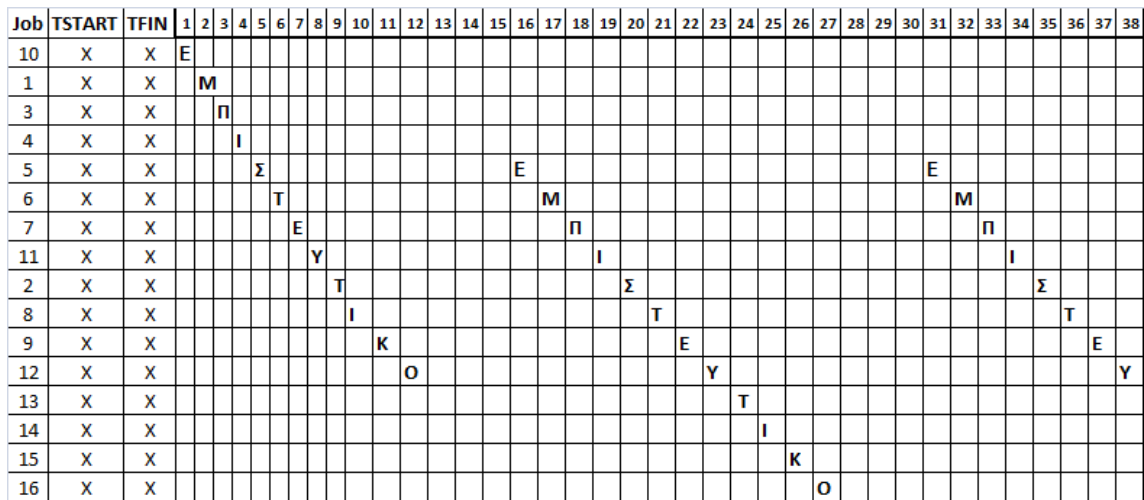
Εικόνα 10: Χρόνος γραμμικού μοντέλου 97-110

Στα ανωτέρω σχήματα παρατηρούνται κάποια στοιχεία για κάθε υποπρόβλημα τα οποία εξάγονται κατά την επίλυση του προβλήματος από το λογισμικό LINGO. Αρχικά βλέπουμε ότι έχουμε να κάνουμε με τρία Mixed Integer Linear Problem (MILP). Επιπλέον βλέπουμε ότι σε όλα τα προβλήματα έχει βρεθεί η ολικά βέλτιστη λύση (Global Optimum) καθώς επίσης και ότι οι λύσεις είναι X , X και X που όμως επειδή το LINGO ξεκινάει να μετράει από τη χρονική στιγμή ένα και όχι μηδέν είναι στην πραγματικότητα X , X και X αντίστοιχα.

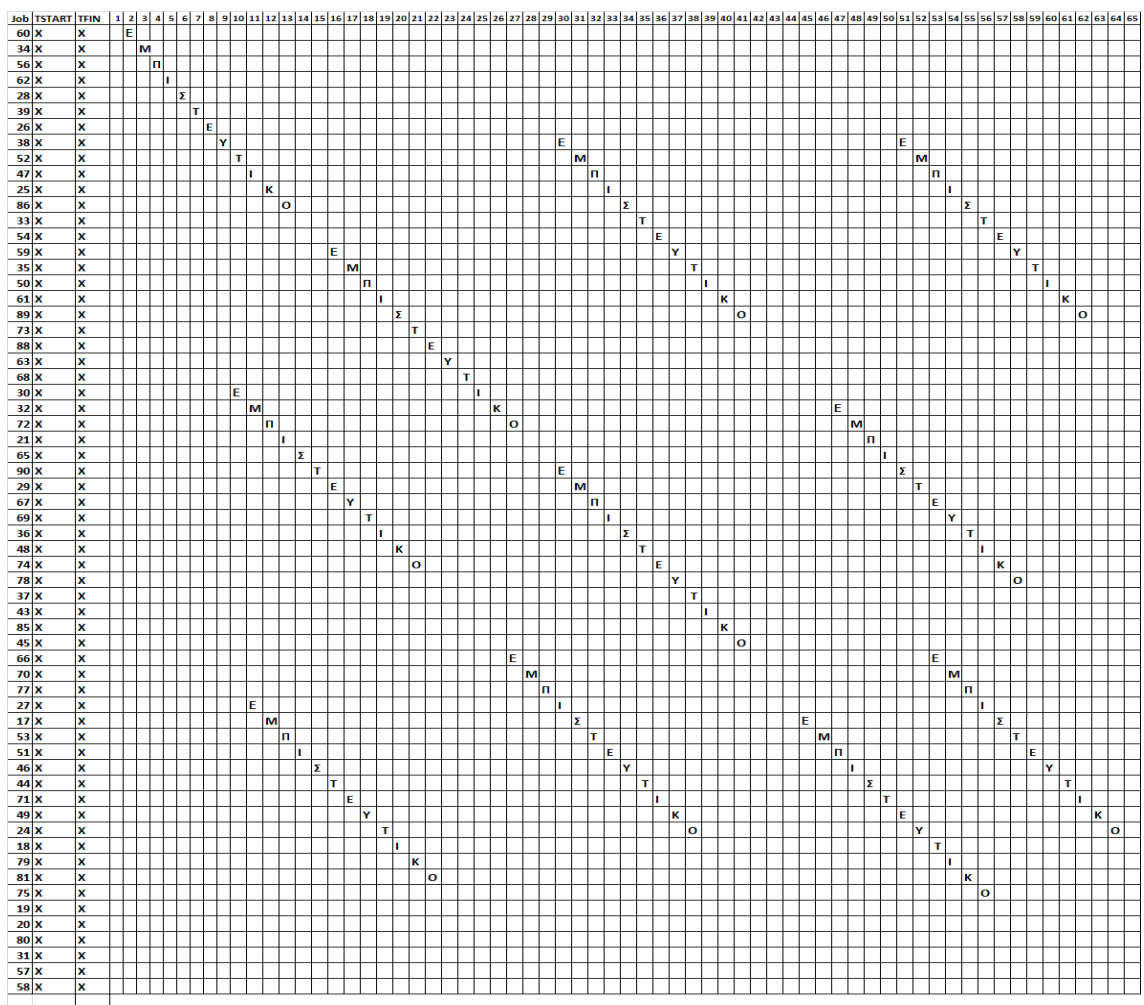
Κάποια επιπρόσθετα δεδομένα που βλέπουμε για το μέγεθος του προβλήματος είναι, στην δεξιά στήλη, το σύνολο των μεταβλητών, των περιορισμών καθώς επίσης και ο χρόνος που χρειάστηκε το πρόγραμμα για να εξάγει τη βέλτιστη αυτή λύση. Αξίζει να σημειωθεί ότι το σύνολο των μεταβλητών του προβλήματος όταν η αντιμετώπισή του ήταν σαν ένα μεγάλο πρόβλημα ήταν 34.047 και οι αντίστοιχοι περιορισμοί 7.955. Ένα τόσο μεγάλο πρόβλημα δεν είναι δυνατό να λυθεί από ένα συμβατικό υπολογιστή με τη χρήση του LINGO. Οι 4.286 μεταβλητές και οι 1.290 περιορισμοί, που έχει το μεγαλύτερο (16-97) από τα τρία υποπροβλήματα, συνιστούν ένα μεγάλο πρόβλημα που όμως μετά από εννέα ώρες και δεκαεπτά λεπτά (9:17) είναι δυνατό εξαχθεί μία βέλτιστη λύση.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα βέλτιστα χρονοδιαγράμματα για κάθε υποπρόβλημα καθώς και το συνολικό χρονοδιάγραμμα.

Σχήμα 10: Χρονοδιάγραμμα γραμμικού μοντέλου 0-16



Σχήμα 11: Χρονοδιάγραμμα γραμμικού μοντέλου 16-97



Σχήμα 12: Χρονοδιάγραμμα γραμμικού μοντέλου 97-110

[illegible]

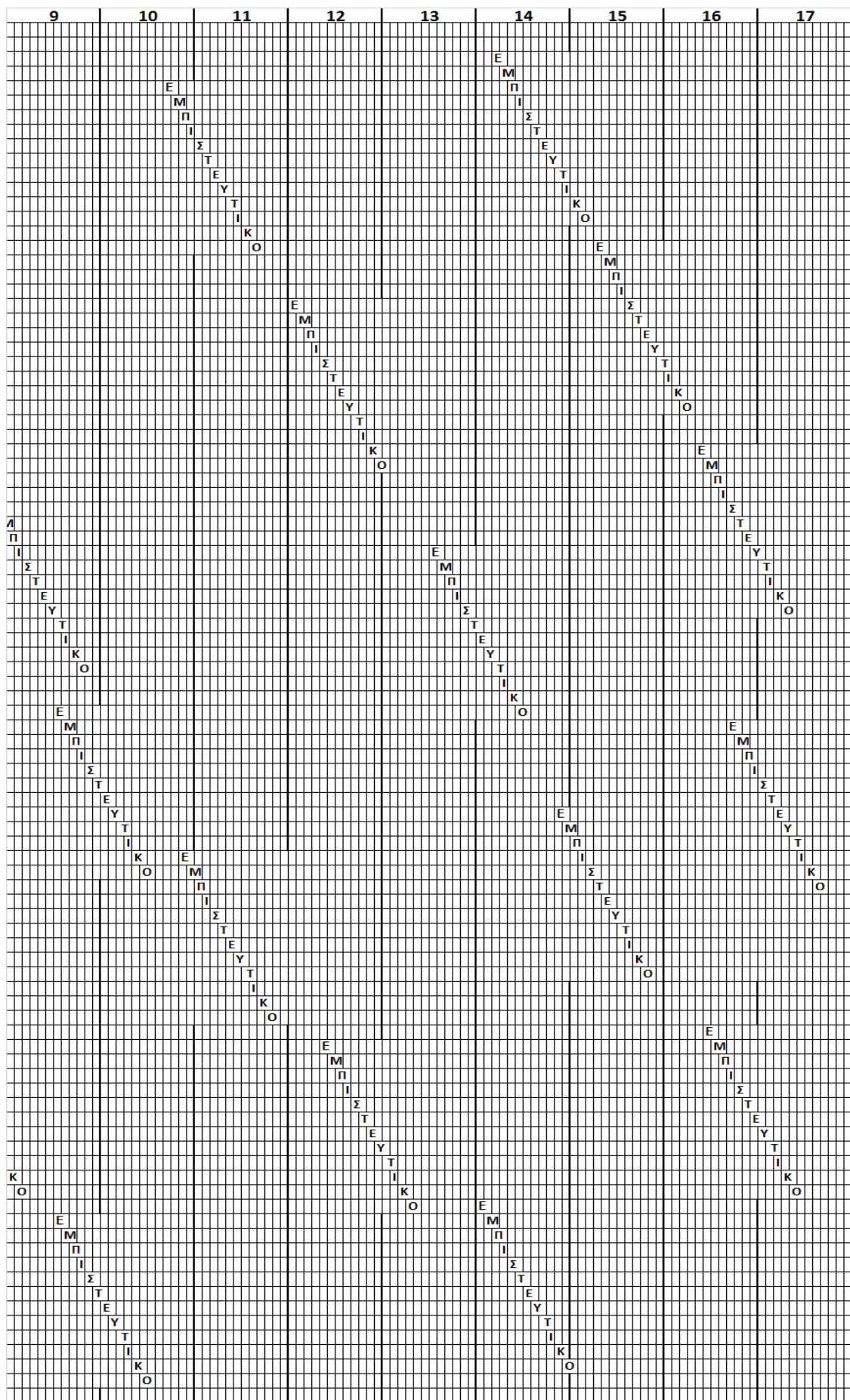
Στα παραπάνω χρονοδιαγράμματα παρατηρούμε αναλυτικότερα τα αποτελέσματα που παρατέθηκαν σε προηγούμενη υποπαράγραφο. Όπως φαίνεται τις εργασίες 16 και 97 δεν τις έχουμε εντάξει σε κάποιο υποπρόβλημα σκόπιμα για λόγους μεγέθους των υποπροβλημάτων.

Από την πρόσθεση των ανωτέρω διαγραμμάτων και την προσθήκη ενδιάμεσα των εργασιών 16 και 97 θα προκύψει το τελικό συνολικό χρονοδιάγραμμα εργασιών της ΚΦΕ. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν οι εργασίες 12, 14, 16, 97 αφορούν αποκλειστικά το άνοιγμα και κλείσιμο θυρίδων και κατό οπότε στην πραγματικότητα μετά από μία εκπαίδευση μπορούν να εκτελεστούν από οποιαδήποτε ειδικότητα, επιπλέον η εργασία 97 είναι ουσιαστικά τρεις εργασίες διάρκειας 12, 12 και 16 μισάωρα η κάθε μία, οι οποίες δύνανται να εκτελεστούν από οποιαδήποτε ειδικότητα.

Άρα το τελικό συνολικό χρονοδιάγραμμα της ΚΦΕ διαμορφώνεται όπως στο ακόλουθο σχήμα.

Σχήμα 13: Συνολικό τελικό χρονοδιάγραμμα ΚΦΕ

Job	1	2	3	4	5	6	7	8
10	E							
1	M							
3	Π							
4	Ι							
5	Σ							
6	Τ					E		
7	Ε					Μ		
11	Υ					Π		
2	Τ					Ι		
8	Ι					Σ		
9	Κ					Τ		
12	Ο					Ε		
13						Υ		
14	E					Τ		
15	Μ					Ι		
16	Π					Κ		
60	Ι					Ο		
34	Σ							
56	Τ							
62	Ε							
28	Υ					E		
39	Τ					Μ		
26	Ι					Π		
38	Κ					Ι		
52	Ο					Σ		
47						Τ		
25			E			Ε		
86			Μ			Υ		
33			Π			Τ		
54			Ι			Ι		
59			Σ			Κ		
35			Τ			Ο		
50			Ε					
61			Υ					E
89			Τ					Π
73			Ι					Ι
88			Κ					Κ
63			Ο					Ο
68								
30								
32								
72					E			
21					Μ			
65					Π			
90					Ι			
29					Σ			
67					Τ			
69	E				Ε			
36	Μ				Υ			
48	Π				Τ			
74	Ι				Ι			
78	Σ				Κ			
37	Τ				Ο			
43	Ε							
85	Υ							
45	Τ					E		
66	Ι					Μ		
70	Κ					Π		
77	Ο					Ι		
27						Σ		
17						Τ		
53						Ε		
51				E		Υ		
46				Μ		Τ		
44				Π		Ι		
71				Ι		Κ		
49				Σ		Ο		
24				Τ				
18				Ε				
79				Υ				
81				Τ		E		
75				Ι		Μ		
19				Κ		Π		
20				Ο		Ι		
80						Σ		
31						Τ		
57						Ε		
58						Υ		
97						Τ		
97A					E			
97B					Μ			
99					Π			
98					Ι			
101					Σ			
102					Τ			
103					Ε			
55					Υ			
104					Τ			
95					Ι			
84					Κ			
105					Ο			
108								
107								
109								
110								

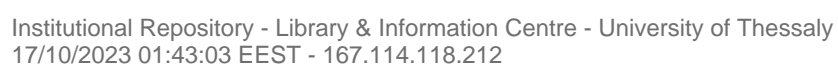


Όπως φαίνεται και στο προηγούμενο διάγραμμα ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης της ΚΦΕ με βάση τα δεδομένα που εισάγαμε στο μοντέλο ανέρχεται σε λιγότερο απόX..... εργάσιμες ημέρες. Αν προσθέσουμε μία μέρα ακόμα για την προετοιμασία για πτήση δοκιμής αέρος του αεροσκάφους, την πτήση και την μετά την πτήση επιθεώρηση, φτάνουμε τελικά τις X ημέρες, X ημέρες λιγότερο από το εμπειρικό χρονοδιάγραμμα.

Επίσης μετά από ανάλυση ευαισθησίας που έγινε ως προς το βασικότερο πόρο που δύναται να αυξηθεί, δηλαδή την ειδικότητα των Μηχανικών (Crew Chief) παρατηρήθηκε ότι δεν έχουμε καμία αλλαγή στο αποτέλεσμα. Οπότε μία αύξηση στις ομάδες εργασίας δεν θα μας επιφέρει κάποιο όφελος.

Τέλος επειδή όπως παρατηρείται από το χρονοδιάγραμμα απαιτείται οι διάφορες ειδικότητες να εργάζονται πολλές φορές και μικρά χρονικά διαστήματα στο αεροσκάφος κατά το διάστημα του υποπροβλήματος 16-97, θα κάνουμε μία ομαδοποίηση κάποιων εργασιών για να δούμε κατά πόσο θα επηρεαστεί το τελικό αποτέλεσμα. Η ομαδοποίηση αυτή θα γίνει με βάση την ειδικότητα και την αλληλουχία των εργασιών όπως φαίνεται στο σχήμα 14. Το χρονοδιάγραμμα των εργασιών του υποπροβλήματος διαμορφώνεται όπως φαίνεται ακολούθως στο σχήμα 15.

106



Σχήμα 15: Συνολικό τελικό χρονοδιάγραμμα ΚΦΕ

[illegible]

Από το παραπάνω χρονοδιάγραμμα παρατηρούμε ότι έχουμε μία αύξηση του συνολικού χρόνου του έργου κατά X μισάωρα δηλαδή κάτι περισσότερο από X . Έχουμε όμως μικρότερη επιβάρυνση για τις ειδικότητες που με τον τρόπο αυτό μπορούν να κάνουν καλύτερη διαχείριση χρόνου και για τις άλλες εργασίες που πρέπει να εκτελέσουν.

Συμπερασματικά παρατηρούμε ότι μια πραγματοποιήσιμη λύση για το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού των εργασιών της ΚΦΕ θα ήταν αυτή των X ημερών

που προκύπτει από την ομαδοποίηση κάποιων επιθεωρήσεων. Αποτέλεσμα που μειώνει το χρόνο εκτέλεσης της ΚΦΕ κατά Χ) ημέρες.

Εν κατακλείδι αξίζει να αναφερθεί ότι η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει εργαλείο για το χρονικό προγραμματισμό αντίστοιχου μεγέθους επιθεωρήσεων που εκτελούνται σε άλλους τύπους αεροσκαφών και ελικοπτέρων τις Αεροπορίας. Επιπλέον με βάση την ανωτέρω εργασία μπορεί να γίνει μελέτη του ίδιου προβλήματος για περισσότερα αεροσκάφη που επιθεωρούνται ταυτόχρονα και με διαφορετικούς χρόνους εκκίνησης της ΚΦΕ με περιορισμένους πόρους.

Βιβλιογραφία

1. Analysis and control of production systems- second edition
Elsayed A. Elsayed, Thomas O. Boucher
2. Project Planning and Control Fourth Edition
Eur Ing Albert Lester, CEng, FICE, FIMechE, FIStructE, FAPM
3. A new heuristic for project scheduling with a single resource constraint
M. Khattab, F. Choobineh
4. MILP formulations for single- and multi-mode resource-constrained project scheduling problems
Thomas S. Kyriakidis, Georgios M. Kopanos, Michael C. Georgiadisa
5. Algorithms for project scheduling with resource constraints
E. A. Elsayed.
6. An algorithm for optimal project scheduling under multiple resource constraints
Edward W. Davis, George E. Heidorn.
7. An Evolutionary Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling
Khalil S. Hindi, Hongbo Yang, and Krzysztof Fleszar
8. Προγραμματισμός παραγωγής (Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος)
Βασίλης Σ. Κουϊκόγλου
9. ITOD USAF Technical Orders TOGR1F16CJ-6
10. LINGO 13 User's Guide
LINDO Systems INC.
11. Optimization modeling with LINGO-5th Edition
LINDO Systems INC.
12. Critical path planning and scheduling

Kelley J. E. Jr and M. R. Walker.

13. Heuristic, qualitative, and quantitative reasoning about steel bridge fatigue and fracture.

W. M. Kim Roddis

14. Algorithms for project scheduling with resource constraints.

Elsayed E. A.