



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

---

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ  
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΚΛΙΜΑΚΙΟΥ ΑΡΜΑΤΟΣ  
LEOPARD 1A5**

υπό

**ΜΙΧΑΗΛ ΨΑΡΟΠΟΥΛΟΥ**

Αξιωματικού Αποφοίτου Της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων, 2008

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

**2016**

© 2016 Μιχαήλ Ψαρόπουλος  
© Π. Θ.

Προγραμματισμός Εργασιών Συντήρησης Δευτέρου Κλιμακίου Άρματος Leopard  
1A5

ISBN

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

## **Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Γιώργος Κοζανίδης  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Γιώργος Λυμπερόπουλος  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Δημήτρης Παντελής  
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων  
Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Φτάνοντας στο τέλος αυτής της προσπάθειας, πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μου, καθηγητή κ. Γιώργο Κοζανίδη, για την ενθάρρυνση, πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του καθόλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Επίσης, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής της μεταπτυχιακής εργασίας μου, καθηγητές κκ. Γιώργο Λυμπερόπουλο και Δημήτρη Παντελή, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ευχαριστίες οφείλω τέλος στον φοιτητή του Τμήματος Μηχανικών Υπολογιστών και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Γιάννη Γούση για την πολύτιμη βοήθεια του σε θέματα προγραμματισμού σε περιβάλλον CPLEX.

Μιχαήλ Ψαρόπουλος  
Σεπτέμβριος 2016, Βόλος.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας αποτελεί ο προγραμματισμός εργασιών συντήρησης δεύτερου κλιμακίου του άρματος Leopard 1A5. Το άρμα μάχης Leopard 1 A5 είναι ένα μέσο άρμα μάχης που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση θωρακισμένων στόχων. Κατά τη διάρκεια του 1992, ο ελληνικός στρατός έλαβε μια παρτίδα 75 Leopard 1A5, η προληπτική συντήρηση των οποίων είναι ιδιαίτερης σημασίας προκειμένου να διατηρηθούν σε ικανοποιητική κατάσταση λειτουργίας. Συγκεκριμένα, η προληπτική συντήρηση δεύτερου κλιμακίου περιλαμβάνει την εκτέλεση 85 εργασιών. Μέσα από την παρούσα εργασία καταδεικνύεται ότι για την αποτελεσματικότερη εκτέλεση των εργασιών πρέπει να εισαχθεί η έννοια του προγραμματισμού στην διαδικασία προληπτικής συντήρησης.

Η διαδικασία συντήρησης του άρματος Leopard 1 A5 χρονικά με βάση το βιβλίο εργασιών ανέρχεται σε 10 περίπου ημέρες με την προϋπόθεση ότι οι εργασίες θα πραγματοποιούνταν όλες με τη σειρά, χωρίς να υπάρχει επαλληλία εργασιών. Στην πραγματικότητα όμως αυτό δεν ισχύει, καθώς υπάρχει εργατικό δυναμικό περισσότερο του ενός τεχνίτη και υπάρχει ταυτόχρονη εκτέλεση εργασιών.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας το διάγραμμα ροής των εργασιών στην παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία και πραγματοποιώντας παραμετρική ανάλυση, παρουσιάζεται η εξάρτηση του χρόνου περάτωσης των εργασιών σε συνάρτηση με το πλήθος των διαθέσιμων πόρων (αριθμός τεχνιτών). Παρατηρείται, ότι με μικρή αύξηση των διαθέσιμων πόρων, σημειώνεται σημαντική μείωση του χρόνου περάτωσης των εργασιών στο ένα τρίτο του αρχικού χρόνου. Στην περίπτωση μάλιστα που υπάρχουν 21 διαθέσιμοι τεχνίτες αντί για έναν παρατηρείται δραματική μείωση του χρόνου σε 644 min αντί για 10 ημέρες. Η μείωση αυτή είναι εφικτή κυρίως από το γεγονός ότι στην περίπτωση που υπάρχουν 21 διαθέσιμοι τεχνίτες, οι 21 δραστηριότητες που δεν έχουν άλλες προαπαιτούμενες εργασίες μπορούν να εκτελεστούν όλες παράλληλα με αποτέλεσμα να έχουμε σημαντική μείωση του χρόνου περάτωσης των εργασιών.

Βασική παράμετρο στις αναλύσεις της παρούσας έρευνας αποτέλεσε το γεγονός ότι κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί αποκλειστικά από έναν μόνο τεχνίτη κάθε φορά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε στο μέλλον η εξερεύνηση της μείωσης του χρόνου περάτωσης των εργασιών στην περίπτωση που κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί συνδυαστικά από περισσότερους από έναν τεχνίτες, εκμεταλλευόμενοι την θεωρία του “scheduling”.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Ερευνητικό Πλαίσιο .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Άρματος Leopard 1A5.....	1
1.1.2 Διαδικασίες Προληπτικής Συντήρησης του άρματος Leopard 1 A5 .....	11
<b>1.2 Δομή της Εργασίας.....</b>	<b>17</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Αναδρομή στη Βιβλιογραφία .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Στρατιωτικοί Ερευνητικοί Φορείς.....</b>	<b>21</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μορφοποίηση Προβλήματος .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Περιγραφή Προβλήματος.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Διάγραμμα Ροής Εργασιών .....</b>	<b>28</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ανάπτυξη Αλγορίθμου Προγραμματισμού Εργασιών .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο Αλγορίθμου.....</b>	<b>31</b>
4.1.1 Τεχνικές Διαχείρισης Εργασιών.....	31
4.1.2 Τεχνικές PERT/CPM.....	32
4.1.3 Κατασκευή Δικτύου Εργασιών .....	34
4.1.4 Τεχνική Αποτίμησης και Αναθεώρησης Προγράμματος (PERT) .....	36
4.1.5 Μέθοδος της Κρίσιμης Διαδρομής (CPM) .....	38
4.1.6 Γραμμικός Προγραμματισμός μια προσέγγιση για την CPM ανάλυση.....	39
<b>4.2 Μαθηματική Διατύπωση Προβλήματος .....</b>	<b>40</b>
4.2.1 Ορισμός των Μεταβλητών του Προβλήματος .....	40
4.2.2 Αντικειμενική Συνάρτηση .....	44
4.2.3 Περιορισμοί .....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Πειραματικές Αναλύσεις.....</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Πειραματική Ανάλυση με 1 Διαθέσιμο Πόρο για κάθε εργασία.....</b>	<b>49</b>
<b>5.2 Διερεύνηση μείωσης διαθέσιμων πόρων και χρόνου περάτωσης εργασιών.....</b>	<b>50</b>
5.2.1 Διερεύνηση μέχρι τον κόμβο 49.....	50
5.2.2 Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 40.....	52
5.2.3 Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 62.....	53
5.2.4 Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 81 .....	54
<b>5.3 Εξάρτηση του χρόνου περάτωσης των εργασιών από τους διαθέσιμους πόρους .....</b>	<b>55</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα.....</b>	<b>57</b>
<b>6.1 Συμπεράσματα.....</b>	<b>57</b>
<b>6.2 Μελλοντική Έρευνα .....</b>	<b>58</b>
6.2.1 ROT Αλγόριθμος .....	59
6.2.2 ACTIM Κριτήριο .....	63

6.2.3	ACTRES και TIMRES Κριτήρια.....	63
<b><i>Παράρτημα</i></b>	.....	<b>65</b>
<b><i>Βιβλιογραφία</i></b>	.....	<b>78</b>

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>ΕΙΚΟΝΑ 1.1:</b> ΠΑΝΟΡΑΜΙΚΟ ΠΕΡΙΣΚΟΠΙΟ ΑΡΧΗΓΟΥ TRP .....	2
<b>ΕΙΚΟΝΑ 1.2:</b> ΚΑΘΕΤΗ ΤΟΜΗ ΤΟΥ ΑΡΜΑΤΟΣ LEOPARD 1 A5.. .....	3
<b>ΕΙΚΟΝΑ 1.3:</b> ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ LEOPARD 1 MTU MB 838 Ca M500.....	4
<b>ΕΙΚΟΝΑ 1.4:</b> ΑΡΜΑ ΜΑΧΗΣ LEOPARD 1A5 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΕΙ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΠΛΩΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ.....	5
<b>ΕΙΚΟΝΑ 1.5:</b> ΤΑ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΑ ΤΟΥ ΠΥΡΟΒΟΛΗΤΗ ΤΟΥ ΑΡΜΑΤΟΣ LEOPARD 1 A5.....	6
<b>ΕΙΚΟΝΑ 1.6:</b> ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΚΩΛΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ LEOPARD 1 A5.. .....	7
<b>ΕΙΚΟΝΑ 1.7:</b> ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΚΩΛΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ LEOPARD 1 A5.. .....	7
<b>ΕΙΚΟΝΑ 1.8:</b> LEOPARD 1 A5.. .....	8
<b>ΕΙΚΟΝΑ 3.1:</b> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.. .....	30
<b>ΕΙΚΟΝΑ 5.1:</b> ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ.....	49
<b>ΕΙΚΟΝΑ 5.2:</b> ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	50



## ΛΙΣΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

<b>ΓΡΑΦΗΜΑ 5.1:</b> ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ 49. ....	51
<b>ΓΡΑΦΗΜΑ 5.2:</b> ΔΙΑΠΕΡΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 40. ....	52
<b>ΓΡΑΦΗΜΑ 5.3:</b> ΔΙΑΠΕΡΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 40 ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΠΟΡΟΥ. ....	53
<b>ΓΡΑΦΗΜΑ 5.4:</b> ΔΙΑΠΕΡΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 62. ....	53
<b>ΓΡΑΦΗΜΑ 5.5:</b> ΔΙΑΠΕΡΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 62 ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΠΟΡΟΥ. ....	54
<b>ΓΡΑΦΗΜΑ 5.6:</b> ΔΙΑΠΕΡΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 81. ....	54
<b>ΓΡΑΦΗΜΑ 5.7:</b> ΔΙΑΠΕΡΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 81 ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΠΟΡΟΥ. ....	55
<b>ΓΡΑΦΗΜΑ 5.8:</b> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΕΡΑΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΠΟΡΩΝ. ....	56

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1:</b> ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ .....	12
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1:</b> ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΑΡΜΑΤΟΣ LEOPARD 1 A5 .....	24
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2:</b> ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΑΡΜΑΤΟΣ LEOPARD 1 A5 .....	26
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3:</b> ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΑΡΜΑΤΟΣ LEOPARD 1 A5 .....	24
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4:</b> ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΡΜΑΤΟΣ LEOPARD 1 A5 .....	28
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1:</b> ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ .....	40
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1:</b> ΧΡΟΝΟΣ ΠΕΡΑΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΠΟΡΩΝ. ....	56
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1:</b> ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 6.1 ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ROT ΤΙΜΗ .....	62
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2:</b> ΕΦΑΡΜΟΓΗ ROT ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 6.1 .....	63
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3:</b> ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 6.1 ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ACTIM ΤΙΜΗ.....	64

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

### 1.1 Ερευνητικό Πλαίσιο

#### 1.1.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Άρματος Leopard 1A5

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία ερευνάται το πρόβλημα του προγραμματισμού των εργασιών προληπτικής συντήρησης δευτέρου κλιμακίου του άρματος Leopard 1A5. Το πρόβλημα αυτό περιλαμβάνει την ικανοποίηση συγκεκριμένων απαιτήσεων σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές που υπάρχουν, και στόχος είναι η ολοκλήρωση των εργασιών στο μικρότερο χρονικό διάστημα και με τους λιγότερους δυνατούς πόρους.

Το άρμα μάχης Leopard 1 A5 ([35], [36]) είναι ένα μέσο άρμα μάχης. Είναι ένα ερπυστριοφόρο όχημα με πύργο, υδραυλικά ή χειροκίνητα περιστρεφόμενο κατά 360° .

Το πλήρωμα του αποτελείται από 4 άτομα. Η θέση του αρχηγού πληρώματος (Αρχηγός Πληρώματος Μέσου Άρματος – ΑΠΜΑ) του πυροβολητή (Πυροβολητής Ασυρματιστής Μέσου Άρματος ΠΑΜΑ) και του γεμιστή (Γεμιστής Μέσου Άρματος ΓΕΜΑ) βρίσκονται στο πύργο, ενώ αυτή του οδηγού (Οδηγός Μέσου Άρματος ΟΔΜΑ), είναι μπροστά και δεξιά στο σκάφος.

Το άρμα μάχης Leopard 1 A5 χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την αντιμετώπιση θωρακισμένων στόχων, μέσω του πυροβόλου των 105 mm, και για

την αντιμετώπιση χερσαίων και εναέριων στόχων, μέσω του συζυγούς και του αντιαεροπορικού πολυβόλου.



**Εικόνα 1.1:** Πανοραμικό περισκόπιο αρχηγού TRP.

Ο οπλισμός αποτελείται από ένα πυροβόλο 105 χιλ., ένα ομοαξονικό συζυγές πολυβόλο 7.62 χιλ, ένα αντιαεροπορικό πολυβόλο 7.62 χιλ και 8 συσκευές εκτόξευσης καπνογόνων των 77 χιλ. Επίσης μεταφέρει 55 βλήματα των 105 χιλ , 13 στο πύργο και 42 στο σκάφος. Ακόμη, διαθέτει ένα σύνολο 5500 φυσιγγίων 7.62χιλ, 16 καπνογόνα διαμετρήματος 77 χιλ. και 4 χειροβομβίδες. Το κύριο σκοπευτικό του είναι το EMES 18, έχει μεγέθυνση 12X και οπτικό πεδίο περίπου 5 μοίρες.

Το άρμα είναι εξοπλισμένο με θερμικό περισκόπιο. Το θερμικό περισκόπιο είναι ένα όργανο παρακολούθησης και σκόπευσης σε περίπτωση περιορισμένης ορατότητας, όπως επίσης και κατά παραλλαγμένων στόχων, σε επιχειρήσεις ημέρας και νυχτερινές επιχειρήσεις. Το θερμικό περισκόπιο είναι ενσωματωμένο στο σύστημα ελέγχου πυρός του άρματος, έχει Μεγέθυνση 12X στο μικρό πεδίο 4X στο μεγάλο.



**Εικόνα 1.2:** Κάθετη Τομή του άρματος Leopard 1 A5.

Ο ΑΜΠΙΑ έχει στη διάθεση του το πανοραμικό περισκόπιο TRP 5A, είναι ένα μονοαξονικό οπτικό όργανο παρατήρησης και βολής, με περιοχή μετρήσεως από 600 μέχρι 3000 μέτρα, είναι ανεξάρτητο από το κύριο σκοπευτικό όργανο και είναι στον αποκλειστικό χειρισμό του ΑΠΜΑ.

Σε περίπτωση πορείας υπό ανεπαρκή φωτισμό σε συνθήκες μάχης, εάν απαιτείται το κεντρικό περισκόπιο του ΟΔΜΑ, αντικαθιστάται με ένα παθητικό περισκόπιο. Το παθητικό περισκόπιο του ΟΔΜΑ, υπό κανονικές συνθήκες επιτρέπει την νυχτερινή κίνηση του άρματος μάχης εκμεταλλευόμενο την υπολειπόμενη φωτεινότητα, χωρίς να απαιτείται φωτισμός του δρόμου.



**Εικόνα 1.3:** Κινητήρας Leopard 1 MTU MB 838 Ca M500.

Το σκάφος του άρματος διαιρείται, από ένα διαχωριστικό τοίχωμα αεροστεγώς και υδατοστεγώς, στο διαμέρισμα συγκροτήματος ισχύος και στο διαμέρισμα μάχης. Το διαμέρισμα συγκροτήματος ισχύος περιέχει βασικά, απαραίτητα για την κίνηση του άρματος συγκροτήματα, συμπεριλαμβανομένων και των δύο δεξαμενών καυσίμου συνολικής χωρητικότητας 985 λίτρων.

Το άρμα μάχης Leopard 1 κινείται από ένα υδρόψυκτο δεκακυλινδρο τετράχρονο κινητήρα V 90 πετρελαίου MTU MB 838 Ca M500 – 830 ίππων με μηχανικούς υπερσυμπιεστές, ο οποίος μεταβιβάζει την ισχύ του στο κιβώτιο ταχυτήτων και κιβώτιο διεύθυνσης και από εκεί, μέσω ακραίων μεταδόσεων, στο σύστημα ανάρτησης. Ο κινητήρας, το κιβώτιο μετάδοσης και το σύστημα ψύξης είναι συμπτυγμένα σε ένα συγκρότημα ισχύος που μπορεί να αντικατασταθεί γρήγορα στο πεδίο της μάχης.

Η οδήγηση του άρματος πραγματοποιείται με την βοήθεια του κιβωτίου ταχυτήτων και του κιβωτίου διεύθυνσης.





**Εικόνα 1.4:** Άρμα μάχης Leopard 1A5 πραγματοποιεί διέλευση πλωτής γέφυρας RIBBON στο Κέντρο Εκπαίδευσης Πλωτών Μέσων (ΚΕΠΜ) τον Ιούλιο 2010, στην Περιοχή Ευθύνης της XII Μηχανοκίνητης Μεραρχίας Πεζικού στο Δέλτα του Ποταμού Έβρου.

Στο άρμα μάχης είναι εγκατεστημένος ένας σειριακός επιλογέας ταχυτήτων δύο μοχλών. Το άρμα ακινητοποιείται με την βοήθεια υδραυλικά ενεργοποιούμενων δισκοφρένων, τα οποία βρίσκονται στον αριστερό και δεξιό κινητήριο τροχό. Το χειρόφρενο δρα μηχανικά πάνω στα δισκόφρενα του υδραυλικού συστήματος. Το άρμα διαθέτει σύστημα θέρμανσης, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα θέρμανσης των διαμερισμάτων μάχης και οδηγού και προθέρμανσης του κινητήρα (ψυκτικό υγρό και λιπαντικό κινητήρα).

Τυχόν πυρκαγιές στο διαμέρισμα ισχύος εξουδετερώνονται αυτόματα από ένα σύστημα προειδοποίησης και κατάσβεσης πυρκαγιάς. Το σύστημα λειτουργεί με άζωτο και ενεργοποιείται αυτόματα ή χειροκίνητα, διαθέτει 4 στατικές πυροσβεστικές φιάλες 7,5 κιλά έκαστη.

Το αυτόματο σύστημα προειδοποίησης και κατάσβεσης πυρκαγιάς προστατεύει το άρμα από βλάβες σε περίπτωση πυρκαγιάς ή ακόμα και κατά την εμφάνιση υψηλών θερμοκρασιών στο χώρο του κινητήρα. Αυτό γίνεται με μια αυτόματη διαδικασία πυρόσβεσης.

Σε περίπτωση πορείας με κλειστές θυρίδες, η παρατήρηση πραγματοποιείται με τα περισκόπια περίπτωση εξωτερικής ρύπανσης, τα περισκόπια στη θέση του ΟΔΜΑ μπορούν να καθαριστούν με το σύστημα καθαρισμού περισκοπίων, η χωρητικότητα του οποίου είναι 35 λίτρα νερού περίπου.

Για την προστασία από ατομικά, βιολογικά και χημικά όπλα είναι εγκατεστημένο ένα σύστημα αερισμού και προστασίας ΧΒΡΠ.



**Εικόνα 1.5:** Τα χειριστήρια του πυροβολητή του άρματος Leopard 1 A5.

Μετά από σύντομη προετοιμασία μπορεί να γίνει διάβαση υδάτινων κωλυμάτων βάθους έως 1.20 μ. Μετά από τοποθέτηση του εξοπλισμού μπορεί να γίνει διάβαση βαθέων υδάτινων κωλυμάτων βάθους 2.25 μ, έως την άνω ακμή του πύργου, ή με τη χρήση του πρόσθετου εξοπλισμού, υποβρύχια διέλευση υδάτινων κωλυμάτων βάθους έως 4.00μ. Το διαρρέον νερό που έχει εισχωρήσει στο άρμα ωθείται προ τα έξω από δύο ηλεκτροκίνητες αντλίες εκκένωσης ύδατος μεγίστη παροχή ύδατος 120 λίτρα /λεπτό. Μετά τη διέλευση υδάτινων κωλυμάτων το άρμα μάχης Leopard 1 είναι πάλι αμέσως έτοιμο προς μάχη.





**Εικόνα 1.6:** Διέλευση Υδάτινου κωλύματος από Leopard 1 A5 της 16ης ΕΜΑ.



**Εικόνα 1.7:** Πλήρωμα άρματος μάχης Leopard 1A5 πραγματοποιεί διάβαση υδατίνου κωλύματος με την χρήση συσκευής SNORKEL.

Ακολούθως παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά του άρματος Leopard 1 A5 όσον αφορά τις διαστάσεις του οχήματος, το βάρος, τις επιδόσεις του άρματος, την κατανάλωση, τον κινητήρα, το σύστημα καυσίμου, το σύστημα ψύξης, το ηλεκτρικό σύστημα, το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης και το σύστημα ανάρτησης.



**Εικόνα 1.8:** Leopard 1A5

#### Διαστάσεις οχήματος

- Μήκος με πυροβόλο σε θέση πορείας «Ωρα 6»: 8,29m
- Πλάτος: 3,37m
- Ύψος: (με κεραία): 4,80m

#### Βάρη

- Απόβαρο: 40200 kg
- Βάρος σε κατάσταση μάχης: 42200 kg
- Επιτρεπτό μικτό βάρος: 42800 kg
- Συγκρότημα Ισχύος: (έτοιμο προς λειτουργία): 4700 kg
- Ειδική ασκούμενη πίεση στο έδαφος σε κατάσταση μάχης: 8,8 N/cm<sup>2</sup>

#### Επιδόσεις άρματος

### Μέγιστη ταχύτητα

- (Με αριθμό στοφών κινητήρα = 2200 ΣΑΛ) : 62 km/h
- Μέγιστη ταχύτητα όπισθεν 2η ταχύτητα: 24 km/h

### Ελάχιστη ταχύτητα κίνησης

- (1η ταχύτητα, μετατροπéας ροπής στρέψης, αριθμός στροφών στο ρελαντί): 4 km/h
- Ακτίνα στροφής κατά την περιστροφή γύρω από τον κατακόρυφο άξονα (επιτόπια στροφή) με πύργο (σε θέση «Ωρα 6»): 4,96 μέτρα.

### Κατανάλωση

- Μέση κατανάλωση καυσίμου (στο δρόμο και σε ανώμαλο έδαφος): περίπου 350 λίτρα/ 100km

### Ικανότητα κίνησης σε ανώμαλο έδαφος

- Ικανότητα υπέρβασης κατακόρυφου εμποδίου: μέγ. 1,15 m
- Διαβατό πλάτος τάφρου: μεγ. 2,5 m
- Αναρριχητική ικανότητα (μέγιστη κλίση εδάφους): 60%
- Μέγιστη πλάγια κλίση: 30%
- Διάβαση υδάτινου κωλύματος χωρίς προετοιμασία: μεγ. 1,2m
- Διάβαση βαθέος υδάτινου κωλύματος με εξοπλισμό διάβασης βαθέος υδατίνου κωλύματος: μεγ 2,25 m
- Υποβρύχια διέλευση υδάτινου κωλύματος με πρόσθετο εξοπλισμό: μεγ 4,0m

### Κινητήρας

- Τύπος κατασκευής: Mb 838 CaM-500
- Είδος: Δεκακύλινδρος τετράχρονος κινητήρας V 90ο πολλαπλών καυσίμων με προθάλαμο και μηχανικούς υπερσυμπιεστές
- Κυλινδρισμός (χωρητικότητα κυλίνδρων): 37,4 λίτρα
- Ισχύς σε αριθμό στροφών 2200 ΣΑΛ: 610 kW
- Μέγιστος αριθμός στροφών υπό πλήρες φορτίο (ονομαστικό αριθμός στροφών): 2200 ΣΑΛ
- Αριθμός στροφών ρελαντί χωρίς φορτίο με ανεμιστήρα: 820-880 ΣΑΛ

- Είδος καυσίμου: F-54

#### Σύστημα καυσίμου

- Σύνολο καυσίμου: 985 λίτρα
- Δεξιά δεξαμενή καυσίμου: 475 λίτρα
- Αριστερή δεξαμενή καυσίμου: 480 λίτρα
- Δεξαμενή τροφοδότησης καυσίμου: περίπου 30 λίτρα

#### Σύστημα ψύξης

- Ψυγείο: 2 σωληνοειδή ψυγεία
- Ποσότητα ψυκτικού υγρού: 165 λίτρα
- Ρυθμιζόμενος ανεμιστήρας: Αξονικός ανεμιστήρας ρυθμιζόμενος με θερμοστάτη.

#### Ηλεκτρικό σύστημα

- Ονομαστική τάση και είδος ρεύματος: 24 V Συνεχές ρεύμα
- Τάση λειτουργίας: 24 – 28 V
- Γεννήτρια, ισχύς: 9 kW
- Συσσωρευτές: 8 τεμάχια
- Χωρητικότητα συσσωρευτή: 100 Ah
- Τάση συσσωρευτή: 12 V
- Συνολική χωρητικότητα στα 24 V: 400 Ah

#### Κιβώτιο μετάδοσης κίνησης

- Είδος: 4 HP 250, πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων και διεύθυνσης 4 ταχυτήτων με υδραυλικό μετατροπέα ροπής στρέψης.
- Αριθμός ταχυτήτων, μπροστά: 4
- Αριθμός ταχυτήτων, πίσω: 2

#### Σύστημα ανάρτησης

- Είδος του συστήματος ανάρτησης: Σύστημα ανάρτησης με ράβδους στρέψης, τροχούς υποστήριξης και αποσβεστήρες κραδασμών (αμορτισέρ)
- Αριθμός των ζευγών εδαφικών τροχών: 7 ανά πλευρά
- Αριθμός τροχών υποστήριξης: 4 ανά πλευρά

- Είδος ερπυστριών: Ερπύστρια με γέφυρες, αντικαταστάσιμους οδηγούς (δόντια) και πέλματα, 640 A.

### 1.1.2 Διαδικασίες Προληπτικής Συντήρησης του άρματος Leopard 1 A5

Προληπτική Συντήρηση ([26]) είναι η φροντίδα του προσωπικού που χρησιμοποιεί το τεχνικό υλικό για να το διατηρήσει σε ικανοποιητική κατάσταση λειτουργίας αφού ανακαλύψει με συστηματικές επιθεωρήσεις τις μικροβλάβες και τις επισκευάσει προτού εκδηλωθούν ή προτού εξελιχθούν σε σοβαρές.

Η συντήρηση διακρίνεται σε τρεις (3) κατηγορίες, ως εξής:

- α. Συντήρηση Μονάδας.
- β. Συντήρηση πεδίου ή Σχηματισμού.
- γ. Συντήρηση Βάσεως.

και περιλαμβάνει πέντε (5) Κλιμάκια: (1ο - 2ο - 3ο - 4ο - 5ο ) όπως αναλύεται στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα.

Η Π.Σ. θα λέγαμε ότι αποτελεί την καρδιά και την ψυχή ολόκληρου του συστήματος συντήρησης. Μια επιπόλαια θεώρηση του πολύπλοκου συστήματος συντήρησης θα μπορούσε αρχικά να δώσει την λαθεμένη εντύπωση ότι η συντήρηση εκ μέρους του χειριστή δεν είναι αναγκαία, ότι το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι να παύσει να λειτουργεί, στη συνέχεια δε η επισκευή του να ανατεθεί σε Συνεργεία ανωτέρου κλιμακίου. Αυτό αποτελεί όμως πλήρη αντίθεση προς την αρχή που το σύστημα αυτό υιοθετεί και κατά την οποία η Μονάδα οφείλει να φροντίζει για το υλικό της προκειμένου να αποφευχθεί πιθανή βλάβη του. Το σύστημα συντηρήσεως θα αποτύχει εντελώς ( και αυτό πολλές φορές συνέβη ) εάν το υλικό δεν έχει την αναμενόμενη και επιβαλλόμενη προσοχή από τον αντίστοιχο χειριστή, δηλαδή όταν δεν διατηρείται καθαρό, δεν λιπαίνεται με επιμέλεια, δεν συσφίγγεται ή δεν ρυθμίζεται συστηματικά. Ακόμη και οι μικροεπισκευές και αντιστάσεις μικροανταλλακτικών, που υπάγονται στην αρμοδιότητα του 2ου Κλιμακίου θεωρούνται σαν προληπτική συντήρηση, αφού έχουν σκοπό να προλάβουν πολύπλοκότερες βλάβες οι οποίες απαιτούν με την σειρά τους χρονοβόρες επισκευές και οι οποίες θα συνέβαιναν αν δεν είχαν πραγματοποιηθεί αυτές. Εάν θέλουμε να έχουμε αρμονία και ισορροπία στο σύστημα επισκευών

**Πίνακας 1.1:** Σύστημα Συντηρήσεως

Κατηγορίες	Κλιμάκια
<p><b>Συντήρηση Μονάδας</b></p> <p>Εκτελείται από το προσωπικό της Μονάδας και περιλαμβάνει Επιθεώρηση, καθαρισμό, παροχή απαιτούμενων υπηρεσιών, λίπανση, ρύθμιση και αντικατάσταση μικροανταλλακτικών όπως (π.χ. αναφλεκτήρων οχημάτων και λυχνιών Σ/Α )</p>	<p><b>ΠΡΩΤΟ</b></p> <p>Περιλαμβάνει τις εργασίες που εκτελούνται από τον αρμόδιο χειριστή ή από ολόκληρο το προσωπικό που χρησιμοποιεί το υλικό. Αποτελεί τη βάση της Π.Σ. και τον ποιο ασθενή κρίκο της αλυσίδας του συστήματος συντηρήσεως.</p> <p>Πρέπει να πραγματοποιείται κατά κανονικά διαστήματα και με συστηματικό Τρόπο. Σε πρώτη ένδειξη ανωμαλίας ο χειριστής είναι υποχρεωμένος να την αναφέρει στο ανάλογο Συνεργείο.</p>
	<p><b>ΔΕΥΤΕΡΟ</b></p> <p>Περιλαμβάνει τις εργασίες που εκτελούνται από τους ειδικευμένους Τεχνίτες της Μονάδας. Οι Τεχνίτες αυτοί είναι εφοδιασμένοι με όλα τα αναγκαία και απαραίτητα υλικά ελέγχου και ανταλλακτικά καθώς επίσης και με ειδικά εργαλεία. Αντικαθιστούν μικροανταλλακτικά και μικρά συγκροτήματα και εκτελούν περιοδικές επιθεωρήσεις και λιπάνσεις οι οποίες αποτελούν το δεύτερο ζωτικό σημείο της Π.Σ.</p>

θα πρέπει να υπάρχει κατανομή των αρμοδιοτήτων κάθε Κλιμακίου αναλογικά. Κανένας δεν περιμένει να εκτελέσει εργασία ανωτέρων Κλιμακίων, ούτε επίσης τα Συνεργεία των ανωτέρων Κλιμακίων να εκτελέσουν εργασία κατωτέρων κλιμακίων.

Η Π.Σ. αποτελεί θέμα τακτικής ανάγκης. Η εκτέλεση της τακτικής σας αποστολής απαιτεί άνδρες και υλικό. Με την έλλειψη ενός από τους δύο αυτούς παράγοντες δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί νίκη.

Υπάρχει μία τάση να θεωρείται η συντήρηση ανεξάρτητη της εκπαίδευσεως και της Διοικήσεως του προσωπικού. Αυτό δεν είναι σωστό. Πρέπει να θεωρούμε τον στρατιώτη και το υλικό του σαν ένα ενιαίο σύνολο, δηλαδή την Ομάδα, Προσωπικό - Μηχανή. Εάν το ένα σκέλος της Ομάδας αυτής που λέγεται άνθρωπος-μηχανή δεν διατηρείται σε κατάσταση αποδοτικής λειτουργίας τότε η Ομάδα σαν σύνολο υπολειτουργεί και θα αποτύχει. Το υλικό δεν πρόκειται να είναι αξιόπιστο χωρίς αποτελεσματική Π.Σ. Η επιτυχία ή αποτυχία στον αγώνα εξαρτάται από την εμπιστοσύνη που έχετε προς τη νίκη και από την συντήρηση 1ου και 2ου Κλιμακίου. Ένα άρμα το οποίο δεν μπορεί να κινηθεί ή να λειτουργήσει κανονικά αποτελεί ένα ανυπέρβλητο εδαφικό κώλυμα, σίγουρα ανεπιθύμητο. Μία βλάβη στον ασύρματο που οφείλεται στην πλημμελή συντήρηση, σημαίνει απώλεια ελέγχου και επαφής με τα υφιστάμενα ή προϊστάμενα Κλιμάκια σας. Για κάθε απώλεια υλικού από τις εχθρικές ενέργειες στον αγώνα είμαστε προετοιμασμένοι. Κάθε απώλεια υλικού όμως που οφείλεται σε κακή λίπανση ή γενικότερα πλημμελή συντήρηση είναι απαράδεκτη και ασυγχώρητη.

Ένας άλλος σοβαρός παράγοντας που επιβάλλει τη συστηματική Π.Σ. είναι ο οικονομικός. Η άποψη της δημιουργίας μίας Κεντρικής Υπηρεσίας η οποία θα μεριμνήσει για τη συντήρηση του υλικού, μόνο σε ώρα ανάγκης, δεν είναι εφαρμόσιμη σήμερα. Επειδή δε κανείς δεν μπορεί να προβλέψει την ώρα της ανάγκης γενικής κινητοποιήσεως της δύναμης του Στρατού μας, θα πρέπει το υλικό να είναι έτοιμο για χρησιμοποίηση ανά πάσα στιγμή που θα απαιτηθεί και όχι να είναι παραμελημένο με φθορές και βλάβες.

Η ανάγκη της προπαρασκευής και της απαιτούμενης για πόλεμο ετοιμότητας επιβαρύνει σήμερα το Δημόσιο προϋπολογισμό υπέρογκα. Κατά συνέπεια η οικονομία της Χώρας μας δεν μπορεί να αντέξει στη σοβαρή αυτή επιβάρυνση εκτός εάν το δαπανηρό αυτό υλικό διατηρηθεί στην όσο δυνατόν γίνεται καλύτερη κατάσταση. Τούτο βέβαια προϋποθέτει την ανάγκη εφαρμογής ενός σωστού συστήματος Π.Σ.

Υπάρχει μία τάση να θεωρούμε ότι η Π.Σ. αναφέρεται στο Τεχνικό υλικό, ιδιαίτερα δε στα οχήματα. Η αντίληψη αυτή βασίζεται στο ότι το Τεχνικό υλικό αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό του υλικού του Στρατού από άποψης όγκου, δαπάνης και πολύπλοκης συνθέσεως. Παράλληλα πρέπει να αναγνωρίζουμε ότι όλο το υλικό του Στρατού πρέπει να υφίσταται προληπτική συντήρηση. Τα μικρού μεγέθους ή κόστους υλικά στο Στρατό χορηγούνται σε αρκετά μεγάλες ποσότητες και κατά συνέπεια Σα σύνολο επιβαρύνουν σημαντικά το προϋπολογισμό της Χώρας. Η αποδοτικότητα του οπλίτη γενικότερα στηρίζεται στην καλή χρήση και σωστή συντήρηση αυτών.

Λαμβάνοντας υπόψη τις σημαντικές δαπάνες του Στρατού, οφείλουμε να αναγνωρίζουμε ότι αυτές αποτελούν σοβαρή επιβάρυνση στο Δημόσιο προϋπολογισμό και επιδρούν γενικότερα στην οικονομική ζωή της Χώρας. Έτσι λοιπόν θα πρέπει να διατηρούμε το υλικό κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο με την εφαρμογή ενός σωστού και αποτελεσματικού συστήματος προληπτικής Συντήρησης.

Η Π.Σ. αποτελεί ένα μεγάλο και συνεχές πρόβλημα. Αναγνωρίζουμε όλοι ότι επί του υλικού συμβαίνουν διάφορα μηχανικά ελαττώματα, ότι το υλικό είναι σύνθετο, ότι η λειτουργία του - η επιθεώρηση του και οι επισκευές του απαιτούν επιδεξιότητα, χρόνο, επιμονή και υπομονή. Επίσης είναι γνωστό ότι κάθε απρόσεκτος χειριστής, οδηγός ή τεχνίτης είναι δυνατόν να δημιουργήσει με μία λανθασμένη ενέργεια (εργασία ή χειρισμό) ζημιά σημαντική μεταφραζόμενη σε χιλιάδες δραχμές και επιπρόσθετη εργασία πολλών ωρών. Μία επίσης βασική δυσκολία της προληπτικής συντήρησης δημιουργείται από την ίδια την φύση της, δεδομένου ότι αυτή έχει απαιτήσεις, που για ψυχολογικές αιτίες, δεν μπορούμε να τις ικανοποιήσουμε.

Βασικός κατά την διαδικασία της προληπτικής συντήρησης είναι ο ρόλος του τεχνίτη. Μια τάση που υπάρχει συνήθως, να αποδίδουμε στον Τεχνίτη την αποτυχία του υλικού αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα και δηλώνει πρόθεση μεταφοράς ευθύνης του Διοικητή προς το προσωπικό του. Εάν επιθυμείτε αποτελεσματική Π.Σ. βασικό είναι να τοποθετείτε την ευθύνη εκεί που πράγματι ανήκει. Χρησιμοποιήστε τους Τεχνικούς βοηθούς σας προκειμένου να σας προσφέρουν τεχνικές οδηγίες και εισηγήσεις που αφορούν στο πρόγραμμα Π.Σ., για να σας βοηθήσουν στην προπαρασκευή και εκτέλεση της εκπαίδευσής επί της Π.Σ. αλλά χωρίς φυσικά να αναλάβουν την Διοικητική σας ευθύνη. Αυτό οδηγεί πολλές φορές σε μια κοινή παρανόηση. Το Τεχνικό σας προσωπικό, έχει οπωσδήποτε μία πρόσθετη ευθύνη για τη συντήρηση, αφού είναι υπεύθυνο,



άσχετα από τα άλλα Τεχνικά καθήκοντά του, και για την Π.Σ. του υλικού της Μονάδας στην οποία ανήκει.

Η παραμέληση της συντηρήσεως των εργαλείων και συσκευών μπορεί να έχει βλαβερά αποτελέσματα πάνω στην προληπτική συντήρηση του υλικού της Μονάδας.

Όσον αφορά την εκπαίδευση των τεχνιτών, τα μέσα με τα οποία υπάρχει δυνατότητα να εκπαιδευθεί το προσωπικό συντηρήσεως του υλικού στο Στρατό είναι:

(1) Τα Ειδικά Σχολεία

(2) Τα Σχολεία των Μονάδων

(3) Πρακτική εφαρμογή κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Ιδανικό θα ήταν η εκπαίδευση όλων να πραγματοποιηθεί στα Ειδικά Σχολεία, όμως αυτό είναι αρκετά δύσκολο αφού δεν μπορεί αφ' ενός μεν το Ειδικό Σχολείο να περιλάβει όλους τους Τεχνίτες, αφ' ετέρου δεν μπορεί να απομακρυνθεί όλη η δύναμη ταυτόχρονα από την Υπηρεσία της.

Οι επιλεγόμενοι να εκπαιδευθούν στα Ειδικά Σχολεία θα πρέπει να έχουν σχέση με την ειδικότητά τους, να είναι νοήμονες, να έχουν θέληση για μάθηση και να είναι ικανοί με την επιστροφή τους να μεταδώσουν και στους υπολοίπους τις Τεχνικές επιδεξιότητες που έμαθαν στα Σχολεία. Με την αποφοίτηση των ειδικών σχολείων θα πρέπει οι εκπαιδευθέντες να εκτελέσουν και πρακτική εργασία προκειμένου αυτοί να αποκτήσουν και πείρα εκτός από την εμπέδωση των θεωρητικών γνώσεων. Η νοοτροπία μερικών Διοικητών να στέλνουν στα ειδικά σχολεία τους πλέον ακατάλληλους, μόνο λαθεμένα οικονομικά αποτελέσματα και πτώση του επιπέδου της Π.Σ. μπορεί να επιφέρουν. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η εκπαίδευση δεν πρέπει να εξαρτάται από την διάθεση των εκπαιδευομένων. Αξ/κοί και Οπλίτες θα πρέπει να αντιληφθούν τη σοβαρότητα της εκπαίδευσής και να αποδίδουν την ανάλογη βαρύτητα, γόητρο, αξία και επιμέλεια για την επιτυχία γενικότερα του σκοπού αυτής.

Όπως αναφέρθηκε, εκπαίδευση μπορεί να πραγματοποιηθεί και κατά τη διάρκεια της εργασίας. Η εκπαίδευση αυτή έχει πάντοτε καλύτερα αποτελέσματα παρόλο που είναι λιγότερο συστηματική, απαιτεί επίβλεψη από αρμόδιους και συντονισμό ώστε να επιτυγχάνονται ταυτόχρονα όλοι οι στόχοι. Δεν θα πρέπει να γίνεται παρερμηνεία στη μέθοδο αυτή από τους εκπαιδευόμενους, δηλαδή δεν πρέπει λόγω του συναισθήματος της περιέργειας ή της κακής συνήθειας να αποσυναρμολογούμε ή να επιφέρουμε ζημιές στα χρησιμοποιούμενα υλικά

ενεργώντας αυθόρμητα και χωρίς την εποπτεία κάποιου αρμοδίου. Οι γνώσεις μεταδίδονται με αυτή τη μέθοδο όταν η εργασία γίνεται κάτω από την επίβλεψη ειδικευμένου προσωπικού που είναι υπεύθυνο να μεταδίδει γνώσεις και πείρα στους εκπαιδευόμενους.

Προκειμένου να εκτελέσουμε το έργο της συντηρήσεως διαφόρων ειδών υλικού έτσι ώστε να επιτύχουμε τα πλέον καλύτερα και αποδοτικότερα αποτελέσματα θα πρέπει να κατανέμουμε χρονικά τις διάφορες φάσεις αυτής π.χ. ο στρατιώτης μπορεί να γυαλίζει τα άρβυλά του σε 5 λεπτά της ώρας ή να συντηρεί το όπλο του εντός 15- 20 λεπτών. Η διεργασία καταμερισμού απαιτεί μεγάλη εμπειρία και οι ασχολούμενοι μ' αυτή πρέπει να λάβουν υπόψη αναλυτικά όλους τους επιδρώντες παράγοντες. Ο χρόνος για κάθε δραστηριότητα συντηρήσεως μπορεί να εκτιμηθεί και αφορά τα αντίστοιχα προς συντήρηση υλικά.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο καταμερισμός χρόνου για Π.Σ. εξαρτάται από το είδος και την πολυπλοκότητα του υλικού. Αρκετός χρόνος για Π.Σ. θα πρέπει να προβλέπεται για τα πλέον χρησιμοποιούμενα κύρια υλικά. Το πρόγραμμα Εκπ/σεως για την Π.Σ. προβλέπει ότι αυτή θα πρέπει να πραγματοποιείται, κάτω από κανονικές συνθήκες, κατά τη διάρκεια της Υπηρεσίας των αρμοδίων. Ο χρόνος αυτός πρέπει να είναι κατάλληλος τόσο από πλευράς μεγέθους ημερησίως όσο και συνολικού μεγέθους, προκειμένου να έχουμε τελικά τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα στην Π.Σ. των υλικών. Σύμφωνα με το πρόγραμμα λοιπόν η εκπαίδευση στην Π.Σ. πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια των προβλεπομένων ωρών υπηρεσίας. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου έχουμε εκπ/ση στην Π.Σ. εκτός των ωρών υπηρεσίας. Τούτο συμβαίνει όταν διάφοροι λόγοι το επιβάλλουν, τέτοιοι λόγοι είναι, λόγοι εκτάκτου ανάγκης, πειθαρχικοί λόγοι, λόγω διαπιστωμένης πλημμελούς συντηρήσεως υλικών ή συμπληρωματικής εκπαίδευσης προσωπικού που απέτυχε στο καθήκον του.

Κάθε φορά που επιχειρούμε να συντηρήσουμε το υλικό χωρίς να χρησιμοποιούμε τα απαραίτητα και ειδικά εργαλεία, τα αντίστοιχα ανταλλακτικά και άλλα κατάλληλα μέσα, ενεργούμε άσκοπα και χωρίς επιτυχία, Τα Ανεφοδιαστικά Όργανα σας εφοδιάζουν με τα αναγκαία εργαλεία και ανταλλακτικά ώστε να εκτελεσθεί η συντήρηση του υλικού της Μονάδας σας στο βαθμό που πρέπει. Είναι φανερό ότι τα παρεχόμενα σε σας ανταλλακτικά και εργαλεία προκαθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη συντήρηση των υλικών, για τα οποία η Μονάδα σας είναι υπεύθυνη.

Η λαϊκή παροιμία λέει "Των φρονίμων τα παιδιά πριν πεινάσουν μαγειρεύουν". Η ύπαρξη ανταλλακτικών είναι ζωτικής σημασίας. Ο εφοδιασμός αυτών από την

Υπηρεσία ή το εμπόριο δεν πρέπει να γίνεται όταν διαπιστώνεται η ανάγκη χρήσεως, γιατί αυτό και δύσκολο πολλές φορές είναι και χρονοβόρο. Θα πρέπει να υπάρχει το λεγόμενο απόθεμα ανταλλακτικών. Αυτό θα πρέπει να δημιουργηθεί με κριτήρια την πείρα των ανταλλακτικών που συνήθως χρειάζονται κατά καιρούς και τη συχνότητα εμφανίσεως ανάγκης αλλαγής αυτών στα αντίστοιχα μηχανήματα. Θα πρέπει λοιπόν κάθε στιγμή που θα ζητηθεί να υπάρχει η απαιτούμενη ποσότητα αυτών σε αντίστοιχες αποθήκες εφοδιασμού, όπως προβλέπεται από τα Τεχνικά Εγχειρίδια και ισχύουσες Διαταγές.

## 1.2 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία είναι δομημένη ως εξής:

**Κεφάλαιο 1:** Στο πρώτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται το ερευνητικό πλαίσιο μέσα στο οποίο αναπτύχθηκε η παρούσα εργασία, όπως επίσης περιγράφεται αναλυτικά η οργάνωση της δομής της. Επίσης στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται με λεπτομέρεια τα τεχνικά χαρακτηριστικά του άρματος Leopard 1 A5. Τέλος, περιγράφεται λεπτομερώς η διαδικασία συντήρησης του άρματος Leopard 1A5, ο προγραμματισμός και της οποίας αποτελεί το αντικείμενο έρευνας της παρούσας εργασίας.

**Κεφάλαιο 2:** Το Κεφάλαιο αυτό παραθέτει ορισμένες ερευνητικές προσπάθειες που εστιάζουν σε προβλήματα παρόμοια με αυτό που εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Αναφέρονται δημοσιεύσεις που αφορούν σε προβλήματα προγραμματισμού εργασιών συντήρησης που λαμβάνουν χώρα στις Ένοπλες Δυνάμεις. Τέλος, μέσα από την βιβλιογραφική ανασκόπηση καταδεικνύεται η πρωτοτυπία της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας.

**Κεφάλαιο 3:** Στο Κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η σημασία του προβλήματος του προγραμματισμού των εργασιών προληπτικής συντήρησης δευτέρου κλιμακίου του άρματος Leopard 1 A5 και καταδεικνύεται η αξία της επίλυσης του για μια συνηθισμένη Ίλη αρμάτων στον Ελληνικό Στρατό. Μέσα από το κεφάλαιο αυτό τονίζεται ότι έναυσμα για την διεξαγωγή της παρούσας εργασίας αποτελεί ο προγραμματισμός των εργασιών έτσι ώστε να εκτελούνται με τον βέλτιστο συνδυασμό και να έχουμε δραματική μείωση του χρόνου της διαδικασίας συντήρησης του άρματος Leopard 1 A5. Για τον σκοπό αυτό παρουσιάζονται λεπτομερώς σε πίνακες οι εργασίες συντήρησης του σκάφους του άρματος, του πύργου του άρματος, όπως επίσης και του συστήματος τηλεπικοινωνιών του άρματος. Τέλος στο κεφάλαιο αυτό δίνονται στοιχεία για την διάρκεια εκτέλεσης

κάθε εργασίας όπως επίσης και για τις προαπαιτούμενες εργασίες που πρέπει να εκτελεστούν πριν από κάθε εργασία.

**Κεφάλαιο 4:** Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της έρευνας της παρούσας εργασίας και στη συνέχεια αυτό εφαρμόζεται προκειμένου να γίνει η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος. Συγκεκριμένα, αναλύονται οι τεχνικές διαχείρισης εργασιών (CPM και PERT), η διαδικασία της κατασκευής του δικτύου εργασιών, όπως επίσης και ο γραμμικός προγραμματισμός σαν μια προσέγγιση για την CPM ανάλυση. Ακολούθως, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω τεχνικές κατασκευάζεται η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος και διατυπώνονται οι περιορισμοί. Τέλος, παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον CPLEX και η επίλυση του οποίου μας δίνει το κρίσιμο μονοπάτι του προβλήματος

**Κεφάλαιο 5:** Στο Κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιώντας τον κώδικα που αναπτύχθηκε και λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε εργασία μπορεί να διεξαχθεί κάθε φορά αποκλειστικά από έναν διαθέσιμο πόρο, υπολογίστηκε η κρίσιμη διαδρομή. Ακολούθως, διερευνήθηκαν διάφορα σενάρια μείωσης των διαθέσιμων πόρων και του χρόνου περάτωσης εργασιών. Τέλος, χρησιμοποιώντας το διάγραμμα ροής των εργασιών που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3 και πραγματοποιώντας παραμετρική ανάλυση, ερευνάται η εξάρτηση του χρόνου περάτωσης των εργασιών σε συνάρτηση με το πλήθος των διαθέσιμων πόρων (αριθμός τεχνίτων).

**Κεφάλαιο 6:** Το κεφάλαιο αυτό συνοψίζει τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και προτείνει συναφή θέματα που θα μπορούσαν να ερευνηθούν στο μέλλον σε άμεση συνάφεια με το γνωστικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1 Αναδρομή στη Βιβλιογραφία

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται ορισμένες ερευνητικές προσπάθειες που εστιάζουν σε προβλήματα παρόμοια με αυτό που εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Αναφέρονται δημοσιεύσεις που αφορούν σε προβλήματα προγραμματισμού εργασιών συντήρησης που λαμβάνουν χώρα στις Ένοπλες Δυνάμεις. Εξετάζοντας το σύνολο των δημοσιεύσεων που θα αναφερθούν, γίνεται σαφές ότι η ερευνητική βιβλιογραφία που εξετάζει τον προγραμματισμό εργασιών συντήρησης στο στρατό είναι αρκετά πλούσια αλλά καμία από τις παρακάτω εργασίες δεν αναφέρεται στον τύπο προβλήματος που εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Η βιβλιογραφία που θα αναφερθεί αναφέρεται κυρίως στο πρόβλημα του προγραμματισμού εργασιών συντήρησης αεροσκαφών της Πολεμικής Αεροπορίας, ενώ στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάζεται το πρόβλημα του προγραμματισμού των εργασιών προληπτικής συντήρησης δευτέρου κλιμακίου του άρματος Leopard 1A5. Το γεγονός αυτός εξασφαλίζει και την πρωτοτυπία της έρευνας που διεξήχθη στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Στο παρελθόν έχουν ερευνηθεί διάφορα προβλήματα προγραμματισμού εργασιών συντήρησης αεροσκαφών. Στη συνέχεια παρατίθενται οι πιο αντιπροσωπευτικές προσπάθειες προσέγγισης του ευρύτερου προβλήματος που εντοπίστηκαν στη

σχετική βιβλιογραφία, κατηγοριοποιημένες ανάλογα με κάποιο περισσότερο εξειδικευμένο πρόβλημα στο οποίο επέλεξε να εστιάσει ο κάθε ερευνητής.

Οι Samaranayake et al. [28] εισάγουν και τεκμηριώνουν την εφαρμογή ενός λογισμικού για τη διαχείριση δραστηριοτήτων συντήρησης Α/Φ μεγάλης κλίμακας.

Οι Kurokawa και Takeshita [17] προτείνουν μια μέθοδο νευρωνικών δικτύων για το σχεδιάσμά εναέριων μεταφορών στην Αμυντική ΓΙΑ της Ιαπωνίας. Αυτή η μέθοδος χωρίζει το κύριο πρόβλημα σε τρία υποπροβλήματα που λύνονται διαδοχικά από τρία νευρωνικά μπλοκ.

Στο πλαίσιο του προγραμματισμού, οι Clarke et al. [3] εισάγουν ένα μοντέλο που λαμβάνει υπόψη τόσο τις απαιτήσεις συντήρησης όσο και των επιχειρήσεων (πληρωμάτων πτήσης). Οι Keskinocak και Tayur [12] εξετάζουν ένα πρόβλημα προγραμματισμού Α/Φ στο οποίο η άφιξη των απαιτήσεων των πελατών είναι δυναμική.

Οι Stojkovic et al. (2002) [31] προτείνουν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης για τον προγραμματισμό των πτήσεων που λαμβάνει υπόψη τις μεταφορές πληρωμάτων, τις περιόδους ανάπαυσης, τις συνδέσεις επιβατών και τη συντήρηση.

Επίσης, τα προβλήματα ανάθεσης στόλου έχουν μελετηθεί εκτενώς στο παρελθόν. Οι Rushmeier και Κοντογιώργης [27] παρουσιάζουν ένα μοντέλο mixed integer multicommodity flow για την ανάθεση στόλου μεγάλης κλίμακας, που λαμβάνει υπ' όψη ποικίλους περιορισμούς.

Οι Barnhart et al. [1] παρουσιάζουν ένα μοντέλο με το οποίο λύνουν ταυτόχρονα τα προβλήματα ανάθεσης στόλου και δρομολόγησης των Α/Φ. Οι Barnhart et al. [24] μορφοποιούν και λύνουν το πρόβλημα ανάθεσης στόλου και επεξηγούν την εφαρμογή του σε ένα πραγματικό παράδειγμα από μια μεγάλη αεροπορική εταιρεία.

Οι Lohatepanont και Barnhart [19] παρουσιάζουν σύνθετα μοντέλα και αλγορίθμους για την επίλυση του σχεδιασμού του προγράμματος Α/Φ και της ανάθεσης στόλου.

Έχει υπάρξει επίσης ένα ρεύμα δημοσιεύσεων που εξετάζουν προβλήματα λήψης αποφάσεων σχετικών με δρομολόγηση Α/Φ στο πλαίσιο της λειτουργίας αεροπορικών εταιρειών. Οι Feo and Bard [8] μοντελοποιούν το πρόβλημα δρομολόγησης της συντήρησης ως set partitioning πρόβλημα και χρησιμοποιούν ευρετικούς αλγορίθμους για να μορφοποιήσουν τη δρομολόγηση της συντήρησης.

Συνδυάζουν, επίσης, το πρόβλημα δρομολόγησης με το πρόβλημα τοποθέτησης των σταθμών συντήρησης.

Οι Sriram και Haghani [30] παρουσιάζουν μια μορφοποίηση του προβλήματος προγραμματισμού της συντήρησης και έναν ευρετικό αλγόριθμο για τη λύση του. Επίσης η USAF διαθέτει ένα πρακτικό γραφικό εργαλείο για τον προγραμματισμό των περιοδικών επιθεωρήσεων των συντηρήσεων των αεροσκαφών. Το εν λόγω εργαλείο χρησιμοποιεί μία γραφική απεικόνιση της κατάστασης των αεροσκαφών αναφορικά με τον υπολειπόμενο χρόνο πτήσης τους μέχρι την καθήλωσή τους για εκτέλεση κατά φάσεις επιθεώρησης.

Τέλος, σημαντική ερευνητική δραστηριότητα στο αντικείμενο του προγραμματισμού της συντήρησης αεροσκαφών έχει διεξαχθεί από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Οι Κοζανίδης, Λυμπερόπουλος κ.ά [9, 13-16] παρουσιάζουν το πρόβλημα αυτό μέσα από δημοσιεύσεις σε διεθνή συνέδρια και επιστημονικά περιοδικά.

## 2.2 Στρατιωτικοί Ερευνητικοί Φορείς

Πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι πολλοί επιστημονικοί φορείς οργανώνουν επισκέψεις σε στρατιωτικούς ερευνητικούς φορείς για ανταλλαγή τεχνογνωσίας. Για παράδειγμα, η Επιστημονική Ένωση Επιχειρησιακής Έρευνας της Σιγκαπούρης, το 2007 είχε επισκεφθεί για συνεργασία, το SAF Centre for Military Experimentation. (<http://sunsite.nus.sg/ORSS/activities-visit26012007.pdf>).

Επιπλέον δε, υπάρχουν και μεταπτυχιακά προγράμματα σπουδών, τα οποία εμβαθύνουν στην Στρατιωτική Επιχειρησιακή Έρευνα. Ένα παράδειγμα είναι στο Πανεπιστήμιο George Mason στη Βιρτζίνια των Η.Π.Α., όπου υπάρχει μεταπτυχιακό πρόγραμμα με τίτλο Military Operational Research .

Τέλος, πολλοί επιστημονικοί φορείς Επιχειρησιακής Έρευνας έχουν συμμετάσχει από κοινού σε ερευνητικά προγράμματα, με στόχο την εφαρμογή μεθόδων Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης σε στρατιωτικές εφαρμογές. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν και το ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο CALMA: Combinatorial ALgorithms for Military Applications (<http://www.win.tue.nl/~wscor/calma.html>). Αυτό το πρόγραμμα είχε χρηματοδοτηθεί από τα Υπουργεία Αμύνης της Ολλανδίας, Γαλλίας και της Μεγάλης Βρετανίας, στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος EUCLID (European Cooperation for the Long term In Defence). Στόχος του προγράμματος

CALMA, ήταν η μελέτη της εφαρμογής αλγορίθμων Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης σε διάφορα πραγματικά στρατιωτικά προβλήματα, όπως ανάθεση όπλων σε στόχους (Weapons to Threats Assignment), διαχείριση ραντάρ για έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας (Radar Management for Air Traffic Control), Terrain High Points Assignment, και ανάλυση εικόνας (Image Analysis). Τελικά οι συμμετέχοντες ομάδες από όλα τα παραπάνω προβλήματα, επέλεξαν να επικεντρώσουν τις προσπάθειες τους στο πρόβλημα ανάθεσης συχνότητας για ραδιοφωνική σύνδεση (Radio Link Frequency Assignment Problem), βλέπε [3]. Στον ιστοχώρο (FTP archive) του Τμήματος Μαθηματικών και Επιστήμης Υπολογιστών, του Πανεπιστημίου του Αϊντχόβεν στην Ολλανδία, (<ftp://ftp.win.tue.nl/pub/techreports/CALMA/index.html>) υπάρχουν τεχνικές αναφορές που περιγράφουν τα επιστημονικά αποτελέσματα του προγράμματος, συνοπτικά αναφέρονται οι εργασίες [32], [33] και [34], αλλά και αρχεία προβλημάτων που χρησιμοποιήθηκαν σε υπολογιστικές μελέτες. Τα ερευνητικά τους αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε στρατιωτικούς εκπρόσωπους, αλλά και σε άλλες ερευνητικές ομάδες και εταιρίες μέσω ενός διεθνούς συνεδρίου την 24η Νοεμβρίου 1995, στο Scheveningen της Ολλανδίας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Μορφοποίηση Προβλήματος

### 3.1 Περιγραφή Προβλήματος

Το πρόβλημα προγραμματισμού των εργασιών προληπτικής συντήρησης δευτέρου κλιμακίου του άρματος Leopard 1 A5 αποτελεί ένα καθημερινό πρόβλημα που αντιμετωπίζει μια συνηθισμένη Έλη αρμάτων στον Ελληνικό Στρατό. Για το λόγο αυτό, η επίλυση του προβλήματος αυτού αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο που θα μπορέσει να αξιοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό για τον βέλτιστο προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης των αρμάτων Leopard 1 A5 που διαθέτει ο Ελληνικός Στρατός.

Συγκεκριμένα, οι εργασίες που πραγματοποιούνται στα πλαίσια της συντήρησης του άρματος Leopard 1 A5 διακρίνονται σε εργασίες σκάφους, σε εργασίες πύργου και σε εργασίες στο σύστημα τηλεπικοινωνιών. Στους Πίνακες 3.1, Πίνακας 3.2 και Πίνακας 3.3 που ακολουθούν, παρουσιάζονται αναλυτικά οι εργασίες αυτές. Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο εύρος εργασιών πραγματοποιείται, όπως είναι λογικό, στο σκάφος του άρματος. Συγκεκριμένα, πραγματοποιούνται 58 εργασίες, η συνολική χρονική διάρκεια των οποίων ανέρχεται σε 2.346 λεπτά, δηλαδή σε περίπου 6 ημέρες λαμβάνονται υπόψη ότι ο πραγματικός χρόνος εργασίας σε 1 εργάσιμη ημέρα υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε 7 ώρες. Επίσης παρατηρούμε ότι στον πύργο του οχήματος πραγματοποιούνται συνολικά 21 εργασίες συντήρησης με χρονική διάρκεια 1.185 λεπτά, δηλαδή

περίπου 3 ημέρες. Τέλος, στο σύστημα τηλεπικοινωνιών πραγματοποιούνται συνολικά 6 εργασίες, η χρονική διάρκεια των οποίων ανέρχεται σε 110 λεπτά, δηλαδή περίπου 2 ώρες. Αρα η διαδικασία συντήρησης του άρματος Leopard 1 A5 υπολογίζεται χρονικά με βάση το βιβλίο εργασιών ([26]) ότι ανέρχεται σε 10 περίπου ημέρες με την προϋπόθεση ότι οι εργασίες θα πραγματοποιούνταν όλες με τη σειρά, χωρίς να υπάρχει επαλληλία εργασιών. Στην πραγματικότητα όμως αυτό δεν ισχύει, καθώς υπάρχει εργατικό δυναμικό περισσότερο του ενός τεχνίτη και υπάρχει ταυτόχρονη εκτέλεση εργασιών. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας λοιπόν και έναυσμα για την διεξαγωγή της παρούσας εργασίας αποτελεί ο προγραμματισμός των εργασιών έτσι ώστε να εκτελούνται με τον βέλτιστο συνδυασμό και να έχουμε δραματική μείωση του χρόνου της διαδικασίας συντήρησης του άρματος Leopard 1 A5.

**Πίνακας 3.1:** Εργασίες Συντήρησης του σκάφους άρματος Leopard 1 A5 .

A/A	Περιγραφή Εργασίας	Διάρκεια (σε min)
1	Έλεγχος λειτουργίας ράβδων στρέψεως	30
2	Έλεγχος αποσβεστήρων κραδασμών	30
3	Λίπανση πύρων εδράσεως	30
4	Λίπανση στεγανοποιητικού δακτυλίου	30
5	Έλεγχος ρυθμιστικού βραχίονα	120
6	Έλεγχος ελαστικού στεγανοποιητικού της θυρίδας οδηγού	12
7	Έλεγχος του θερμαντήρα και των συνδέσεων του	30
8	Έλεγχος αεραγωγού ακροφυσίου	30
9	Έλεγχος πτερυγίων εξαγωγής καυσαερίων θερμαντήρα	30
10	Καθαρισμός στοιχείων πυρακτώσεως (θερμαντήρα)	30
11	Έλεγχος ελαστικού στεγανοποιητικού καλύματος του χώρου κινητήρα	30
12	Έλεγχος στεγανοποιητικού καλύματος θυρίδας συντηρήσεως για τα λάδια κινητήρα και κιβωτίου ταχυτήτων	30
13	Έλεγχος ελαστικού στεγανοποιητικού στα πτερυγία εισαγωγής του φίλτρου αέρα	30
14	Έλεγχος σταθερότητας συνδέσμων των προειδοποιητικών αγωγών για την σήμανση πυρκαγιάς	120
15	Έλεγχος λειτουργίας συστήματος πυροσβεστήρων	30
16	Έλεγχος σταθερότητας και λειτουργίας επιλογέα ταχυτήτων	12

17	Έλεγχος και λίπανση των κοχλίων της βάσης του κιβωτίου μετάδοσης και της βάσης του κινητήρα	30
18	Έλεγχος λειτουργίας και καθαρισμός θερμαντήρα, θερμοστάτη και διακόπτη προστασίας	30
19	Έλεγχος λειτουργίας και διαρροές υδραυλικού συστήματος σταθεροποίησης	30
20	Έλεγχος πίεσης λειτουργίας ποσότητας αζώτου	60
21	Έλεγχος λειτουργίας διακόπτη περυγίου στεγανοποίησης της εξαγωγής καυσαερίων του θερμαντήρα	30
22	Έλεγχος στερέωσης και διαρροών της αντλίας του ψυκτικού υγρού του θερμαντήρα	30
23	Αποσυναρμολόγηση-Καθαρισμός εγκατάστασης πυρόσβεσης	60
24	Έλεγχος συνδέσεων σωλήνων εξάτμισης	30
25	Έλεγχος-Στερέωση σιγαστήρων	80
26	Αντικατάσταση στεγανοποιητικού της βαλβίδας εκβολής της σκόνης του φίλτρου αέρα του κινητήρα	60
27	Έλεγχος-Καθαρισμός-Λίπανση ολισθαίνοντων συνδέσμων	24
28	Καθαρισμός αντλίας εκκένωσης σκάφους (διαμέρισμα κινητήρα)	18
29	Λίπανση βαλβίδας εκκένωσης διαμερίσματος κινητήρα	30
30	Έλεγχος διαρροών της δικλείδας επιλογής της δεξαμενής καυσίμου	30
31	Έλεγχος τροφοδοτικής αντλίας καυσίμου	30
32	Έλεγχος του πλαισίου στεγανοποίησης του ψυγείου	30
33	Καθαρισμός λεπτόφιλτρου λαδιού του κιβωτίου ταχυτήτων	30
34	Καθαρισμός φίλτρων λαδιού κιβωτίου ταχυτήτων (μαγνητικός δακτύλιος)	30
35	Έλεγχος σταθερότητας θέσης του κιβωτίου ταχυτήτων	30
36	Έλεγχος σταθερότητας ελαστικής έδρασης	30
37	Έλεγχος σταθερότητας συνθετικού παρεμβάσματος	30
38	Έλεγχος εξωτερικού καθαρισμού και στεγανότητας συστήματος ψύξης-ψυγεία	30
39	Έλεγχος στερέωσης-διαρροές ελαστικής έδρασης ψυγείου	30
40	Καθαρισμός μηχανικής αντλίας ψυκτικού υγρού	30
41	Αντικατάσταση φίλτρων λαδιού του κινητήρα	30
42	Έλεγχος κατάστασης-στερέωσης ελαστικής στεγανοποίησης ανεμιστήρα	20
43	Έλεγχος κατάστασης-στερέωσης ανεμιστήρα	30
44	Καθαρισμός δοκών διαστολής εξάτμισης, οπών εξαγωγής νερού	15
45	Έλεγχος κατάστασης-στερέωσης ασκών διαστολής εξάτμισης και αγωγών συγκεντρώσεως καυσαερίων	30

46	Εκτέλεση δοκιμών λειτουργίας του συγκροτήματος ισχύος (Συγκρότημα Ισχύος εκτός σκάφους)	60
47	Έλεγχος του συστήματος πεδήσεως	68
48	Έλεγχος πίεσης στο κυβερνητικό κύκλωμα	15
49	Τοποθέτηση συγκροτήματος ισχύος	90
50	Έλεγχος - Ρύθμιση σταθερότητας συμπλέκτη απομόνωσης, σύμπλεξης έκτακτης ανάγκης, ντίζας και συστήματος μοχλών χειροφρένων	132
51	Έλεγχος λειτουργίας και ρύθμισης διάκενων σιαγώνων χειροφρένων	60
52	Έλεγχος του πάχους και σταθερότητας των τακακίων	150
53	Έλεγχος συσκευής διέλευσης υδάτινου κωλύματος/αεραγωγού	15
54	Λίπανση Και αντικατάσταση λαδιού στις ακραίες μεταδόσεις	15
55	Έλεγχος και ανανέωση λαδιού κιβωτίου ταχυτήτων	20
56	Έλεγχος και ανανέωση λαδιού κινητήρα	20
57	Έλεγχος και αντικατάσταση ψυκτικού υγρού	20
58	Αφαίρεση συγκροτήματος ισχύος	90

**Πίνακας 3.2:** Εργασίες Συντήρησης του πύργου άρματος Leopard 1 A5 .

A/A	Περιγραφή Εργασίας	Διάρκεια (σε min)
1	Αντικατάσταση λαδιού υδραυλικού συστήματος πύργου και ΣΣΠ υδραυλικού συστήματος	192
2	Έλεγχος ορθής λειτουργίας υδραυλικού συστήματος πύργου	60
3	Έλεγχος-Αφαίρεση γραζιών και λίπανση στεφάνης πύργου	240
4	Έλεγχος χειροκίνητης ανύψωσης του πυροβόλου	18
5	Έλεγχος χειροκίνητου μηχανισμού κατά διεύθυνση μετακινήσεως του πυροβόλου	12
6	Έλεγχος της ευχαίριας κινήσεως - λίπανση της βάσης του πυροβόλου	30
7	Έλεγχος της κατάστασης-εφαρμογής του χαλύβδινου δακτυλίου στεγανοποίησης σωλήνα πυροβόλου	3
8	Έλεγχος της σωστής λειτουργίας των βλητικών ασπιδίων	18
9	Έλεγχος της ορθής λειτουργίας του ηλεκτρονικού συστήματος του μετρητή αποστάσεως (EMES18)	15
10	Έλεγχος της ορθής λειτουργίας του ηλεκτρονικού	108

	συστήματος ΣΣΠ	
11	Έλεγχος της ορθής λειτουργίας της συσκευής συγκλίσεως μάχης (FJA)	6
12	Λίπανση σωλήνα πυροβόλου οπίσθια σπειρώματα	15
13	Έλεγχος πρόσκρουσης σε διάφορα απάρτια του πύργου του πηγαίου	30
14	Έλεγχος της κατάστασης και σωστής συνδέσεως των καλωδιώσεων του πύργου	30
15	Αντικατάσταση του λαδιού της αντλίας του καθίσματος ΑΠΜΑ	18
16	Αποσυναρμολόγηση και αντικατάσταση του λιπαντικού των θαλάμων λιπαντικών στο σύστημα επανάταξης πυροβόλου- έλεγχος ορθής λειτουργίας.	90
17	Τεχνική οπισθοδρόμηση του σωλήνα του πυροβόλου έλεγχος ορθής επάνοδό του.	30
18	Έλεγχος της ορθής λειτουργίας της εγκατάστασης αναρρόφησης καπνού-αεριστήρα	60
19	Έλεγχος της ορθής λειτουργίας του συστήματος ρυθμίσεων και διεύθυνσης πυρός	138
20	Εξαγωγή εκκενωτή αερίων-καθαρισμός και επανατοποθέτηση στην αρχική του κατάσταση	60
21	Έλεγχος κατάστασης περιβλήματος πύργου	12

**Πίνακας 3.3:** Εργασίες Συντήρησης του συστήματος τηλεπικοινωνιών άρματος Leopard 1 A5 .

A/A	Περιγραφή Εργασίας	Διάρκεια (σε min)
1	Οπτικός έλεγχος των συσκευών τηλεπικοινωνίας VIC -1 του άρματος	20
2	Έλεγχος λειτουργίας VIC -1(Ασφαλοδιακόπτης-ενισχυτής AM1780-κυτία ενδοεπικοινωνίας)	30
3	Έλεγχος λειτουργίας Σ/Α TRC 9200 Και παρελκόμενα αυτού	10
4	Καθαρισμός των επαφών των κυτίων ενδοεπικοινωνίας	20
5	Καθαρισμός ποποδέκτη- ενισχυτή AM 1780	20
6	Συσφίξεις -ρυθμίσεις επαφών κυτίων ενδοεπικοινωνίας	10

Οι παραπάνω πίνακες παρουσιάζουν την χρονική διάρκεια κάθε εργασίας υπό την παραδοχή ότι κάθε εργασία μπορεί να διεξαχθεί κάθε φορά αποκλειστικά από έναν διαθέσιμο πόρο. Στην περίπτωση που υπάρχουν δύο ή τρεις διαθέσιμοι πόροι, σύμφωνα με το βιβλίο εργασιών ([26]), η χρονική διάρκεια κάθε εργασίας μειώνεται στο μισό ή στο ένα τρίτο αντίστοιχα του αρχικού χρόνου.

### 3.2 Διάγραμμα Ροής Εργασιών

Προκειμένου να σχεδιαστεί το διάγραμμα ροής των εργασιών ([6]), έπρεπε να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι για την εκτέλεση κάποιων εργασιών απαραίτητη προϋπόθεση ήταν να έχουν εκτελεστεί ήδη κάποιες άλλες εργασίες. Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται οι προαπαιτούμενες εργασίες για κάθε μια από τις 85 συνολικά εργασίες που περιλαμβάνονται στην διαδικασία συντήρησης του άρματος.

**Πίνακας 3.4:** Προαπαιτούμενες Εργασίες των Εργασιών Συντήρησης του άρματος Leopard 1 A5 .

A/A	Προαπαιτούμενες Εργασίες
1	58
2	0
3	0
4	3
5	4
6	0
7	0
8	7
9	8
10	58
11	58
12	58
13	58
14	58
15	46
16	46
17	58
18	46-10-9
19	0
20	47

21	46
22	46
23	14-15
24	58
25	58
26	0
27	58
28	58
29	28
30	46
31	46
32	46
33	0
34	58-55
35	46
36	46
37	46
38	32
39	38
40	39
41	58
42	46
43	42
44	58
45	46
46	33-34-56-57
47	58-46
48	0
49	11-12-13-16-18-20-21-22-23-24-25-26-27-29-30-31-35-36-37-38-41-42-44-45-47
50	49
51	58
52	58
53	58
54	58
55	0
56	0
57	0
58	0
59	0
60	59
61	0
62	64-7

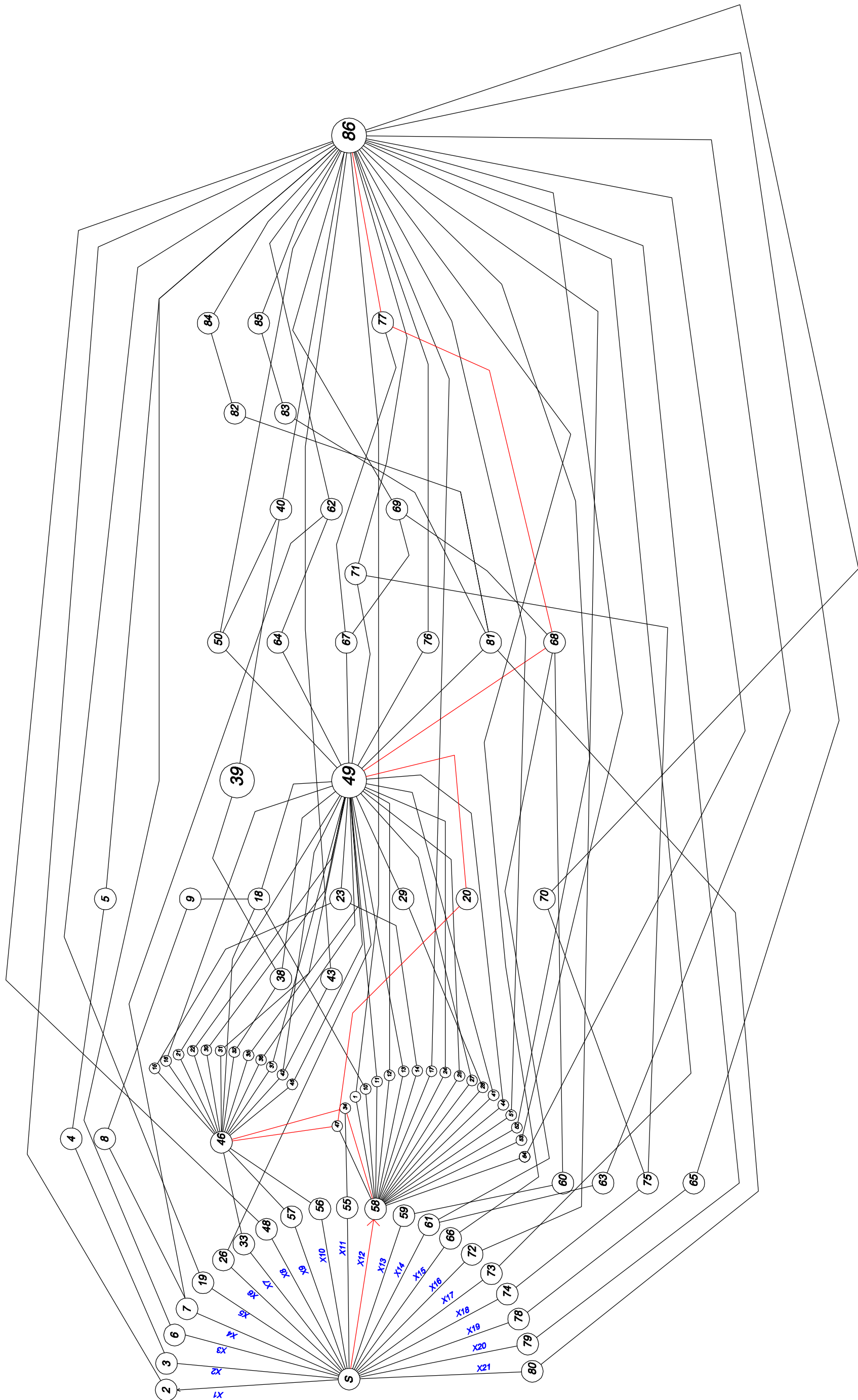
63	61
64	49
65	78
66	0
67	49
68	49-60-61
69	67-68
70	75
71	49-75
72	0
73	0
74	0
75	74
76	49
77	67-68
78	0
79	0
80	0
81	80-49
82	81
83	81
84	82
85	83

Ακολούθως παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής των εργασιών όπως αυτό δημιουργήθηκε με βάση τον προηγούμενο πίνακα με τις προαπαιτούμενες εργασίες.

**Εικόνα 3.1:** Διάγραμμα Ροής Εργασιών



ΕΙΚΟΝΑ 3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Ανάπτυξη Αλγορίθμου Προγραμματισμού Εργασιών**

### **4.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο Αλγορίθμου**

#### **4.1.1 Τεχνικές Διαχείρισης Εργασιών**

Σχεδόν όλες οι ειδικές τεχνικές της διαχείρισης εργασιών ([25], [10], [29]) που χρησιμοποιούνται σήμερα αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1950 και 1960 από την αμυντική και αεροδιαστημική βιομηχανία των Ηνωμένων Πολιτειών (Υπουργείο Άμυνας και NASA). Συγκεκριμένα αναφερόμαστε στη τεχνική εκτίμησης και αναθεώρησης προγράμματος (Program Evaluation and Review Technique, PERT), τη διαχείριση στοιχειοθέτησης (configuration management), τη μέθοδο πιστοποιημένης αξίας (earned value) και τη δομική ανάλυση έργου (Work Breakdown Structure, WBS). Η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής (Critical Path Method, CPM) και η μέθοδος διαγράμματος διαδοχής (Precedence Diagram Method, PDM) αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του κατασκευαστικού κλάδου όπου η ανάγκη προγραμματισμού και τεχνικής

διαχείρισης είναι επείγουσα, γεγονός που ενθάρρυνε την υιοθέτηση διαγραμμάτων δικτύου (network diagrams).

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1950, τα έργα εκτελούνταν, συνήθως, από εταιρείες που είχαν την οργανωτική δομή των παραδοσιακών λειτουργικών ιεραρχιών. Αυτό σήμαινε ότι το έργο περνούσε σταδιακά από το ένα τμήμα στο άλλο. Καθώς, όμως, αυξάνονταν σταδιακά η πολυπλοκότητα των έργων, ιδιαίτερα των αεροδιαστημικών και στρατιωτικών, η τήρηση του προϋπολογισμού και η παράδοση του έργου σε προκαθορισμένη ημερομηνία αποκτούσαν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία. Άρχισε να γίνεται περισσότερο αναγκαία η συμμετοχή, στο ίδιο έργο, διαφορετικών ειδικοτήτων, διαφορετικών τμημάτων της εταιρείας ακόμα και διαφορετικών εταιρειών. Εξ ανάγκης, λοιπόν, άρχισαν να αναπτύσσονται οι πρώτες εργοκεντρικές οργανωτικές δομές.

Η κύρια καινοτομία της δεκαετίας του 1980 ήταν η εκρηκτική αύξηση των προσωπικών ηλεκτρονικών υπολογιστών και λογισμικού με τη δημιουργία όχι μόνο γενικών εφαρμογών για επιχειρήσεις αλλά και εξειδικευμένων προγραμμάτων διαχείρισης έργου. Το 1983 παρουσιάζεται το πρώτο λογισμικό πακέτο προγραμματισμού έργων, το Harvard Project Manager.

Το 1968, το Project Management Institute δημοσίευσε το πρώτο εγχειρίδιο που αναφέρονταν στον κορμό γνώσεων για τη διαχείριση έργου (PMBOK). Η δημοσίευσή του αποτελούσε μέρος της προσπάθειας του Ινστιτούτου να παρουσιάσει τη διαχείριση έργου ως μια συστηματοποιημένη, επιστημονική περιοχή με μεθοδολογία και έρευνα. Έως τότε η διαχείριση έργου ήταν μια συλλογή εργαλείων και τεχνικών, χρήσιμων κατά περίπτωση.

Από τη χρονολόγηση των γεγονότων φαίνεται ότι προηγήθηκε η ανάπτυξη των τεχνικών διαχείρισης έργου και ακολούθησε η ανάπτυξη του αντίστοιχου λογισμικού. Όμως, μετά το 1990 τα πράγματα αντιστρέφονται. Η εξέλιξη των δυνατοτήτων των υπολογιστών οδηγεί πλέον τις εξελίξεις των τεχνικών διοίκησης. Επειδή δεν υπήρχε συστηματικό πρόγραμμα σπουδών, παρά μόνο στα πλαίσια της διοίκησης επιχειρήσεων και της επιχειρησιακής έρευνας, δημιουργούνται τα πρώτα μεταπτυχιακά προγράμματα σε Project Management. Στις μέρες μας η ανάπτυξη της επιστημονικής διαχείρισης έργων συνοδεύεται από πληθώρα λογισμικών διαχείρισης έργων.

#### **4.1.2 Τεχνικές PERT/CPM**

Για να είναι αποτελεσματικό το χρονοδιάγραμμα ενός έργου ([24], [38]) θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του όχι μόνο τη διάρκεια της κάθε δραστηριότητάς

του, αλλά και τις λογικές σχέσεις που συνδέουν τις δραστηριότητες μεταξύ τους. Είναι πολύ σημαντικό να προσδιορίσουμε αυτές τις λογικές σχέσεις για να μπορέσουμε να προβλέψουμε τι επίδραση θα έχει στην εξέλιξη του έργου οποιαδήποτε ενδεχόμενη αλλαγή του χρονοδιαγράμματος. Με την πάροδο του χρόνου το μέγεθος και η πολυπλοκότητα των έργων αυξήθηκαν, οπότε διαπιστώθηκε ότι το διάγραμμα Gantt υστερούσε να απεικονίσει τέτοιας μορφής σχέσεις. Επίσης, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950, παρατηρήθηκαν συχνότερες υπερβάσεις κόστους και χρόνου των έργων τόσο στη βιομηχανία όσο και στο εμπόριο. Στην αρχή υποστηρίχτηκε ότι αυτό συμβαίνει διότι οι εκτιμήσεις σχετικά με την εξέλιξη των έργων ήταν πολύ αισιόδοξες. Αυτή η άποψη σιγά-σιγά εγκαταλείφτηκε διότι οι μελετητές των έργων κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι υπερβάσεις αυτές ήταν αποτέλεσμα του γεγονότος ότι οι διαθέσιμες τεχνικές προγραμματισμού και ελέγχου για τη διαχείριση έργων ήταν ανεπαρκείς.

Οι παραπάνω δυσκολίες οδήγησαν στην ανάπτυξη μεθοδολογιών χρονικού προγραμματισμού που μπορούσαν να ενσωματώσουν ως παραμέτρους τις αγορές, τους πόρους και το κόστος. Αυτό συντέλεσε στη γέννηση της τεχνικής προγραμματισμού που στηρίζεται στην κατασκευή λογικών δικτύων (βλέπε 3ο κεφάλαιο).

Στη δικτυακή διάταξη κάθε δραστηριότητα απεικονίζεται ως ένα τετράγωνο ή κύκλο, ενώ η λογική αλληλουχία του έργου απεικονίζεται από τον τρόπο που διατάσσονται τα τετράγωνα/κύκλοι από αριστερά προς τα δεξιά.

Στενά συνδεδεμένες με τα διαγράμματα δικτύου είναι τόσο η PERT όσο και η CPM τις οποίες συνηθίζεται να τις γράφουμε ως PERT/CPM και είναι αυτές που θα μας απασχολήσουν εκτενέστερα στην συνέχεια αυτής της εργασίας.

#### **I) CPM (Critical Path Method)**

Αναπτύχθηκε για πρώτη φορά ([4]) την περίοδο Δεκ.1956 – Φεβρ.1959 από τις *DuPond Company and Remington Rand Univac*, με στόχο την ελαχιστοποίηση του χρόνου επιδιόρθωσης συντήρησης και κατασκευής μεγάλων κτιριακών μονάδων (εργοστασίων). Ο τρόπος συνίστατο στη βέλτιστη αξιοποίηση του έμψυχου και άψυχου διαθέσιμου υλικού, ώστε να μην μένουν άτομα ανενεργά μετά την ολοκλήρωση κάποιων δραστηριοτήτων. Η τεχνική *CPM* είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για προγράμματα κατασκευής τεχνικών έργων, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία και σε προγράμματα ανάπτυξης νέων προϊόντων, συναρμολογήσεως μεγάλων μηχανολογικών κατασκευών κλπ. Βάσει της μεθόδου αυτής, υπολογίζεται ένας συγκεκριμένος νωρίτερος και αργότερος χρόνος

έναρξης και λήξης για κάθε δραστηριότητα, σύμφωνα με την καθορισμένη σειρά αλληλουχίας του δικτύου.

## II) PERT (Program Evaluation Review Technique)

Αναπτύχθηκε για πρώτη φορά ([18], [20]) το 1958 κατά την κατασκευή των οπλικών συστημάτων Polaris από το Αμερικανικό Ναυτικό. Το έργο ήταν πολύπλοκο και οι συμμετέχοντες αισθάνθηκαν την ανάγκη ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού που να λαμβάνει υπόψη την εμπειρία των ειδικών αλλά και πιθανοθεωρητικά φαινόμενα. Η πρώτη φάση στην ανάπτυξη της τεχνικής αυτής έγινε γνωστή ως *PERT-Time*, επειδή ενδιέφερε περισσότερο ο χρόνος του έργου που σχεδιαζόταν. Η δεύτερη φάση που ονομάστηκε *PERT/Cost* επειδή ενδιέφερε περισσότερο το κόστος, αναπτύχθηκε μεταγενέστερα, αλλά δεν αποδείχθηκε αποτελεσματική στην πράξη και έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί. Η μέθοδος χρησιμοποιεί έναν σταθμισμένο μέσο της εκτιμώμενης διάρκειας για να υπολογίσει την διάρκεια των δραστηριοτήτων. Η PERT διαφέρει από την CPM κυρίως στο ότι θεωρεί ότι ο χρόνος μπορεί να υπολογιστεί από το μέσο μίας κατανομής (μέση διάρκεια) κι όχι από την πιο πιθανή διάρκεια, όπως η CPM.

### 4.1.3 Κατασκευή Δικτύου Εργασιών

Τα διαγράμματα δικτύου χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό, τον προγραμματισμό και τον έλεγχο της προόδου ενός έργου. Πρόκειται για ένα διάγραμμα του σχεδιασμού της δουλειάς του έργου που πρόκειται να γίνει και για το λόγο αυτό απεικονίζουν τις δραστηριότητες του έργου, τη λογική αλληλουχία τους, την αλληλεξάρτησή τους, και στις περισσότερες περιπτώσεις και τον χρόνο που πρέπει να αρχίσει και τελειώσει έκαστη εκ των δραστηριοτήτων. Μπορούμε να πούμε ότι τα δίκτυα χρησιμοποιούνται από τους διαχειριστές έργου για να παίρνουν αποφάσεις σχετικά με το χρόνο, το κόστος και την προετοιμασία του.

Για τη διαμόρφωση της δικτυωτής γραφικής αναπαράστασης ενός έργου, αυτό χωρίζεται σε αυτοτελείς ανεξάρτητες εργασίες (δραστηριότητες) και στη συνέχεια καθορίζεται η σειρά με την οποία αυτές πρέπει να εκτελεστούν καθώς επίσης και ο χρόνος που απαιτείται έκαστη εξ αυτών. Ο σχεδιασμός του δικτύου γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε όχι μόνο μπορούμε να αναγνωρίσουμε κάθε εργασία, αλλά και όλες τις εργασίες που προηγούνται από αυτή, καθώς επίσης και όλες που την ακολουθούν.

Εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι τα δίκτυα παίζουν καθοριστικό ρόλο στον προγραμματισμό και στην οργάνωση ενός έργου, εφόσον απεικονίζουν τόσο την

σχέση μεταξύ των διαφόρων δραστηριοτήτων όσο και – επιγραμματικά – το συνολικό σχέδιο για την επίτευξη του έργου. Με το δίκτυο δηλαδή, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο σχετίζονται οι εργασίες αυτές χρονικά και λειτουργικά. Το δίκτυο αποτελείται από *κόμβους*, που συνήθως συμβολίζονται με ένα τετράγωνο και από *ακμές* που συνήθως συμβολίζονται με βέλη.

**Δραστηριότητα (activity)** ονομάζουμε μια εργασία ή λειτουργία που πρέπει να εκτελεστεί στα πλαίσια του έργου και η οποία απαιτεί για την υλοποίησή της χρόνους και πόρους. Οι δραστηριότητες αποτελούν τις στοιχειώδεις δομικές και λειτουργικές μονάδες του έργου.

**Μονοπάτι.** Είναι μια αλληλουχία από εξαρτημένες δραστηριότητες.

**Κρίσιμο μονοπάτι.** Ο όρος αυτός σημαίνει το μεγαλύτερο μονοπάτι(-ια) στο δίκτυο. Εάν μια δραστηριότητα στο κρίσιμο μονοπάτι καθυστερήσει τότε το έργο καθυστερεί τόσο χρόνο όσο καθυστέρησε η συγκεκριμένη δραστηριότητα.

Έχοντας δώσει τους κυριότερους ορισμούς που χρησιμοποιούμε στο διάγραμμα δικτύου καταγράφουμε στη συνέχεια τους βασικούς κανόνες που ακολουθούνται προκειμένου να φτιάξουμε ένα διάγραμμα δικτύου:

1. Τα δίκτυα φτιάχνονται από τα αριστερά προς τα δεξιά.
2. Μια δραστηριότητα δεν μπορεί να αρχίσει αν δεν έχουν ολοκληρωθεί όλες οι δραστηριότητες που προηγούνται πριν από αυτήν.
3. Οι ακμές στο δίκτυο απεικονίζουν την προτεραιότητα και τη ροή των δραστηριοτήτων.
4. Κάθε δραστηριότητα θα πρέπει να έχει έναν μοναδικό ξεχωριστό αριθμό.
5. Ο μοναδικός ξεχωριστός αριθμός της κάθε δραστηριότητας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από τον μοναδικό ξεχωριστό αριθμό των δραστηριοτήτων που προηγούνται από αυτήν.
6. Δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί μια δραστηριότητα που ήδη έχει χρησιμοποιηθεί νωρίτερα.
7. Δεν επιτρέπονται υποθέσεις της μορφής “εάν κάτι είναι επιτυχία τότε πράξε μια συγκεκριμένη δραστηριότητα διαφορετικά μην κάνεις τίποτα”. Αυτό μας δίνει να καταλάβουμε ότι το διάγραμμα δικτύου δεν είναι ένα δέντρο απόφασης.
8. Πολλοί αρχικοί κόμβοι δεν δίνουν μια ξεκάθαρη αρχή στο δίκτυο. Έτσι, η επιλογή ενός μόνο αρχικού κόμβου δίνει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα της αρχής του δικτύου. Το ίδιο ισχύει και για τους τελικούς κόμβους. Πολλοί τελικοί κόμβοι δεν

δίνουν ένα ξεκάθαρο τέλος στο δίκτυο, η επιλογή ενός μόνο τελικού κόμβου δίνει ένα καθαρό τέλος στο δίκτυο.

#### 4.1.4 Τεχνική Αποτίμησης και Αναθεώρησης Προγράμματος (PERT)

Στα τέλη της δεκαετίας του 1950, το Αμερικανικό Ναυτικό συνέστησε μια ερευνητική ομάδα υπό τον ναύαρχο Red Raborn σε συνεργασία με την εταιρεία Lockheed Aircraft Corporation και την εταιρεία συμβούλων Booz Allen & Hamilton, η οποία ανέλαβε να σχεδιάσει ένα ενιαίο σύστημα προγραμματισμού και ελέγχου, το οποίο θα έδινε τη δυνατότητα διοικητικού συντονισμού των εκατοντάδων υπεργολάβων που εμπλέκονταν στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τον έλεγχο του πυραυλικού συστήματος υποβρυχίων Polaris.

Η τεχνική PERT (Program Evaluation and Review Technique) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1958 ως εργαλείο στατιστικού χειρισμού των πιθανών τιμών που μπορεί να πάρει η χρονική διάρκεια του έργου.

Η επιτυχία του έργου Polaris συνέβαλε στην καθιέρωση της PERT ως εργαλείου προγραμματισμού και την υιοθέτησή της από διάφορες επιχειρήσεις κατά τη δεκαετία του 1960. Η PERT θεωρήθηκε ως η βασική αιτία της επιτυχίας του Polaris ενώ την ίδια περίοδο η μέθοδος CPM δεν είχε ευρεία αναγνώριση, παρ' ότι πρόσφερε λύση στο πρόβλημα της κατανομής πόρων.

Στις μέρες μας, οι αρχικές διαφορές των CPM και PERT έχουν γεφυρωθεί σε τόσο μεγάλο βαθμό που οι δύο όροι χρησιμοποιούνται πλέον εναλλακτικά και υποδηλώνουν την συνολική διαδικασία προγραμματισμού και ελέγχου του έργου.

Συνήθως θεωρούμε ότι η διάρκεια κάθε δραστηριότητας στο δίκτυο του έργου έχει καθορισμένη τιμή, η οποία προσδιορίζεται από την προϋπάρχουσα εμπειρία, καθώς και από δεδομένα παρόμοιων έργων. Στην περίπτωση αυτή, οι περαιτέρω υπολογισμοί επί του δικτύου γίνονται θεωρώντας κάθε διάρκεια ως αναμενόμενο χρόνο εκτέλεσης της εκάστοτε δραστηριότητας. Πρέπει να τονίσουμε ότι, εφόσον οι διάρκειες εκτιμώνται ως καθορισμένες δεν υπάρχει καμία μεταβλητότητα στο χρόνο.

Η επιτυχία αυτής της παραδοσιακής ντετερμινιστικής αντιμετώπισης περιορίζεται σε απλό προγραμματισμό μικρών έργων, όπου οι δραστηριότητες ενέχουν ελάχιστο ρίσκο. Ιστορικά η ντετερμινιστική θεώρηση ήταν απόρροια της ανάγκης του ανθρώπου για βεβαιότητα, που εκφράζεται ως «συμμόρφωση» της πράξης-έργου με τις σκέψεις- βούληση-σχεδιασμό. Στην πράξη όμως, διαπιστώθηκε, πολλές φορές οδυνηρά, ότι υπάρχει εγγενής αβεβαιότητα λόγω της συνεργασίας αστάθμητων παραγόντων που επάγουν αλλαγές στον τρόπο εκτέλεσης κάθε

δραστηριότητας. Η αβεβαιότητα αυτή εκδηλώνεται ως διακυμάνσεις στην διάρκεια και στο κόστος του έργου. Είναι πιο ρεαλιστικό, λοιπόν, να θεωρήσουμε τις διάρκειες των δραστηριοτήτων ως στοχαστικές μεταβλητές.

Η πρώτη απόπειρα εισαγωγής της στοχαστικής ανάλυσης στα δίκτυα έργων οδήγησε στην τεχνική PERT.

Μετά την κατασκευή του δικτύου του έργου γίνεται εκτίμηση της διάρκειας κάθε δραστηριότητας με τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω. Οι διάρκειες των δραστηριοτήτων χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν τόσο ο ενωρίτερος χρόνος έναρξης/λήξης όσο και ο βραδύτερος χρόνος έναρξης/λήξης κάθε δραστηριότητας.

**Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης – ES (Early Start)** μιας δραστηριότητας είναι η συντομότερη χρονική στιγμή έναρξής της, εφόσον οι προηγούμενες δραστηριότητες απ' αυτή έχουν ολοκληρωθεί. Ο χρόνος αυτός είναι ίσος με τη μεγαλύτερη διαδρομή (σε διάρκεια) από τη δραστηριότητα έναρξης μέχρι τη συγκεκριμένη. Ο υπολογισμός των ενωρίτερων χρόνων έναρξης γίνεται με σάρωση του δικτύου από τη δραστηριότητα έναρξης (κόμβος Start) προς τη δραστηριότητα λήξης (κόμβος Finish) υπολογίζοντας διαδοχικά τον ενωρίτερο χρόνο έναρξης που θα πραγματοποιηθεί κάθε δραστηριότητα, αν κάθε προηγούμενη δραστηριότητα πραγματοποιηθεί στο μέγιστο ενωρίτερο χρόνο λήξης της. Συνεπώς,  $ES = \text{maximum}\{EF \text{ από τις αμέσως προηγούμενες δραστηριότητες}\}$ . Ο ενωρίτερος χρόνος έναρξης της δραστηριότητας έναρξης (κόμβος Start) είναι μηδενικός.

**Ενωρίτερος Χρόνος Λήξης – EF (Early Finish)** μιας δραστηριότητας είναι η συντομότερη χρονική στιγμή πραγματοποίησής της. Ο υπολογισμός των ενωρίτερων χρόνων λήξης γίνεται με σάρωση του δικτύου από τη δραστηριότητα έναρξης (κόμβος Start) προς τη δραστηριότητα λήξης (κόμβος Finish) προσθέτοντας στον ενωρίτερο χρόνο έναρξης τη διάρκεια (Duration) της εκάστοτε δραστηριότητας δηλαδή  $EF = ES + Dur$ .

**Βραδύτερος Χρόνος Έναρξης – LS (Late Start)** μιας δραστηριότητας είναι η αργότερη χρονική στιγμή έναρξής της χωρίς να επηρεασθεί η συνολική διάρκεια του έργου. Ο υπολογισμός των χρόνων αυτών γίνεται με σάρωση του δικτύου από την δραστηριότητα λήξης προς την δραστηριότητα έναρξης (από τα δεξιά προς τα αριστερά) αφαιρώντας την διάρκεια (Duration) από τον βραδύτερο χρόνο λήξης της εκάστοτε δραστηριότητας δηλαδή  $LS = LF - Dur$ .

**Βραδύτερος Χρόνος Λήξης – LF (Late Finish)** μιας δραστηριότητας είναι η αργότερη χρονική στιγμή πραγματοποίησής της χωρίς να επηρεασθεί η συνολική



διάρκεια του έργου. Ο χρόνος αυτός είναι ίσο με τη μικρότερη διαδρομή (σε διάρκεια) από τη δραστηριότητα λήξης μέχρι τη συγκεκριμένη. Ο υπολογισμός των βραδύτερων χρόνων λήξης γίνεται με σάρωση του δικτύου από τη δραστηριότητα λήξης προς τη δραστηριότητα έναρξης (από τα δεξιά προς τα αριστερά) υπολογίζοντας κάθε φορά το βραδύτερο χρόνο λήξης κάθε δραστηριότητας, αν κάθε προηγούμενη δραστηριότητα που ακολουθεί πραγματοποιηθεί στον μικρότερο βραδύτερο χρόνο έναρξης της. Συνεπώς,  $LF = \text{minimum}\{LS \text{ από τις αμέσως προηγούμενες δραστηριότητες}\}$ . Στην αρχή της διαδικασίας ο βραδύτερος χρόνος λήξης της δραστηριότητας λήξης θα ισούται με τον μεγαλύτερο από τους χρόνους έναρξης.

**Χρονικό περιθώριο – SL (Slack)** μιας δραστηριότητας είναι η διαφορά μεταξύ του νωρίτερου και του βραδύτερου χρόνου έναρξής της δηλαδή  $LS - ES = SL$  ή η διαφορά μεταξύ του ενωρίτερου και του βραδύτερου χρόνου λήξης της δηλαδή  $LF - EF = SL$ . Το χρονικό περιθώριο μιας δραστηριότητας είναι ο χρόνος που μπορεί να καθυστερήσει η υλοποίησή της χωρίς να καθυστερήσει ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου.

Δραστηριότητες με μηδενικό χρονικό περιθώριο αποτελούν δραστηριότητες που η καθυστέρησή τους συνεπάγεται την καθυστέρηση του έργου. Μια διαδρομή στο δίκτυο, οι δραστηριότητες της οποίας έχουν μηδενικό χρονικό περιθώριο, ονομάζεται **κρίσιμη διαδρομή**. Οι δραστηριότητες που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή ονομάζονται κρίσιμες δραστηριότητες. Η κρίσιμη διαδρομή στο δίκτυο έργου αποτελεί τη διαδρομή με τη μεγαλύτερη διάρκεια.

#### 4.1.5 Μέθοδος της Κρίσιμης Διαδρομής (CPM)

Η μέθοδος CPM (Critical Path Method) ([5], [6]) , η οποία αποκαλείται επίσης και ανάλυση κρίσιμης διαδρομής (CPA, Critical Path Analysis), αναπτύχθηκε γύρω στο 1957 από την εταιρεία Remington Rand Univac, η οποία χρειαζόταν ένα εργαλείο προγραμματισμού και ελέγχου που θα την βοηθούσε να βελτιώσει το χρόνο απόκρισής της, από την παραγωγή ως την πώληση του προϊόντος. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου έγιναν γρήγορα ορατά και τα έξοδα έρευνας αποσβέστηκαν.

Η CPM δημιουργήθηκε αρχικά για να αντιμετωπίσει τη σχέση χρόνου-κόστους που προβλημάτιζε πολύ συχνά τους διευθυντές έργου και προέκυπτε από το γεγονός ότι η σχέση ανάμεσα στο χρόνο μέχρι την ολοκλήρωση (time to complete) και το κόστος μέχρι την ολοκλήρωση (cost to complete) είναι εξαιρετικά πολύπλοκη.

#### 4.1.6 Γραμμικός Προγραμματισμός μια προσέγγιση για την CPM ανάλυση

Το πρόβλημα της εύρεσης του συντομότερου χρόνου υλοποίησης ενός έργου μπορεί να αναπαρασταθεί με τη βοήθεια ενός γραμμικού μοντέλου. Προκειμένου να φτιάξουμε ένα γραμμικό πρόγραμμα για ένα πρόβλημα, υποθέτουμε ότι έχουμε ένα διάγραμμα δικτύου AON (Activity On Node) και τους ακόλουθους ορισμούς:

- $n$  = σύνολο κόμβων.
- $t_{ij}$  = η διάρκεια της δραστηριότητας που αρχίζει στον κόμβο  $i$  και τελειώνει στον κόμβο  $j$ .
- $X_{ij}$  = η δραστηριότητα που αρχίζει στον κόμβο  $i$  και τελειώνει στον κόμβο  $j$ .

Η μορφή που θα έχει το γραμμικό μοντέλο που θα προγραμματίζει όλες τις δραστηριότητες με έναν εφικτό τρόπο, έτσι ώστε το έργο να τελειώνει όσο πιο σύντομα γίνεται, υποθέτοντας ότι αρχίζει τη χρονική στιγμή  $X_{Start}=0$  είναι η εξής:

Αντικειμενική συνάρτηση

$$\text{Maximize} \sum_{\forall ij} t_{ij} X_{ij} \quad (4.1)$$

υπό τους περιορισμούς

$$X_{ij} \geq 0 \quad (4.2)$$

$$\sum_{\forall j} X_{1j} = 1 \quad \forall 1j \quad (4.3)$$

$$-\sum_{\forall i} X_{ik} + \sum_{\forall j} X_{kj} = 0 \quad \forall k \neq 1, n \quad (4.4)$$

$$-\sum_{\forall n} X_{in} = -1 \quad \forall in \quad (4.5)$$

Όπου ο κόμβος 1 συμβολίζει τον κόμβο έναρξης του έργου και ο κόμβος  $n$  τον κόμβο λήξης του έργου.

Ο περιορισμός (4.3) περιορίζει τη 1 μονάδα ροής που μπαίνει στον κόμβο έναρξης 1 να ρέει μόνο προς ένα από τα βέλη που φεύγουν από τον κόμβο έναρξης. Ο περιορισμός (4.4) εκφράζει την αρχή διατήρησης της ροής σε οποιονδήποτε κόμβο, δηλαδή η ροή εισόδου ισούται με τη ροή εξόδου. Επίσης, ο περιορισμός (4.5) δηλώνει ότι μόνο 1 μονάδα ροής φεύγει από τον κόμβο λήξης. Η λύση του γραμμικού προγραμματισμού δίνει τις τιμές των  $X_{ij}$  για όλες τις

δραστηριότητες. Τέλος, σαν κρίσιμο μονοπάτι ορίζεται εκείνο που αποτελείται από δραστηριότητες που έχουν τιμές των  $X_{ij} = 1$ .

## 4.2 Μαθηματική Διατύπωση Προβλήματος

### 4.2.1 Ορισμός των Μεταβλητών του Προβλήματος

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο, πριν προχωρήσουμε στην διατύπωση της αντικειμενικής συνάρτησης και των περιορισμών του προβλήματος, να οριστούν οι μεταβλητές  $X_{ij}$  που θα χρησιμοποιηθούν στην μαθηματική διατύπωση του προβλήματος. Οι μεταβλητές αυτές συμβολίζουν τις δραστηριότητες που έχουν κόμβο έναρξης και κόμβο λήξης, όπως αυτοί παριστάνονται στο διάγραμμα ροής των εργασιών στην Εικόνα 3.1.

**Πίνακας 4.1:** Ορισμός των Μεταβλητών του Προβλήματος .

Δραστηριότητα	Κόμβος Έναρξης	Κόμβος Λήξης
X1	S	2
X2	S	3
X3	S	6
X4	S	7
X5	S	19
X6	S	26
X7	S	33
X8	S	48
X9	S	55
X10	S	56
X11	S	57
X12	S	58
X13	S	59
X14	S	61
X15	S	66
X16	S	72
X17	S	73
X18	S	74
X19	S	78
X20	S	79
X21	S	80
X22	1	86
X23	2	86
X24	3	4
X25	4	5

X26	5	86
X27	6	86
X28	7	8
X29	7	62
X30	8	9
X31	9	18
X32	10	18
X33	11	49
X34	12	49
X35	13	49
X36	14	23
X37	15	23
X38	16	49
X39	17	86
X40	18	49
X41	19	86
X42	20	49
X43	21	49
X44	22	49
X45	23	49
X46	24	49
X47	25	49
X48	26	49
X49	27	49
X50	28	29
X51	29	49
X52	30	49
X53	31	49
X54	32	38
X55	33	46
X56	34	46
X57	35	49
X58	36	49
X59	37	49
X60	38	39
X61	38	49
X62	39	40
X63	40	86
X64	41	49
X65	42	43
X66	42	49
X67	43	86

X68	44	49
X69	45	49
X70	46	15
X71	46	16
X72	46	18
X73	46	21
X74	46	22
X75	46	30
X76	46	31
X77	46	32
X78	46	35
X79	46	36
X80	46	37
X81	46	42
X82	46	45
X83	46	47
X84	47	20
X85	48	86
X86	49	50
X87	49	64
X88	49	67
X89	49	68
X90	49	71
X91	49	76
X92	49	81
X93	50	86
X94	51	86
X95	52	86
X96	53	86
X97	54	86
X98	55	34
X99	56	46
X100	57	46
X101	58	1
X102	58	10
X103	58	11
X104	58	12
X105	58	13
X106	58	14
X107	58	17
X108	58	24
X109	58	25

X110	58	27
X111	58	28
X112	58	34
X113	58	41
X114	58	44
X115	58	47
X116	58	51
X117	58	52
X118	58	53
X119	58	54
X120	59	60
X121	60	68
X122	61	63
X123	61	68
X124	62	86
X125	63	86
X126	64	62
X127	65	86
X128	66	86
X129	67	69
X130	67	77
X131	68	69
X132	68	77
X133	69	86
X134	70	86
X135	71	86
X136	72	86
X137	73	86
X138	74	75
X139	75	70
X140	75	71
X141	76	86
X142	77	86
X143	78	65
X144	79	86
X145	80	81
X146	81	82
X147	81	83
X148	82	84
X149	83	85
X150	84	86
X151	85	86

#### 4.2.2 Αντικειμενική Συνάρτηση

Στα πλαίσια του προβλήματος της παρούσας εργασίας του οποίου το διάγραμμα ροής παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.2 η εξίσωση (4.1) εκφράζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{Maximize obj: } & 10 x_{22} + 11.67 x_{23} + 13.33 x_{24} + 10 x_{25} + 40 x_{26} + 3.67 x_{27} + \\ & 10 x_{28} + 10 x_{29} + 11.67 x_{30} + 10 x_{31} + 13.33 x_{32} + 11.67 x_{33} + 10 x_{34} + 10 \\ & x_{35} + 40 x_{36} + 11.67 x_{37} + 4 x_{38} + 10 x_{39} + 13.33 x_{40} + 10 x_{41} + 20 x_{42} + \\ & 11.67 x_{43} + 10 x_{44} + 23.33 x_{45} + 11.67 x_{46} + 26.67 x_{47} + 20 x_{48} + 14.67 x_{49} + \\ & 9.33 x_{50} + 10 x_{51} + 10 x_{52} + 10 x_{53} + 11.67 x_{54} + 11.67 x_{55} + 10 x_{56} + 13.33 \\ & x_{57} + 11.67 x_{58} + 10 x_{59} + 15 x_{60} + 15 x_{61} + 11.67 x_{62} + 13.33 x_{63} + 10 x_{64} + \\ & 8.33 x_{65} + 8.33 x_{66} + 10 x_{67} + 8.33 x_{68} + 11.67 x_{69} + 20 x_{70} + 20 x_{71} + 20 x_{72} \\ & + 20 x_{73} + 20 x_{74} + 20 x_{75} + 20 x_{76} + 20 x_{77} + 20 x_{78} + 20 x_{79} + 20 x_{80} + 20 \\ & x_{81} + 20 x_{82} + 20 x_{83} + 22.67 x_{84} + 5 x_{85} + 30 x_{86} + 30 x_{87} + 30 x_{88} + 30 x_{89} \\ & + 30 x_{90} + 30 x_{91} + 30 x_{92} + 44 x_{93} + 20 x_{94} + 50 x_{95} + 8.33 x_{96} + 6.67 x_{97} + \\ & 11.67 x_{98} + 11.67 x_{99} + 11.67 x_{100} + 30 x_{101} + 30 x_{102} + 30 x_{103} + 30 x_{104} + \\ & 30 x_{105} + 30 x_{106} + 30 x_{107} + 30 x_{108} + 30 x_{109} + 30 x_{110} + 30 x_{111} + 30 \\ & x_{112} + 30 x_{113} + 30 x_{114} + 30 x_{115} + 30 x_{116} + 30 x_{117} + 30 x_{118} + 30 x_{119} + \\ & 64 x_{120} + 20 x_{121} + 80 x_{122} + 80 x_{123} + 6 x_{124} + 4 x_{125} + 10 x_{126} + 10 x_{127} + \\ & 6 x_{128} + 5 x_{129} + 5 x_{130} + 36 x_{131} + 36 x_{132} + 20 x_{133} + 5 x_{134} + 10 x_{135} + \\ & 10 x_{136} + 6 x_{137} + 30 x_{138} + 10 x_{139} + 10 x_{140} + 20 x_{141} + 46 x_{142} + 20 x_{143} \\ & + 4 x_{144} + 6.67 x_{145} + 10 x_{146} + 10 x_{147} + 3.33 x_{148} + 6.67 x_{149} + 6.67 x_{150} \\ & + 3.33 x_{151} \end{aligned}$$

#### 4.2.3 Περιορισμοί

Στα πλαίσια του προβλήματος της παρούσας εργασίας του οποίου το διάγραμμα ροής παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.2 η εξίσωση (4.3) εκφράζεται ως εξής:

$$c1: x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} = 1$$

Στα πλαίσια του προβλήματος της παρούσας εργασίας του οποίου το διάγραμμα ροής παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.2 η εξίσωση (4.4) εκφράζεται ως εξής:

$$c2: x_{22} - x_{101} = 0$$

$$c3: -x_1 + x_{23} = 0$$

$$c4: -x_2 + x_{24} = 0$$

$$c5: -x_{24} + x_{25} = 0$$

$$c6: -x_{25} + x_{26} = 0$$

$$c7: -x_3 + x_{27} = 0$$

$$c8: -x_4 + x_{28} + x_{29} = 0$$

$$c9: -x_{28} + x_{30} = 0$$

$$c10: -x_{30} + x_{31} = 0$$

$$c11: x_{32} - x_{102} = 0$$

$$c12: x_{33} - x_{103} = 0$$

$$c13: x_{34} - x_{104} = 0$$

$$c14: x_{35} - x_{105} = 0$$

$$c15: x_{36} - x_{106} = 0$$

$$c16: x_{37} - x_{70} = 0$$

$$c17: x_{38} - x_{71} = 0$$

$$c18: x_{39} - x_{107} = 0$$

$$c19: -x_{31} - x_{32} + x_{40} - x_{72} = 0$$

$$c20: -x_5 + x_{41} = 0$$

$$c21: x_{42} - x_{84} = 0$$

$$c22: x_{43} - x_{73} = 0$$

$$c23: x_{44} - x_{74} = 0$$

$$c24: -x_{36} - x_{37} + x_{45} = 0$$

$$c25: x_{46} - x_{108} = 0$$

$$c26: x_{47} - x_{109} = 0$$

$$c27: -x_6 + x_{48} = 0$$

$$c28: x_{49} - x_{110} = 0$$

$$c29: x_{50} - x_{111} = 0$$

$$c30: -x_{50} + x_{51} = 0$$

$$c31: x_{52} - x_{75} = 0$$

$$c32: x_{53} - x_{76} = 0$$

$$c33: x_{54} - x_{77} = 0$$

$$c34: -x_7 + x_{55} = 0$$



$$c35: x56 - x98 - x112 = 0$$

$$c36: x57 - x78 = 0$$

$$c37: x58 - x79 = 0$$

$$c38: x59 - x80 = 0$$

$$c39: -x54 + x60 + x61 = 0$$

$$c40: -x60 + x62 = 0$$

$$c41: -x62 + x63 = 0$$

$$c42: x64 - x113 = 0$$

$$c43: x65 + x66 - x81 = 0$$

$$c44: -x65 + x67 = 0$$

$$c45: x68 - x114 = 0$$

$$c46: x69 - x82 = 0$$

$$c47: -x55 - x56 + x70 + x71 + x72 + x73 + x74 + x75 + x76 + x77 + x78 + x79 + x80 + x81 + x82 + x83 - x99 - x100 = 0$$

$$c48: -x83 + x84 - x115 = 0$$

$$c49: -x8 + x85 = 0$$

$$c50: -x33 - x34 - x35 - x38 - x40 - x42 - x43 - x44 - x45 - x46 - x47 - x48 - x49 - x51 - x52 - x53 - x57 - x58 - x59 - x61 - x64 - x66 - x68 - x69 + x86 + x87 + x88 + x89 + x90 + x91 + x92 = 0$$

$$c51: -x86 + x93 = 0$$

$$c52: x94 - x116 = 0$$

$$c53: x95 - x117 = 0$$

$$c54: x96 - x118 = 0$$

$$c55: x97 - x119 = 0$$

$$c56: -x9 + x98 = 0$$

$$c57: -x10 + x99 = 0$$

$$c58: -x11 + x100 = 0$$

$$c59: -x12 + x101 + x102 + x103 + x104 + x105 + x106 + x107 + x108 + x109 + x110 + x111 + x112 + x113 + x114 + x115 + x116 + x117 + x118 + x119 = 0$$

$$c60: -x_{13} + x_{120} = 0$$

$$c61: -x_{120} + x_{121} = 0$$

$$c62: -x_{14} + x_{122} + x_{123} = 0$$

$$c63: -x_{29} + x_{124} - x_{126} = 0$$

$$c64: -x_{122} + x_{125} = 0$$

$$c65: -x_{87} + x_{126} = 0$$

$$c66: x_{127} - x_{143} = 0$$

$$c67: -x_{15} + x_{128} = 0$$

$$c68: -x_{88} + x_{129} + x_{130} = 0$$

$$c69: -x_{89} - x_{121} - x_{123} + x_{131} + x_{132} = 0$$

$$c70: -x_{129} - x_{131} + x_{133} = 0$$

$$c71: x_{134} - x_{139} = 0$$

$$c72: -x_{90} + x_{135} - x_{140} = 0$$

$$c73: -x_{16} + x_{136} = 0$$

$$c74: -x_{17} + x_{137} = 0$$

$$c75: -x_{18} + x_{138} = 0$$

$$c76: -x_{138} + x_{139} + x_{140} = 0$$

$$c77: -x_{91} + x_{141} = 0$$

$$c78: -x_{130} - x_{132} + x_{142} = 0$$

$$c79: -x_{19} + x_{143} = 0$$

$$c80: -x_{20} + x_{144} = 0$$

$$c81: -x_{21} + x_{145} = 0$$

$$c82: -x_{92} - x_{145} + x_{146} + x_{147} = 0$$

$$c83: -x_{146} + x_{148} = 0$$

$$c84: -x_{147} + x_{149} = 0$$

$$c85: -x_{148} + x_{150} = 0$$

$$c86: -x_{149} + x_{151} = 0$$

Στα πλαίσια του προβλήματος της παρούσας εργασίας του οποίου το διάγραμμα ροής παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.2 η εξίσωση (4.5) εκφράζεται ως εξής:

$$c87: x_{22} + x_{23} + x_{26} + x_{27} + x_{39} + x_{41} + x_{63} + x_{67} + x_{85} + x_{93} + x_{94} + x_{95} + x_{96} + x_{97} + x_{124} + x_{125} + x_{127} + x_{128} + x_{133} + x_{134} + x_{135} + x_{136} + x_{137} + x_{141} + x_{142} + x_{144} + x_{150} + x_{151} = 1$$

Στα πλαίσια του προβλήματος της παρούσας εργασίας του οποίου το διάγραμμα ροής παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.2 η εξίσωση (4.1) εκφράζεται ως εξής:

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, 151$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Πειραματικές Αναλύσεις

### 5.1 Πειραματική Ανάλυση με 1 Διαθέσιμο Πόρο για κάθε εργασία

Χρησιμοποιώντας τον κώδικα που αναπτύχθηκε και παρουσιάζεται στο Παράρτημα της παρούσας Μεταπτυχιακής εργασίας και λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε εργασία μπορεί να διεξαχθεί κάθε φορά αποκλειστικά από έναν διαθέσιμο πόρο, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη την χρονική διάρκεια κάθε εργασίας από τον Πίνακα 3.1, Πίνακα 3.2 και Πίνακα 3.3, υπολογίστηκε η κρίσιμη διαδρομή. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης, όπως αυτά εξήχθησαν από την CPLEX ([4]) παρουσιάζονται στα γραφήματα 5.1 και 5.2.

```
Incumbent solution
Variable Name      Solution Value
x42                1.000000
x56                1.000000
x83                1.000000
x84                1.000000
x89                1.000000
x112               1.000000
x132               1.000000
x142               1.000000
x12                1.000000
All other variables in the range 1-151 are 0.
CPLEX>
```

**Εικόνα 5.1:** Δραστηριότητες της κρίσιμης διαδρομής.

Η κρίσιμη διαδρομή παρουσιάζεται και με κόκκινο χρώμα στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα. Ο υπολογιστικός χρόνος για την ανάλυση

που πραγματοποιήθηκε, λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχουν 21 διαθέσιμοι πόροι, ανέρχεται σε 644 min, όπως φαίνεται και στο γράφημα 5.2.

```
CPLEX> read prob.lp
Problem 'prob.lp' read.
Read time = 0.17 sec. (0.01 ticks)
CPLEX> optimize
Tried aggregator 4 times.
MIP Presolve eliminated 2 rows and 66 columns.
Aggregator did 85 substitutions.
All rows and columns eliminated.
Presolve time = 0.06 sec. (0.26 ticks)

Root node processing (before b&c):
  Real time                =    0.20 sec. (0.28 ticks)
Parallel b&c, 2 threads:
  Real time                =    0.00 sec. (0.00 ticks)
  Sync time (average)      =    0.00 sec.
  Wait time (average)      =    0.00 sec.
-----
Total (root+branch&cut) =    0.20 sec. (0.28 ticks)

Solution pool: 1 solution saved.

MIP - Integer optimal solution: Objective = 6.440000000000e+002
Solution time =    0.23 sec. Iterations = 0 Nodes = 0
Deterministic time = 0.28 ticks (1.19 ticks/sec)

CPLEX>
```

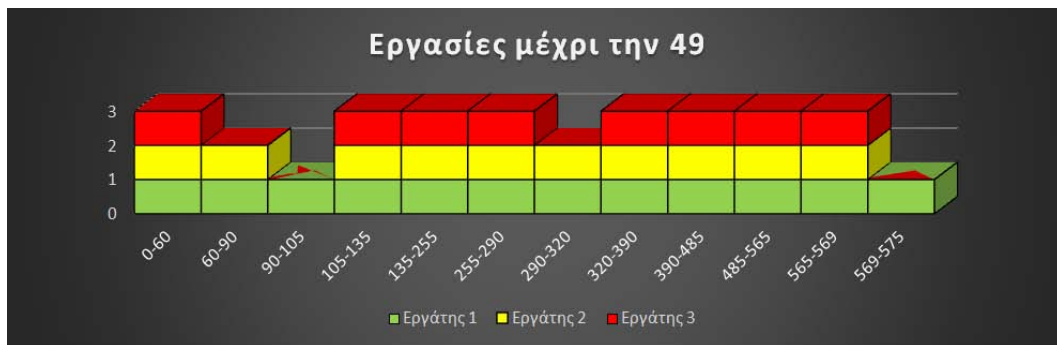
**Εικόνα 5.2:** Υπολογιστικός χρόνος της διαδικασίας βελτιστοποίησης

Βασικό στόχο του χρονικού προγραμματισμού αποτελεί η μείωση του χρόνου περάτωσης των εργασιών και η αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων με το βέλτιστο συνδυασμό. Για τον λόγο αυτό στην παράγραφο 5.2 διερευνάται πώς μπορεί να μειωθεί ο αριθμός των διαθέσιμων πόρων που χρησιμοποιείται σε κάθε στάδιο και να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος των εργασιών. Τέλος στην παράγραφο 5.3 διερευνάται η εξάρτηση του χρόνου περάτωσης των εργασιών από τους διαθέσιμους πόρους.

## 5.2 Διερεύνηση μείωσης διαθέσιμων πόρων και χρόνου περάτωσης εργασιών

### 5.2.1 Διερεύνηση μέχρι τον κόμβο 49.

Αρχικά διερευνάται πώς μπορεί να μειωθεί ο χρόνος των εργασιών μέχρι τον κόμβο 49 όπως αυτός φαίνεται στο διάγραμμα ροής των εργασιών που απεικονίζεται στην Εικόνα 3.1 Παρατηρούμε από τις ακόλουθες αναλύσεις ότι στην περίπτωση ύπαρξης 2 ή και 3 διαθέσιμων πόρων μπορούν να εξοικονομηθούν 15 λεπτά.



**Γράφημα 5.1:** Διεργασίες μέχρι τον κόμβο 49.

Από την χρονική στιγμή 0 έως 105 γίνονται οι εξής διεργασίες:

Εργάτης 1 : 56(35m), 57(35m), 33(35m)

Εργάτης 2: 58(90m)

Εργάτης 3: 26(60m)

Από την χρονική στιγμή 105 έως 135 γίνονται οι εξής διεργασίες:

Εργάτης 1 : 34(30m)

Εργάτης 2: 13(30m)

Εργάτης 3: 12(30m)

Από την χρονική στιγμή 135 έως 255 γίνονται οι εξής διεργασίες:

Εργάτης 1 : 46(60m), 22(30m), 30(30min)

Εργάτης 2: 25(80m), 35(40m)

Εργάτης 3: 14(120min)

Από την χρονική στιγμή 255 έως 290 γίνονται οι εξής διεργασίες:

Εργάτης 1 : 21(35m)

Εργάτης 2: 15(35m)

Εργάτης 3: 11(35m)

Από την χρονική στιγμή 290 έως 320 γίνονται οι εξής διεργασίες:

Εργάτης 1 : 31(30m)

Εργάτης 2: 37(30m)

Από την χρονική στιγμή 320 έως 390 γίνονται οι εξής διεργασίες:

Εργάτης 1 : 23(70m)

Εργάτης 2: 24(35m), 36(35m)

Εργάτης 3: 32(35m), 45(35m)

Από την χρονική στιγμή 390 έως 485 γίνονται οι εξής διεργασίες:

Εργάτης 1 : 16(12m), 28(28m), 41(30m), 44(25m)

Εργάτης 2: 42(25m), 47(68m)

Εργάτης 3: 7(30min), 8(35m), 9(30m)

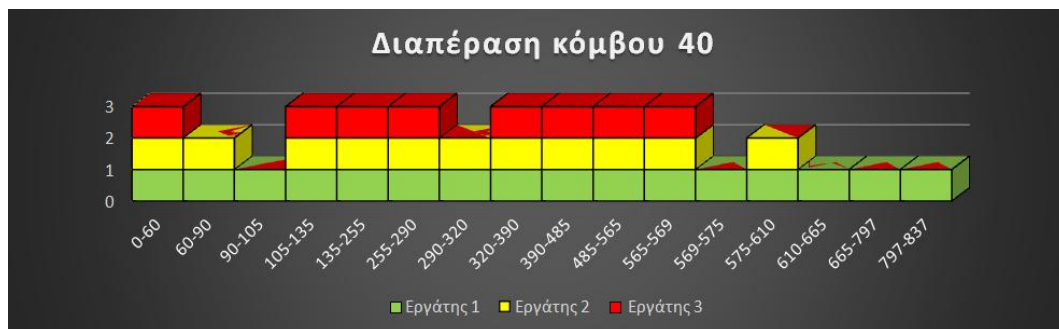
Από την χρονική στιγμή 485 έως 575 γίνονται οι εξής διεργασίες

Εργάτης 1 : 20(60m), 29(30m)

Εργάτης 2 : 18(40m), 27(45m)

Εργάτης 3: 10(40m), 38(45m)

### 5.2.2 Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 40



**Γράφημα 5.2:** Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 40.

Από την χρονική στιγμή 575 έως 665 γίνονται οι εξής διεργασίες:

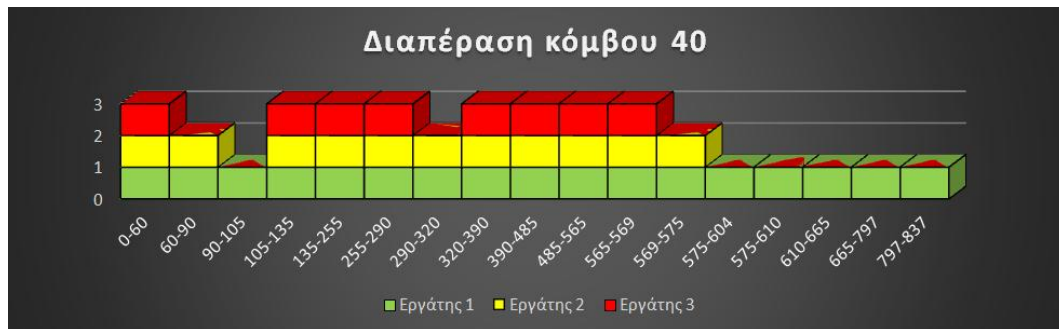
Εργάτης 1 : 49(90m)

Εργάτης 2: 39(35m)

Από την χρονική στιγμή 665 έως 837 γίνονται οι εξής διεργασίες:

Εργάτης 1 : 50(132m), 40(40m)

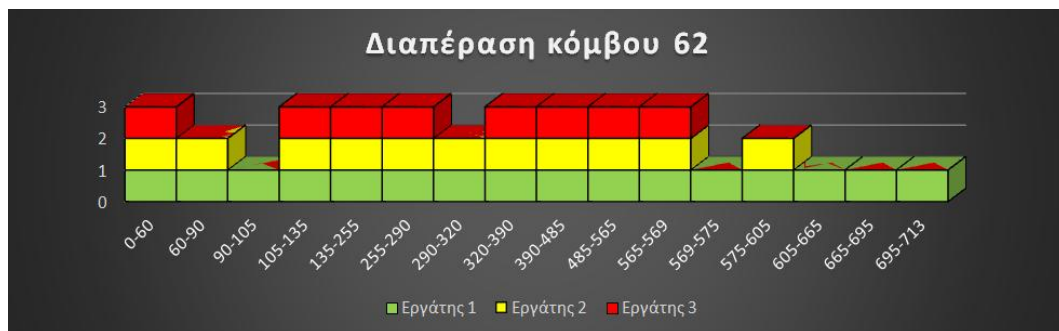
Αν επεξεργαστούμε την διεργασία 39 διάρκειας 35 λεπτών τη χρονική στιγμή 569-604 αντί για 575-610 εξοικονομούμε την χρήση και άλλου πόρου μετά το 604 λεπτό. Οπότε προκύπτει το ακόλουθο γράφημα:



**Γράφημα 5.3:** Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 40 μετά την εξοικονόμηση πόρου.

Παρατηρούμε στο Γράφημα 5.3 ότι στην περίπτωση ύπαρξης 2 πόρων εξοικονομείται σημαντικός χρόνος της τάξεως των 227 λεπτών. Επίσης σημαντική είναι και η ύπαρξη τρίτου πόρου καθώς στην περίπτωση αυτή ο υπολογιστικός χρόνος μειώνεται σημαντικά κατά 328 λεπτά.

### 5.2.3 Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 62



**Γράφημα 5.4:** Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 62.

Από την χρονική στιγμή 575 έως 665 γίνονται οι εξής διεργασίες:

Εργάτης 1 : 49(90m)

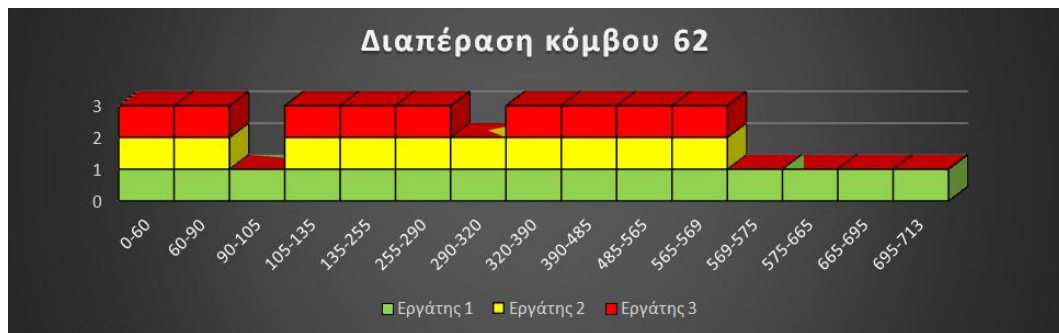
Εργάτης 2: 7(30m)

Από την χρονική στιγμή 665 έως 713 γίνονται οι εξής διεργασίες:

Εργάτης 1 : 64(30m), 62(18m)

Αν επεξεργαστούμε την διεργασία 7 διάρκειας 30 λεπτών τη χρονική στιγμή 60-90 αντί για 575-605 εξοικονομούμε την χρήση και άλλου πόρου μετά το 575 λεπτό. Οπότε προκύπτει το ακόλουθο γράφημα:

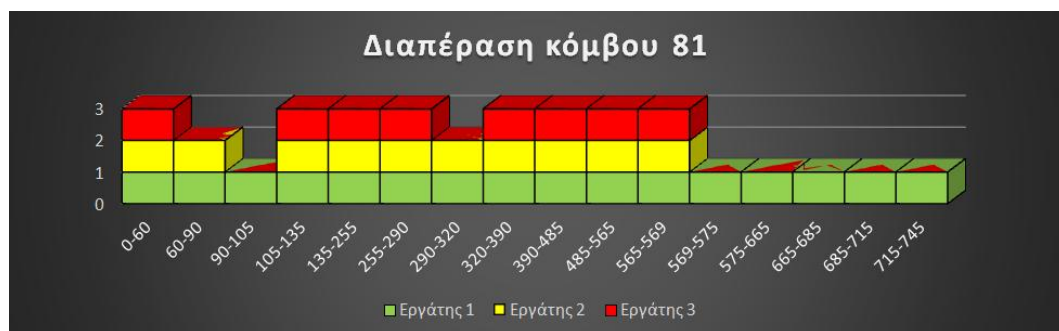




**Γράφημα 5.5:** Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 62 μετά την εξοικονόμηση πόρου.

Παρατηρούμε στο Γράφημα 5.5 ότι στην περίπτωση ύπαρξης 2 ή 3 πόρων εξοικονομείται σημαντικός χρόνος της τάξεως των 147 λεπτών. Επίσης η ύπαρξη τρίτου πόρου δεν παίζει ρόλο καθώς λόγω της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων δεν μπορεί να αξιοποιηθεί για περεταίρω μείωση του υπολογιστικού χρόνου.

#### 5.2.4 Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 81

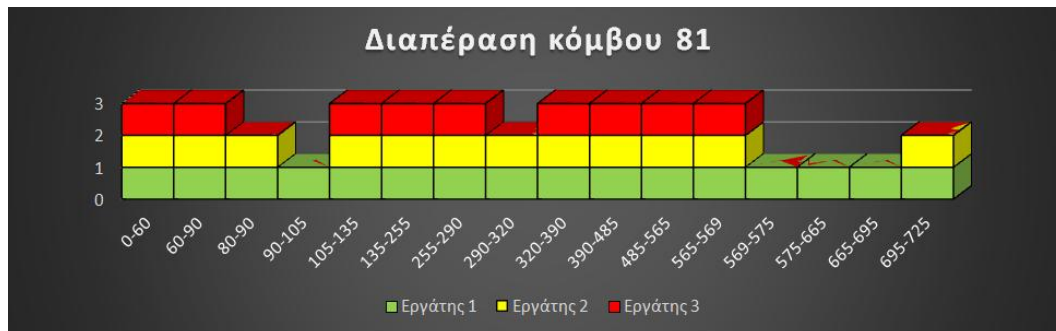


**Γράφημα 5.6:** Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 81.

Από την χρονική στιγμή 575 έως 665 γίνονται οι εξής διεργασίες:  
Εργάτης 1 : 49(90m)

Από την χρονική στιγμή 665 έως 745 γίνονται οι εξής διεργασίες:  
Εργάτης 1 : 80(20m), 81(30m), 83(20m), 85(10m)

Ξεκινώντας την διεργασία 80 την χρονική στιγμή 60 εξοικονομούμε 20 λεπτά συνολικού χρόνου. Επίσης όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα παρατηρούμε ότι τη χρονική στιγμή 695-725 μπορούν να γίνουν και οι διεργασίες 82(10m) και 84(10m) με τη χρήση ενός επιπλέον πόρου και να τελειώσουμε και αυτή τη γραμμή εργασιών. Οπότε προκύπτει το ακόλουθο γράφημα:



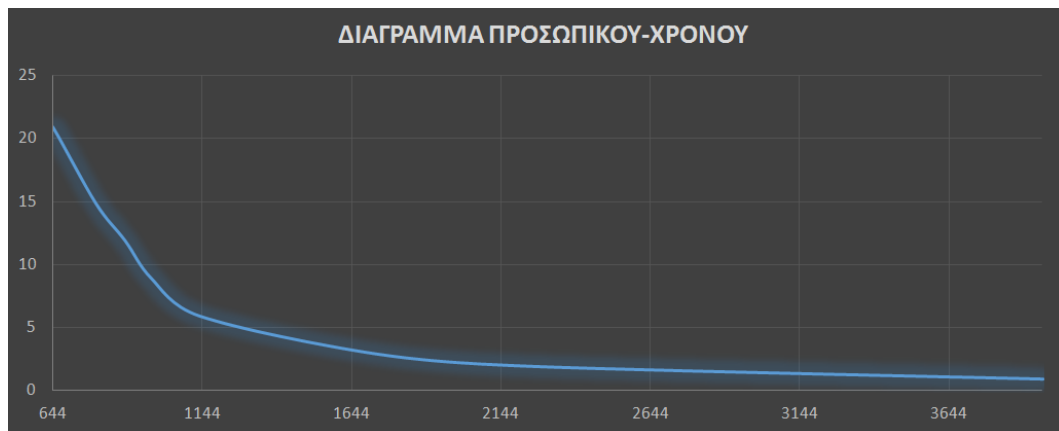
**Γράφημα 5.7:** Διαπέραση μέχρι τον κόμβο 81 μετά την εξοικονόμηση πόρου.

Παρατηρούμε στο Γράφημα 5.7 ότι στην περίπτωση ύπαρξης 2 πόρων δεν εξοικονομείται σημαντικός χρόνος λόγω της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων που δεν μπορεί να διακοπεί. Σημαντική όμως είναι η ύπαρξη τρίτου πόρου καθώς στην περίπτωση αυτή ο υπολογιστικός χρόνος μειώνεται σημαντικά κατά 156 λεπτά.

### 5.3 Εξάρτηση του χρόνου περάτωσης των εργασιών από τους διαθέσιμους πόρους.

Στην παράγραφο 5.3 της παρούσας εργασίας μελετήθηκε η εξάρτηση του χρόνου περάτωσης των εργασιών από το πλήθος των διαθέσιμων πόρων.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας το διάγραμμα ροής των εργασιών που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3 και πραγματοποιώντας παραμετρική ανάλυση, είδαμε την εξάρτηση του χρόνου περάτωσης των εργασιών σε συνάρτηση με το πλήθος των διαθέσιμων πόρων (αριθμός τεχνιτών). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στο γράφημα 5.10. Παρατηρήσαμε, ότι με μικρή αύξηση των διαθέσιμων πόρων από 1 σε 6, σημειώθηκε σημαντική μείωση του χρόνου περάτωσης των εργασιών από 3956 σε 1132 min δηλαδή στο ένα τρίτο του αρχικού χρόνου όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1. Στην περίπτωση μάλιστα που υπάρχουν 21 διαθέσιμοι τεχνίτες παρατηρήσαμε δραματική μείωση του χρόνου σε 644 min. Η μείωση αυτή επιτεύχθηκε κυρίως από το γεγονός ότι στην περίπτωση που υπάρχουν 21 διαθέσιμοι τεχνίτες, οι 21 δραστηριότητες που δεν έχουν άλλες προαπαιτούμενες εργασίες μπορούν να εκτελεστούν όλες παράλληλα με αποτέλεσμα να έχουμε σημαντική μείωση του χρόνου περάτωσης των εργασιών.



**Γράφημα 5.8:** Διάγραμμα του χρόνου περάτωσης των εργασιών σε συνάρτηση με το πλήθος των διαθέσιμων πόρων.

**Πίνακας 5.1:** Χρόνος περάτωσης των εργασιών σε συνάρτηση με το πλήθος των διαθέσιμων πόρων.

Χρόνος	Διαθέσιμοι Πόροι
644	21
783	18
882	15
970	12
1004	9
1132	6
1722	3
2253	2
3956	1

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα

### 6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετήθηκε το πρόβλημα του προγραμματισμού των εργασιών προληπτικής συντήρησης δευτέρου κλιμακίου του άρματος Leopard 1A5. Το πρόβλημα αυτό περιλαμβάνει την ικανοποίηση συγκεκριμένων απαιτήσεων σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές που υπάρχουν, και στόχος είναι η ολοκλήρωση των εργασιών στο μικρότερο χρονικό διάστημα και με τους λιγότερους δυνατούς πόρους.

Στο πλαίσιο της μελέτης του εν λόγω προβλήματος, αναπτύχθηκε κώδικας σε περιβάλλον CPLEX, προκειμένου να γίνει ο προγραμματισμός των εργασιών έτσι ώστε να εκτελούνται με τον βέλτιστο συνδυασμό και να έχουμε δραματική μείωση του χρόνου της διαδικασίας συντήρησης του άρματος Leopard 1 A5.

Από την έρευνα στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είδαμε ότι στο πλαίσιο των εργασιών συντήρησης του σκάφους του άρματος πραγματοποιούνται 58 εργασίες, η συνολική χρονική διάρκεια των οποίων ανέρχεται σε 2.346 λεπτά, δηλαδή σε περίπου 6 ημέρες λαμβάνονται υπόψη ότι ο πραγματικός χρόνος εργασίας σε 1 εργάσιμη ημέρα υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε 7 ώρες. Επίσης είδαμε ότι στον πύργο του οχήματος πραγματοποιούνται συνολικά 21 εργασίες συντήρησης με χρονική διάρκεια 1.185 λεπτά, δηλαδή περίπου 3 ημέρες. Τέλος, στο σύστημα τηλεπικοινωνιών πραγματοποιούνται συνολικά 6 εργασίες, η χρονική διάρκεια των οποίων ανέρχεται σε 110 λεπτά, δηλαδή περίπου 2 ώρες. Άρα η διαδικασία συντήρησης του άρματος Leopard 1

A5 είδαμε ότι χρονικά με βάση το βιβλίο εργασιών ανέρχεται σε 10 περίπου ημέρες με την προϋπόθεση ότι οι εργασίες θα πραγματοποιούνταν όλες με τη σειρά, χωρίς να υπάρχει επαλληλία εργασιών. Στην πραγματικότητα όμως αυτό δεν ισχύει, καθώς υπάρχει εργατικό δυναμικό περισσότερο του ενός τεχνίτη και υπάρχει ταυτόχρονη εκτέλεση εργασιών.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας το διάγραμμα ροής των εργασιών που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3 και πραγματοποιώντας παραμετρική ανάλυση, είδαμε την εξάρτηση του χρόνου περάτωσης των εργασιών σε συνάρτηση με το πλήθος των διαθέσιμων πόρων (αριθμός τεχνιτών). Παρατηρήσαμε, ότι με μικρή αύξηση των διαθέσιμων πόρων από 1 σε 6, σημειώθηκε σημαντική μείωση του χρόνου περάτωσης των εργασιών από 3956 σε 1132 min δηλαδή στο ένα τρίτο του αρχικού χρόνου. Στην περίπτωση μάλιστα που υπάρχουν 21 διαθέσιμοι τεχνίτες παρατηρήσαμε δραματική μείωση του χρόνου σε 644 min. Η μείωση αυτή επιτεύχθηκε κυρίως από το γεγονός ότι στην περίπτωση που υπάρχουν 21 διαθέσιμοι τεχνίτες, οι 21 δραστηριότητες που δεν έχουν άλλες προαπαιτούμενες εργασίες μπορούν να εκτελεστούν όλες παράλληλα με αποτέλεσμα να έχουμε σημαντική μείωση του χρόνου περάτωσης των εργασιών.

## 6.2 Μελλοντική Έρευνα

Βασική παράμετρο στις παραπάνω αναλύσεις αποτέλεσε το γεγονός ότι κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί αποκλειστικά από έναν μόνο τεχνίτη κάθε φορά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε στο μέλλον η εξερεύνηση της μείωσης του χρόνου περάτωσης των εργασιών στην περίπτωση που κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί συνδυαστικά από περισσότερους από έναν τεχνίτες.

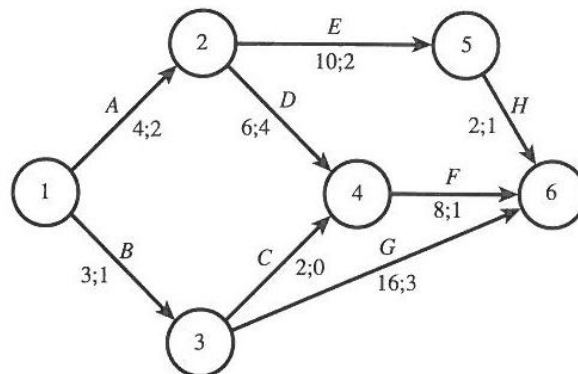
Ουσιαστικά, αναφερόμαστε στην εισαγωγή της θεωρίας του “scheduling” στο παραπάνω πρόβλημα. Η επιβολή περιορισμών όσον αφορά τους διαθέσιμους πόρους για την εκτέλεση των δραστηριοτήτων οδηγεί σε αύξηση του χρόνου ολοκλήρωσης της διεξαγωγής του προβλήματος. Η εύρεση λοιπόν των βέλτιστων λύσεων στο πρόβλημα, είναι δύσκολο να επιτευχθεί ειδικά στην περίπτωση δικτύων μεγάλης κλίμακας.

Μία μέθοδο προσέγγισης του προβλήματος αποτελεί η χρήση ευρετικών τεχνικών επίλυσης (*heuristic solution techniques*). Με τον όρο ευρετικός αναφερόμαστε σε μία ομάδα κανόνων απόφασης οι οποίοι είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε βέλτιστη λύση, χωρίς όμως να εγγυώνται την ύπαρξη βέλτιστου. Με άλλα λόγια, η ευρετική λύση μπορεί να οδηγήσει σε βέλτιστη λύση για μερικά προβλήματα ενώ

για άλλα όχι. Ακολουθώς παρουσιάζεται ο ROT Αλγόριθμος, ένας από τους πιο υποσχόμενους ανάμεσα στους ευρετικούς αλγορίθμους, οι οποίοι έχει αποδειχθεί ότι επιτυγχάνουν βέλτιστη ή σχεδόν βέλτιστη λύση στο πρόβλημα του scheduling υπό περιορισμένους πόρους.

### 6.2.1 ROT Αλγόριθμος

Ο Elsayed [21] ανέπτυξε τον ROT Αλγόριθμο, έναν ευρετικό αλγόριθμο για τον προγραμματισμό της διάθεσης των πόρων έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η χρονική διάρκεια του έργου. Το κριτήριο για την διάθεση ενός είδους πόρου στις δραστηριότητες του δικτύου βασίζεται στο ROT (resources over time), το οποίο υπολογίζεται ως η μέγιστη ROT τιμή που διαθέτει μια δραστηριότητα σε οποιοδήποτε μονοπάτι. Η διαδικασία αυτή είναι παρόμοια με την διαδικασία υπολογισμού της χρονικής διάρκειας του κρίσιμου μονοπατιού μέσα από το δίκτυο υποθέτοντας ότι ο κόμβος έναρξης για κάθε δραστηριότητα θεωρείται ο κόμβος έναρξης του δικτύου.



**Εικόνα 6.1:** Δίκτυο Εργασιών Με Περιορισμό Αποθεμάτων. Χρόνος ;  
Αποθέματα

Για παράδειγμα, στο δίκτυο που παρουσιάζεται στο Γράφημα 6.1, η ROT τιμή για την δραστηριότητα A υπολογίζεται ως εξής:

$$ROT(A) = \max \left\{ \frac{2}{4} + \frac{4}{6} + \frac{1}{8}, \frac{2}{4} + \frac{2}{10} + \frac{1}{2} \right\} = 1.291 \quad (4.1)$$

Αφού υπολογισθούν οι ROT τιμές για κάθε δραστηριότητα, οι δραστηριότητες ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά με βάση την ROT τιμή τους, και οι δεσμοί τους μπορούν να διακοπούν αυθαιρέτως. Ο TEARL μιας δραστηριότητας υπολογίζεται ως ο νωρίτερος χρόνος να προγραμματιστεί η δραστηριότητα υπό

τον περιορισμό της αλληλουχίας και των χρονικών περιορισμών. Με άλλα λόγια, ο TEARL μιας δραστηριότητας θεωρείται ως ο βραδύτερος TFIN (Χρόνος Λήξης) από όλες τις αμέσως προηγούμενες δραστηριότητες. Ορίζουμε λοιπόν ως TSTART τον πραγματικό χρόνο έναρξης της δραστηριότητας αν ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί των διαθέσιμων πόρων, της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων και του χρόνου. Εάν δεν ληφθεί υπόψη ο περιορισμός των διαθέσιμων πόρων, τότε  $TEARL = TSTART$ . Μέσα από το παράδειγμα υπολογισμού της ελάχιστης διάρκειας του δικτύου που παρουσιάστηκε στην Εικόνα 6.1 στην περίπτωση ύπαρξης 4 μονάδων διαθέσιμων πόρων, θα γίνει σαφής η διαδικασία υπολογισμού του TSTART. Επίσης ιδιαίτερης σημασίας θεωρείται να δοθούν οι ορισμοί των TFIN και TNOW. Ως TFIN ορίζεται ο χρόνος ολοκλήρωσης κάθε δραστηριότητας. Ο χρόνος αυτός ισούται με το άθροισμα του TSTART και της διάρκειας της δραστηριότητας. Ως TNOW ορίζεται ο χρόνος στον οποίον ξεκινάει η ανάθεση των πόρων. Αρχικά, η τιμή 0 εκχωρείται στο TNOW, αλλά, σταδιακά το TNOW παίρνει σαν τιμή το ελάχιστο TFIN.

Ακολούθως παρουσιάζεται η εφαρμογή του ROT αλγορίθμου μέσα από το παράδειγμα υπολογισμού της ελάχιστης διάρκειας του δικτύου που παρουσιάστηκε στην Εικόνα 6.1 στην περίπτωση ύπαρξης 4 μονάδων διαθέσιμων πόρων. Τα βήματα του ROT αλγορίθμου συνοψίζονται ως εξής:

1. Αρχικά καθορίζουμε για κάθε δραστηριότητα την μέγιστη ROT τιμή, όπως αυτή υπολογίστηκε για την Δραστηριότητα A μέσα από την σχέση (6.1).
2. Ταξινομούνται οι δραστηριότητες κατά φθίνουσα σειρά της ROT τιμής. Οι δεσμοί των αλληλουχιών διακόπτονται ταξινομώντας πρώτα την δραστηριότητα μεγαλύτερης διάρκειας όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1 που ακολουθεί.
3. Ξεκινάμε με  $TNOW=0$  και διαθέσιμους πόρους=4. Οι δραστηριότητες που επιτρέπεται να ξεκινήσουν την χρονική στιγμή  $TNOW=0$  είναι οι 1-2 και οι 1-3, και εισάγονται στον Πίνακα 6.1 σύμφωνα με τις ROT τιμές τους.

**Πίνακας 6.1:** Ταξινόμηση των δραστηριοτήτων του Δικτύου της Εικόνας 6.1 με βάση την ROT Τιμή

Δραστηριότητα	ROT
1-2	1.291
1-3	0.520
2-4	0.791
2-5	0.700
3-4	0.125
3-6	0.187
4-6	0.125
5-6	0.500

4. Διαθέτουμε δύο από τους πόρους στην δραστηριότητα 1-2 και έναν από τους πόρους στην δραστηριότητα 1-3. Επίσης θέτουμε τον πραγματικό χρόνο έναρξης για τις δραστηριότητες αυτές ίσο με το μηδέν όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2. Ο χρόνος TFIN για τις δραστηριότητες αυτές υπολογίζεται προσθέτοντας τον χρόνο TSTART και την διάρκεια της δραστηριότητας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τους χρόνους TFIN όπως φαίνονται στον Πίνακα 6.2. Περισεύει όμως ένας πόρος, ο οποίος όμως δεν μπορεί να διατεθεί για καμία από τις επόμενες δραστηριότητες (3-6 και 3-4) καθώς και οι δυο απαιτούν την ολοκλήρωση της δραστηριότητας 1-3.

5. Προχωράμε στην επόμενη επανάληψη θέτοντας ως TNOW την ελάχιστη τιμή από τους διαθέσιμους χρόνους TFIN. Οπότε  $TNOW = \min\{3,4\} = 3$ .

6. Τη χρονική στιγμή  $TNOW = 3$  είναι διαθέσιμοι δύο πόροι, ένας που δεν χρησιμοποιήθηκε στην προηγούμενη επανάληψη για  $TNOW = 0$  και ένας που απελευθερώθηκε μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας 1-3. Οι δραστηριότητες που μπορούν να προγραμματιστούν είναι οι 3-6 και οι 3-4 επειδή έχει ολοκληρωθεί η δραστηριότητα 1-3 και έχουν την ελάχιστη τιμή TEARL. Επειδή για την δραστηριότητα 3-6 απαιτούνται 3 πόροι και υπάρχουν διαθέσιμοι μόνο 2, οι πόροι αυτοί θα διατεθούν για την δραστηριότητα 3-4 για την οποία δεν απαιτούνται πόροι. Οπότε, για την δραστηριότητα 3-4 έχουμε  $TSTART = 3$  και  $TFIN = 5$ .



**Πίνακας 6.2:** Εφαρμογή ROT αλγορίθμου για τις δραστηριότητες του Δικτύου της Εικόνας 6.1 .

	Activity							
	1-2	2-4	2-5	1-3	5-6	3-6	4-6	3-4
ROT	1.291	0.791	0.70	0.520	0.50	0.187	0.125	0.125
Duration	4	6	10	3	2	16	8	2
Resources required	2	4	2	1	1	3	1	0
TEARL	0	4	4	0	14	3	10	3
TSTART	0	4	10	0	20	20	10	3
TFIN = TSTART + duration	4	10	20	3	22	36	18	5
TNOW	0	3	4	5	10	18	20	
Resources available	4 2 1	2	4 0	0	4 2 1	2	4 3 0	
Activity allowed	1+2, 1+3	3-6, 3+4	2+4, 2-5, 3-6	2-5, 3-6	2+5, 3-6, 4+6	3-6	5+6, 3+6	
Iteration number	1	2	3	4	5	6	7	

7. Η επόμενη χρονική στιγμή TNOW θα είναι το ελάχιστο από τους διαθέσιμους TFIN. Οπότε το TNOW ορίζεται ίσο με 4 και έχουμε 4 διαθέσιμους πόρους. Ακολουθώντας αποφασίζουμε με βάση την ROT τιμή, το TEARL και την αλληλουχία των δραστηριοτήτων, τις δραστηριότητες που μπορούν να πραγματοποιηθούν. Οπότε διαθέτουμε 4 πόρους για την δραστηριότητα 2-4, καθώς έχει την μεγαλύτερη ROT τιμή και TSTART=4 και TFIN=10. Δεν υπάρχουν άλλοι διαθέσιμοι πόροι οπότε έτσι ολοκληρώνεται η επανάληψη 3.

8. Επαναλαμβάνεται το βήμα 7 μέχρι να προγραμματιστούν όλες οι δραστηριότητες.

Ο ελάχιστος χρόνος ολοκλήρωσης όλων των δραστηριοτήτων υπό την ύπαρξη περιορισμού ως προς τους διαθέσιμους πόρους είναι το μέγιστο TFIN.

Η διάθεση των πόρων όμως στις δραστηριότητες βασιζόμενοι στο ROT κριτήριο δεν εγγυάται την εύρεση του βέλτιστου. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά και άλλα κριτήρια προκειμένου να επιτευχθεί λιγότερος χρόνος για την εκτέλεση των δραστηριοτήτων. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα κριτήρια αυτά.

### 6.2.2 ACTIM Κριτήριο

Τα βήματα για την διάθεση των πόρων στο ACTIM (activity time) κριτήριο βασίζονται στον αλγόριθμο του Brook (BAG) και είναι παρόμοια με εκείνα που χρησιμοποιούνται στον ROT αλγόριθμο, με την διαφορά ότι η ταξινόμηση των δραστηριοτήτων εξαρτάται από την ACTIM τιμή της δραστηριότητας. Η ACTIM τιμή της δραστηριότητας υπολογίζεται ως ο μέγιστος χρόνος που ελέγχει η δραστηριότητα σε οποιοδήποτε μονοπάτι. Ο Πίνακας 6.3 παρουσιάζει τις ACTIM τιμές για τις δραστηριότητες του Δικτύου της Εικόνας 6.1 .

**Πίνακας 6.3:** Ταξινόμηση των δραστηριοτήτων του Δικτύου της Εικόνας 6.1 με βάση την ACTIM Τιμή

Δραστηριότητα	ACTIM
1-2	18
1-3	19
2-4	14
2-5	12
3-4	10
3-6	16
4-6	8
5-6	2

### 6.2.3 ACTRES και TIMRES Κριτήρια

Τα βήματα για την διάθεση των πόρων σε δραστηριότητες βασιζόμενοι στο ACTRES (activity resources) κριτήριο είναι παρόμοια με εκείνα που εφαρμόζονται στο ACTIM κριτήριο με την διαφορά ότι τώρα η ταξινόμηση των δραστηριοτήτων βασίζεται στις ACTRES τιμές [22]. Οι ACTRES τιμές υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας την χρονική διάρκεια κάθε δραστηριότητας με τον αριθμό των πόρων που αυτή απαιτεί και βρίσκοντας ακολούθως την μέγιστη ACTRES τιμή που η δραστηριότητα ελέγχει σε οποιοδήποτε μονοπάτι του δικτύου.

Εφαρμόζοντας το ACTIM και το ACTRES κριτήριο σε διάφορα έργα θα λάβουμε διαφορετικά αποτελέσματα σχετικά με το ποιο κριτήριο μας δίνει τον συντομότερο χρόνο ολοκλήρωσης του έργου. Επίσης, τα παραπάνω κριτήρια μπορούν να εφαρμοστούν συνδυαστικά. Ο Mason [23] πρότεινε τον συνδυασμό

των ACTIM και ACTRES κριτηρίων, γνωστό ως TIMRES κριτήριο (time and resources combination). Τέλος, η TIMRES τιμή μιας δραστηριότητας υπολογίζεται ως το άθροισμα των ACTIM και ACTRES τιμών της δραστηριότητας αυτής.

## Παράρτημα

### Ανάπτυξη Κώδικα σε περιβάλλον CPLEX.

Στο Παράρτημα παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον CPLEX και η επίλυση του οποίου μας δίνει το κρίσιμο μονοπάτι. Ο αλγόριθμος επιλύθηκε για έναν, δύο και τρεις διαθέσιμους πόρους.

```
#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <string.h>

#include <time.h>

#include <math.h>

#include <ilcplex/ilocplex.h>

#define N 85 // arithmos ergasiwn

bool proceeds[N+2][N+2], follows[N+2][N+2]; //genikos bool pinakas ergasiwn

doubleduration[85]={ 30,35,40,30,120,11,30,35,30,40,35,30,30,120,35,12,30,40,3
0,60,35,30,70,35,80,60,44,28,30,30,30,35,35,30,40,35,30,45,35,40,30,25,30,25,35
,60,68,15,90,132,60,150,25,20,35,35,35,90,192,60,240,18,12,30,30,18,15,108,60,
15,30,30,18,90,30,60,138,60,12,20,30,10,20,20,10}; //diarkeia me enan poro

doubleduration[85]={ 15,17.5,20,15,60,5.5,15,17.5,15,20,17.5,15,15,60,17.5,6,15,
20,15,30,17.5,15,35,17.5,40,30,22,14,15,15,15,17.5,17.5,15,20,17.5,15,22.5,17.5,
20,15,12.5,15,12.5,17.5,30,34,7.5,45,66,30,75,12.5,10,17.5,17.5,17.5,45,96,30,12
0,9,6,15,15,9,7.5,54,30,7.5,15,15,9,45,15,30,69,30,6,10,15,5,10,10,5}; //diarkeia
me dyo porous

doubleduration[85]={ 10,11.67,13.33,10,40,3.67,10,11.67,10,13.33,11.67,10,10,40
,11.67,4,10,13.33,10,20,11.67,10,23.33,11.67,26.67,20,14.67,9.33,10,10,10,11.67,
11.67,10,13.33,11.67,10,15,11.67,13.33,10,8.33,10,8.33,11.67,20,22.67,5,30,44,2
0,50,8.33,6.67,11.67,11.67,11.67,30,64,20,80,6,4,10,10,6,5,36,20,5,10,10,6,30,10,
20,46,20,4,6.67,10,3.33,6.67,6.67,3.33}; //diarkeia me treis porous

int IlogIndex[N+2][N+2]; // orismos tou didiastatou pinaka ilogindex

CPXENVptr Env = NULL; // CPLEX environment pointers

CPXLPptr Lp = NULL; // CPLEX problem pointers
```

```
void print_error(char *name)
{
    printf("%s failed, exiting...\n", name);
    printf("Press return to continue...\n");
    getchar();
}

bool ChangeObjSense(int minmax)
{
    int status;
    status = CPXchgobjsen (Env, Lp, minmax);
    if (status != 0){
        print_error("CPXchgobjsen");
        return false;
    }
    return true;
}

bool init_env_lp()
{
    int status;
    Env = CPXopenCPLEX (&status);
    if (status != 0){
        print_error("CPXopenCPLEX");
        return false;
    }
    Lp = CPXcreateprob (Env, &status, "sched");
    if (status != 0){
        print_error("CPXcreateprob");
    }
}
```

```
        return false;
    }
    if (ChangeObjSense (-1) == false) exit;
    status = CPXsetintparam(Env, CPX_PARAM_DATACHECK, CPX_ON);
    if (status != 0){
        print_error("CPXsetintparam");
        return false;
    }
    return true;
}

//Dimiourgia proceeder
void FillProceedMatrix()
{
    int ii, jj;

    for(ii=0; ii <= N+1; ii++){
        for (jj = 0; jj <= N+1; jj++){
            if (ii == jj) continue;
            proceeds[ii][jj] = false;
        }
    }

    proceeds[1][58] = true; proceeds[4][3] = true; proceeds[5][4] = true;
    proceeds[8][7] = true; proceeds[9][8] = true; proceeds[10][58] = true;
    proceeds[11][58] = true; proceeds[12][58] = true; proceeds[13][58] = true;
    proceeds[14][58] = true; proceeds[15][46] = true; proceeds[16][46] = true;
    proceeds[17][58] = true; proceeds[18][46] = true; proceeds[18][10] = true;
    proceeds[18][9] = true; proceeds[20][47] = true; proceeds[21][46] = true;
    proceeds[22][46] = true; proceeds[23][14] = true; proceeds[23][15] = true;
    proceeds[24][58] = true; proceeds[25][58] = true; proceeds[27][58] = true;
    proceeds[28][58] = true; proceeds[29][28] = true; proceeds[30][46] = true;
```

```

proceeds[31][46] = true; proceeds[32][46] = true; proceeds[34][58] = true;
proceeds[34][55] = true; proceeds[35][46] = true; proceeds[36][46] = true;
proceeds[37][46] = true; proceeds[38][32] = true; proceeds[39][38] = true;
proceeds[40][39] = true; proceeds[41][58] = true; proceeds[42][46] = true;
proceeds[43][42] = true; proceeds[44][58] = true; proceeds[45][46] = true;
proceeds[46][33] = true; proceeds[46][34] = true; proceeds[46][56] = true;
proceeds[46][57] = true; proceeds[47][58] = true; proceeds[47][46] = true;
proceeds[49][11] = true; proceeds[49][12] = true; proceeds[49][13] = true;
proceeds[49][16] = true; proceeds[49][18] = true; proceeds[49][20] = true;
proceeds[49][21] = true; proceeds[49][22] = true; proceeds[49][23] = true;
proceeds[49][24] = true; proceeds[49][25] = true; proceeds[49][26] = true;
proceeds[49][27] = true; proceeds[49][29] = true; proceeds[49][30] = true;
proceeds[49][31] = true; proceeds[49][35] = true; proceeds[49][36] = true;
proceeds[49][37] = true; proceeds[49][38] = true; proceeds[49][41] = true;
proceeds[49][42] = true; proceeds[49][44] = true; proceeds[49][45] = true;
proceeds[50][49] = true; proceeds[51][58] = true; proceeds[52][58] = true;
proceeds[53][58] = true; proceeds[54][58] = true; proceeds[60][59] = true;
proceeds[62][64] = true; proceeds[62][7] = true; proceeds[63][61] = true;
proceeds[64][49] = true; proceeds[65][78] = true; proceeds[67][49] = true;
proceeds[68][49] = true; proceeds[68][60] = true; proceeds[68][61] = true;
proceeds[69][67] = true; proceeds[69][68] = true; proceeds[70][75] = true;
proceeds[71][49] = true; proceeds[71][75] = true; proceeds[75][74] = true;
proceeds[76][49] = true; proceeds[77][67] = true; proceeds[77][68] = true;
proceeds[81][80] = true; proceeds[81][49] = true; proceeds[82][81] = true;
proceeds[83][81] = true; proceeds[84][82] = true; proceeds[85][83] = true;
}

```

//Dimiourgeia follows

```
void FillfollowsMatrix()
```

```

{
    int i, j;
    for(i=0; i <= N+1; i++){
        for (j = 0; j <= N+1; j++){
            if (i == j) continue;
            follows[i][j] = false;

```

```

    }
}

follows[58][1] = true; follows[3][4] = true; follows[4][5] = true; follows[7][8]
= true; follows[8][9] = true; follows[58][10] = true; follows[58][11] = true;
follows[58][12] = true; follows[58][13] = true; follows[58][14] = true;
follows[46][15] = true; follows[46][16] = true; follows[58][17] = true;
follows[46][18] = true; follows[10][18] = true; follows[9][18] = true;
follows[47][20] = true; follows[46][21] = true; follows[46][22] = true;
follows[14][23] = true; follows[15][23] = true; follows[58][24] = true;
follows[58][25] = true; follows[58][27] = true; follows[58][28] = true;
follows[28][29] = true; follows[46][30] = true; follows[46][31] = true;
follows[46][32] = true; follows[58][34] = true; follows[55][34] = true;
follows[46][35] = true; follows[46][36] = true; follows[46][37] = true;
follows[32][38] = true; follows[38][39] = true; follows[39][40] = true;
follows[58][41] = true; follows[46][42] = true; follows[42][43] = true;
follows[58][44] = true; follows[46][45] = true; follows[33][46] = true;
follows[34][46] = true; follows[56][46] = true; follows[57][46] = true;
follows[58][47] = true; follows[46][47] = true; follows[11][49] = true;
follows[12][49] = true; follows[13][49] = true; follows[16][49] = true;
follows[18][49] = true; follows[20][49] = true; follows[21][49] = true;
follows[22][49] = true; follows[23][49] = true; follows[24][49] = true;
follows[25][49] = true; follows[26][49] = true; follows[27][49] = true;
follows[29][49] = true; follows[30][49] = true; follows[31][49] = true;
follows[35][49] = true; follows[36][49] = true; follows[37][49] = true;
follows[38][49] = true; follows[41][49] = true; follows[42][49] = true;
follows[44][49] = true; follows[45][49] = true; follows[49][50] = true;
follows[58][51] = true; follows[58][52] = true; follows[58][53] = true;
follows[58][54] = true; follows[59][60] = true; follows[64][62] = true;
follows[7][62] = true; follows[61][63] = true; follows[49][64] = true;
follows[78][65] = true; follows[49][67] = true; follows[49][68] = true;
follows[60][68] = true; follows[61][68] = true; follows[67][69] = true;
follows[68][69] = true; follows[75][70] = true; follows[49][71] = true;
follows[75][71] = true; follows[74][75] = true; follows[49][76] = true;
follows[67][77] = true; follows[68][77] = true; follows[80][81] = true;
follows[49][81] = true; follows[81][82] = true; follows[81][83] = true;
follows[82][84] = true; follows[83][85] = true;

for(i=1; i<=N; i++){

```



```

        proceeds[i][0] = true;
        for(j=1; j<=N; j++){
            if (i==j) continue;
            if (proceeds[i][j] == false)
                continue;
            proceeds[i][0] = false;
            break;
        }
    }
    for (i=1; i<=N; i++)

        follows[0][i] = proceeds[i][0];

    for(i=1; i<=N; i++){
        follows[i][N+1] = true;
        for(j=1; j<=N; j++){
            if(i==j) continue;
            if (follows[i][j] == false)    //allagh ta i j
                continue;
            follows[i][N+1] = false;
            break;
        }
    }
    for (i=1; i<=N; i++)

        proceeds[N+1][i] = follows[i][N+1];
}

// sinartisi gia tis metablites xwris proapaitoumenes ergasies
bool AddDecVars(double obj, char type,double ub,double lb )
{
    int status;

```

```

    status = CPXnewcols (Env, Lp, 1, &obj, &lb, &ub, &type, NULL);
    if (status != 0){
        print_error("CPXnewcols");
        return false;
    }
    return true;
}

//bazei ta index twn metablitwn se pinakes
bool AddFlowFromSVars()
{
    int    j;

    for (j=1; j<=N; j++) {
        if (follows[0][j] == false) continue;
        if (AddDecVars(0, CPX_BINARY, 1, 0) == false){
            print_error("AddDecVars for S");
            return false;
        }
        IlogIndex[0][j] = CPXgetnumcols(Env, Lp)-1;
        printf(" From S To: %d X%d \n", j, CPXgetnumcols(Env,
Lp));
    }
    return true;
}

//bazei ta index twn metablwtn se pinakes
bool AddFlowBetweenVars()
{
    int    j, k;

```

```

    for (j=1; j<= N; j++){
        for (k=1; k<= N+1; k++){
            if (j == k) continue;
            if (follows[j][k] == false) continue;
            if (AddDecVars(duration[j-1], CPX_BINARY, 1, 0)
== false){

                print_error("AddDecVars inbetween");
                return false;

            }
            IlogIndex[j][k] = CPXgetnumcols(Env,Lp) - 1;
            printf("  From:   %d   To:   %d   X%d   \n",
j,k,CPXgetnumcols(Env,Lp) );      // gia na xeroume poio xij antistoixei sto
ekastote follow

        }

    }

    return true;
}

//constrains for Sum(xij)=1
bool LeaveSConstr(){
    int *rmatind, status, ccnt, rcnt , nzcnt, rmatbeg, i, j;
    double *rmatval, rhs;
    char sense;
    rmatval = (double*)malloc(N*sizeof(double));
    rmatind = (int*)malloc(N*sizeof(int));      //desmeush mnhmhs
    rmatbeg = 0;
    nzcnt = 0;
    for (i=1; i<=N; i++){
        if(follows[0][i] == false)
            continue;

```

```

        rmatind[nzcnt] = IlogIndex[0][i];
        rmatval[nzcnt] = 1;
        nzcnt++;
    }
    sense = 'E';
    rhs = 1;
    status = CPXaddrows (Env, Lp, 0, 1, nzcnt, &rhs, &sense, &rmatbeg,
rmatind, rmatval,
        NULL, NULL);
    if (status != 0){
        print_error("CPXaddrows in Leave S");
        return false;
    }
    free(rmatval);
    free(rmatind);
    return true;
}

//constrains for Sum(xij)=-1
bool ReachFConstr(){
    int *rmatind, status, cnt, rcnt , nzcnt, rmatbeg, i, j;
    double *rmatval, rhs;
    char  sense;
    rmatval = (double*)malloc(N*sizeof(double));
    rmatind = (int*)malloc(N*sizeof(int));          //desmeush mnhmhs
    rmatbeg = 0;
    nzcnt = 0;
    for (i=1; i<=N; i++){
        if(proceeds[N+1][i] == false)

```

```

        continue;
        rmatind[nzcnt] = IlogIndex[i][N+1];
        rmatval[nzcnt] = 1;
        nzcnt++;
    }
    sense = 'E';
    rhs = 1;
    status = CPXaddrows (Env, Lp, 0, 1, nzcnt, &rhs, &sense, &rmatbeg,
rmatind, rmatval,
        NULL, NULL);
    if (status != 0){
        print_error("CPXaddrows in Reach F");
        return false;
    }
    free(rmatval);
    free(rmatind);
    return true;
}

//constrains for Sumx(i,j)=0
bool FlowInBetweenConstr(){
    int *rmatind, status, ccnt, rcnt , nzcnt, rmatbeg, i, j;
    double *rmatval, rhs;
    char  sense;
    rmatval = (double*)malloc(N*sizeof(double));
    rmatind = (int*)malloc(N*sizeof(int));           //desmeush mnhmhs
    rmatbeg = 0;
    sense = 'E';
    rhs = 0;

```

```
for (i=1; i<=N; i++){
    nzcnt = 0;
    for (j=0; j<=N; j++){
        if (i == j) continue;
        if (proceeds[i][j] == false)
            continue;
        rmatind[nzcnt] = IlogIndex[j][i];
        rmatval[nzcnt] = -1;          // -1 h eisodos ston komvo
        nzcnt++;
    }
    for (j=1; j<=N+1; j++){
        if (i == j) continue;
        if (follows[i][j] == false)
            continue;
        rmatind[nzcnt] = IlogIndex[i][j];
        rmatval[nzcnt] = 1;          // +1 h exodos apo ton komvo
        nzcnt++;
    }
    status = CPXaddrows (Env, Lp, 0, 1, nzcnt, &rhs, &sense,
&rmatbeg, rmatind, rmatval,
    NULL, NULL);
    if (status != 0){
        print_error("CPXaddrows in Reach F");
        return false;
    }
}
free(rmatval);
free(rmatind);
```

```
        return true;
    }
    status = CPXgetx (env, lp, x, 0, CPXgetnumcols(env, lp)-1) // gia ektiposi tou
    solution
    bool Solvprob()
    {
        int status;
        status = CPXmipopt (Env, Lp);
        if (status != 0){
            print_error("CPXmipopt");
            return false;
        }
        return true;
    }
    bool PrintProblem ()
    {
        int status;
        status = CPXwriteprob (Env, Lp, "prob.lp", NULL);
        if (status != 0){
            print_error("CPXwriteprob");
            return false;
        }
        return true;
    }
    int main()
    {
        FillProceedMatrix(); // checked
        FillfollowsMatrix(); // checked
```

```
if (init_env_lp() == false) exit; // checked
if (AddFlowFromSVars() == false) exit; // checked
if (AddFlowBetweenVars() == false) exit; // checked
if (LeaveSConstr() == false) exit;
if (FlowInBetweenConstr() == false) exit;
if (ReachFConstr() == false) exit;
if (PrintProblem() == false) exit;
if (Solvprob() == false) exit;
printf("Press return to continue...\n");
getchar();
return 0;
}
```



## Βιβλιογραφία

- [1] Barnhart, C., Boland, N.L., Clarke, L.W., Johnson, E.L., Nemhauser, G.L. and Sheno, R.G. (1998) "Flight string models for aircraft fleet assignment and routing.", *Transportation Science*, 32(3), 208-220.
- [2] Barnhart, C., Knicker, T.S. and Lohatepanont, M. (2002) "Itinerary-based airline fleet assignment.", *Transportation Science*, 36(2): 199-217.
- [3] Clarke, L.W., Hane, C.A., Johnson, E.L. and Nemhauser, G.L. (1996) "Maintenance and crew considerations in fleet assignment.", *Transportation Science*, 30(3), 249- 260.
- [4] CPLEX, Tutorial Handout.
- [5] Davis, E. W., (1974), "CPM Use in Top 400 Construction Firms", *Journal of the Construction Division, ASCE*, 100.
- [6] Elmagraby S.E. (2000). "On Criticality and Sensitivity in Activity Networks". *European Journal of Operational Research* **127**, pp. 220-238.
- [7] Esogbue, Augustine O., and B. R. Marks, (1977), "Dynamic Programming Models of the Non-serial Critical Path-cost Problem," *Management Science*, 24, no. 2.
- [8] Feo, T.A. and Bard, J.F. (1989) "Flight scheduling and maintenance base planning". *Management Science*, 35, 1415-1432.
- [9] Gavranis, A. and Kozanidis G. (2015). "An exact solution algorithm for maximizing the fleet availability of a unit of aircraft subject to flight and maintenance requirements.", *European Journal of Operational Research*, 242(2): 631-643.
- [10] Hillier, F.S., and Lieberman, G.L., (2004). "Introduction to Operations Research", 8th ed. Mc Graw Hill.
- [11] Kelley, J. E., JR., and M. R. Walker, (1959), "Critical Path Planning and Scheduling," *Proceedings of Eastern Joint Computer Conference*, Boston.
- [12] Keskinocak, P. and Tayur, S. (1998) "Scheduling of time-shared jet aircraft." *Transportation Science*, 32(3), 277-294.
- [13] Kozanidis G., (2009). "A multiobjective model for maximizing fleet availability under the presence of flight and maintenance requirements." *Journal of Advanced Transportation*, 43(2): 155-182.

- [14] Kozanidis, G., Liberopoulos G., Pitsilkas C. (2010).” Flight and maintenance planning of military aircraft for maximum fleet availability”. *Military Operations Research*, 15(1): 53-73.
- [15] Kozanidis G., Gavranis A. and Kostarelou E. (2012), “Mixed integer least squares optimization for flight and maintenance planning of mission aircraft.” *Naval Research Logistics*, 59(3-4): 212-229.
- [16] Kozanidis G., Gavranis A. and Liberopoulos G (2014), “Heuristics for flight and maintenance planning of mission aircraft.” *Annals of Operations Research*, 221(1): 211-238.
- [17] Kurokawa, T. and Takeshita, K. (2004) “Air transportation planning using neural networks as an example of the transportation squadron in the Japan Air Self- Defense Force.” *Systems and Computers in Japan*, 35(12), 1223-1232.
- [18] Levin, Richard I., and C. A. Kirkpatrick, “Planning and Control with PERT-CPM”. *New York: McGraw-Hill Book Co.*, 1966.
- [19] Lohatepanont, M. and Barnhart, C. (2004) “Airline schedule planning: Integrated models and algorithms for schedule design and fleet assignment.”, *Transportation Science*, 38(1): 19-32.
- [20] Loolou R. and Beale T. (1976). “A comparison of Variance Techniques in PERT”
- [21] Marimont, Rosalind B. (1959), “A New Method of Checking the Consistency of Precedence Matrices,” *Journal of the Associations for Computing Machinery*, 6, no. 2.
- [22] Mason, Richard, (1959), “An Adaptation of the Brook’s Algorithm for Scheduling Projects under Multiple Source Constraints,” *M.S. thesis, Arizona State University, Tempe, AZ*, .
- [23] Miller L.C., (1962), “Successful Management for Contractors”, *New York: McGraw-Hill Book Co.*.
- [24] Moder, Joseph J., and Cecil R. Phillips, (1964), “Project Management with CPM and PERT.”, *New York: Reinhold Publishing Corporation*.
- [25] Nasr, Nabil Z., (1983), “New Algorithms for Project Scheduling under Resource Constraints”, *M.S. thesis, Rutgers University, New Brunswick, NJ*.

- [26] Οδηγίες Ελέγχου Προληπτικής Συντηρήσεως Αρμάτων, Ελληνικός Στρατός, Νοέμβριος 2009.
- [27] Rushmeier, R.A. and Kontogiorgis, S.A. (1997) “Advances in the optimization of airline fleet assignment.” *Transportation Science*, 31(2), 159-169.
- [28] Samaranayake, P., Lewis, G.S., Woxvold, E.R.A. and Toncich, D. (2002) “Development of engineering structures for scheduling and control of aircraft Maintenance”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22(8), p. 843-867.
- [29] A. Shtub, J. Bard and S. Globerson (2004). *Project Management*. 2nd ed. Pearson.
- [30] Sriram, C. and Haghani, A. (2003) “An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment.” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(1): 29-48.
- [31] Stojkovic, G., Soumis, F., Desrosiers, J. and Solomon, M.M. (2002) “An optimization model for a real-time flight scheduling problem.” *Transportation Research Part A - Policy and Practice*, 36 (9): 779-788.
- [32] Toet A. and Waard H. (1994), “The Weapon-Target Assignment Problem”, *CALMA Technical Report CALMA.TNO.WP31.AT.95c*.
- [33] Toet A. and Waard H. (1995), “The Multitarget/Multisensor Tracking Problem”, *CALMA Technical Report CALMA.TNO.WP31.AT.95d*.
- [34] Toet A. (1995), “Combinatorial Optimization and Image Analysis: a literature survey,” *CALMA Technical Report, CALMA.TNO.WP31.AT.95a*.
- [35] Wikipedia The Free Encyclopedia, “Leopard1”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Leopard\\_1](https://en.wikipedia.org/wiki/Leopard_1)
- [36] Wikipedia The Free Encyclopedia, “Leopard1 A5”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Leopard\\_1](https://en.wikipedia.org/wiki/Leopard_1)
- [37] Wikipedia, “Τεθωρακισμένα”, <https://el.wikipedia.org/Τεθωρακισμένα>.  
Ελληνικός Στρατός, “Τεθωρακισμένα”, [www.army.gr](http://www.army.gr).
- [38] Wiest J.D. and. Levy F.K (1977). “A Management Guide to PERT/CPM with GERT, PDM, DCPM and Other Networks”. 2nd ed. Prentice Hall.