

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΤΡΙΜΗΝΙΑΙΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΤΗΣΕΩΝ ΠΟΛΕΜΙΚΗΣ
ΜΟΙΡΑΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ F-16 ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ
ΜΑΧΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΤΑΜΕΝΩΝ**

υπό

ΙΩΑΝΝΗ ΜΑΡΚΑΚΗ

Απόφοιτος Σχολής Ικάρων

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 13282/1
Ημερ. Εισ.: 17-03-2015
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
629.134 6
ΜΑΡ

© 2014 Ιωάννης Μαρκάκης

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

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Γεώργιος Κοζανίδης
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

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

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Γεώργιο Κοζανίδη, Γεώργιο Σαχαρίδη, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στην οικογένεια μου για την ολόψυχη αγάπη, υπομονή και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτήν την μεταπτυχιακή εργασία στην σύζυγό μου Δέσποινα και στις κόρες μου Μαρία κα Ανθή.

Ιωάννης Μαρκάκης

**ΤΡΙΜΗΝΙΑΙΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΤΗΣΕΩΝ ΠΟΛΕΜΙΚΗΣ
ΜΟΙΡΑΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ F-16 ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ
ΜΑΧΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΙΠΤΑΜΕΝΩΝ**

Ιωάννης Μαρκάκης

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2014

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος, Καθηγητής Στοχαστικών Μεθόδων
στην Διοίκηση Παραγωγής

Περίληψη

Η εκπαίδευση των Ιπταμένων των πολεμικών Μοιρών είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την μαχητική ικανότητα της Πολεμικής Αεροπορίας. Είναι μια πολύ δαπανηρή, χρονοβόρα και σύνθετη διαδικασία, και ως εκ τούτου είναι πολύ δύσκολο να διαχειριστεί. Ο σωστός σχεδιασμός είναι πολύ σημαντικός στην εκπαίδευση των Ιπταμένων, αφού αποβλέπει στην μείωση του κόστους και στην αύξηση της μαχητικής ικανότητας.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η βελτιστοποίηση μέσω μαθηματικών μοντέλων του προγραμματισμού πτήσεων σε μία πολεμική Μοίρα, σε βάθος τριμήνου. Αρχικά με το πρώτο μοντέλο υπολογίζεται ο αριθμός και το είδος των αποστολών που πρέπει να εκτελέσει ο κάθε Ιπτάμενος, βάσει των διατιθέμενων πόρων, σε όλο το τρίμηνο, ώστε να επιτύχει την κάλλιστη μαχητική ικανότητα. Στη συνέχεια με το δεύτερο μοντέλο ο αριθμός των αποστολών που υπολογίστηκε, κατανέμεται ημερολογιακά στο τρίμηνο, διατηρώντας έτσι τη διαθεσιμότητα σε όλες τις ασκήσεις που καλείται να εκτελέσει. Τα μοντέλα περιέχουν περιορισμούς, οι οποίοι απορρέουν από τα εγχειρίδια και τις Διαταγές που διέπουν την οργάνωση και τη λειτουργία μίας πολεμικής Μοίρας, καθώς δοκιμάζονται και παρουσιάζονται βασισμένα σε ρεαλιστικά, αλλά υποθετικά δεδομένα.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Κίνητρο και Υπόβαθρο.....	1
1.2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	3
1.3	Οργάνωση Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	3
Κεφάλαιο 2	Εκπαίδευση Ιπταμένων Πολεμικών Μοιρών.....	6
2.1	Οργάνωση Επιχειρησιακών Μοιρών.....	6
2.2	Εκπαίδευση Ιπταμένων Επιχειρησιακών Μοιρών.....	7
2.2.1	Ειδικές Ασκήσεις.....	8
2.2.2	Ομαδοποίηση Ειδικών Ασκήσεων.....	9
Κεφάλαιο 3	Προγραμματισμός Πτήσεων Για Διατήρηση Μαχητικής Ικανότητας.....	10
3.1	Απαραίτητα Δεδομένα Προγραμματισμού.....	10
3.2	Περιορισμοί Προγραμματισμού.....	11
Κεφάλαιο 4	Μαθηματικά Μοντέλα.....	13
4.1	Μαθηματικό ΜΟΝΤΕΛΟ 1.....	13
4.1.1	ΔΕΙΚΤΕΣ.....	14
4.1.2	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	14
4.1.3	ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ.....	15
4.1.4	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ.....	15
4.1.5	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ.....	15
4.1.6	ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ.....	16
4.2	Μαθηματικό ΜΟΝΤΕΛΟ 2.....	18
4.2.1	ΔΕΙΚΤΕΣ.....	18
4.2.2	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	19
4.2.3	ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ.....	19
4.2.4	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ.....	19
4.2.5	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ.....	19
4.2.6	ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ.....	20
Κεφάλαιο 5	Αριθμητικά Αποτελέσματα.....	22
5.1	Παράμετροι Μοντέλου 1.....	22
5.2	Αριθμητικά Παραδείγματα ΜΟΝΤΕΛΟΥ 1.....	25
5.2.1	Αριθμητικό Παράδειγμα 1.....	26
5.2.2	Αριθμητικό Παράδειγμα 2.....	27
5.2.3	Αριθμητικό Παράδειγμα 3.....	28
5.2.4	Αριθμητικό Παράδειγμα 4.....	28
5.2.5	Αριθμητικό Παράδειγμα 5.....	30
5.2.6	Αριθμητικό Παράδειγμα 6.....	31
5.3	Αριθμητικό Παράδειγμα ΜΟΝΤΕΛΟΥ 2.....	32

5.4	Σύνοψη Αποτελεσμάτων.....	32
	Κεφάλαιο 6 Σύνοψη Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	34
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α Σύνταξη Μαθηματικού ΜΟΝΤΕΛΟΥ 1.....	36
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β Σύνταξη Μαθηματικού ΜΟΝΤΕΛΟΥ 2.....	40
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ Λύσεις Αριθμητικού Παραδείγματος 1.....	45
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ Λύσεις Αριθμητικού Παραδείγματος 2.....	47
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε Λύσεις Αριθμητικού Παραδείγματος 3.....	49
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ Λύσεις Αριθμητικού Παραδείγματος 4.....	51
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ Λύσεις Αριθμητικού Παραδείγματος 5.....	53
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η Λύσεις Αριθμητικού Παραδείγματος 6.....	55
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ Λύσεις Αριθμητικού Παραδείγματος ΜΟΝΤΕΛΟΥ 2.....	57
	Βιβλιογραφία.....	66

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5-1: Δυνατότητα εκτέλεσης set of events από Ιπταμένους.....	23
Πίνακας 5-2: Απαιτούμενος αριθμός sets για τη μέγιστη ετοιμότητα.....	23
Πίνακας 5-3: Απαιτούμενος αριθμός sets για την ελάχιστη ετοιμότητα.....	24
Πίνακας 5-4: Αποτελέσματα πρώτου αριθμητικού παραδείγματος.....	25
Πίνακας 5-5: Αποτελέσματα δεύτερου αριθμητικού παραδείγματος.....	26
Πίνακας 5-6: Αποτελέσματα τρίτου αριθμητικού παραδείγματος.....	27
Πίνακας 5-7: Αποτελέσματα τέταρτου αριθμητικού παραδείγματος.....	28
Πίνακας 5-8: Αποτελέσματα πέμπτου αριθμητικού παραδείγματος.....	29
Πίνακας 5-9: Αποτελέσματα έκτου αριθμητικού παραδείγματος.....	30

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

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

1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο

Η νεώτερη ιστορία των πολεμικών επιχειρήσεων απέδειξε ότι η αεροπορική ισχύς μπορεί να είναι το «ηγετικό όπλο» και συχνά ο αποφασιστικός παράγοντας της μάχης στο σύγχρονο πόλεμο. Τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες των αεροπορικών δυνάμεων έδειξαν ότι ο τρόπος διεξαγωγής του πολέμου έχει αλλάξει ριζικά. Η άμεση, συνεχής, ευέλικτη, επιθετική και αποτελεσματική χρήση της αεροπορικής ισχύος παρέχει στην στρατιωτική και πολιτική ηγεσία ένα πλήρες εύρος στρατιωτικών επιλογών για την επίτευξη των εθνικών Αντικειμενικών Σκοπών και την προστασία των εθνικών συμφερόντων. Ο σωστός συνδυασμός των αεροσκαφών, οπλικών συστημάτων υψηλής τεχνολογίας, αξιόπιστων πληροφοριών και ειδικευμένων πιλότων καθορίζει την μαχητική ικανότητα της Πολεμικής Αεροπορίας. Ο πιο σημαντικός από όλους αυτούς τους παράγοντες είναι σίγουρα ο ανθρώπινος παράγοντας: Ο Ιπτάμενος.

Οι Ιπτάμενοι των Πολεμικών Αεροσκαφών περνούν από μια πολύ μακρά, δύσκολη και κλιμακωτή διαδικασία εκπαίδευσης, προκειμένου να επιτύχουν ένα ικανό ποσοστό

πολεμικής ετοιμότητας. Τον περισσότερο χρόνο τους τον περνούν σε κατάρτιση, ώστε να είναι έτοιμοι όποτε χρειάζονται οι υπηρεσίες τους. Ο κύριος αρμόδιος φορέας για την εκπαίδευση αυτή, αλλά και τη διατήρηση αυτής της μαχητικής ικανότητας είναι οι επιχειρησιακές Μοίρες αεροσκαφών. Η διαδικασία της σημερινής εκπαίδευσης, είναι το απόσταγμα πολλών μελετών που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν, μετά από ατυχήματα ή συμπεράσματα πολεμικών συγκρούσεων.

Πολεμική ετοιμότητα είναι η ικανότητα ενός Ιπταμένου να εκπληρώνει κάθε αποστολή με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Η ασφάλεια ορίζει το κατώτατο όριο ετοιμότητας και προκύπτει από τους κανόνες ασφαλείας πτήσεων για την προστασία προσωπικού και μέσων. Η αποτελεσματικότητα, ορίζεται με την ικανότητα του κάθε Ιπταμένου να φέρει σε πέρας μία αποστολή με επιτυχία. Αυτή αντικειμενικά μπορεί να μετρηθεί μόνο από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, μετά το πέρας της κάθε πραγματικής αποστολής. Για το λόγο όμως ότι στην καθημερινότητα δεν εκτελούνται πραγματικές επιχειρησιακές αποστολές, έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένοι αριθμοί από κάθε αποστολή, που εκτελώντας αυτές με συγκεκριμένο τρόπο, επιτυγχάνεται υψηλή πολεμική ετοιμότητα.

Καθημερινά στα γραφεία εκπαίδευσης των πολεμικών Μοιρών γίνεται μεγάλη προσπάθεια στην εκπόνηση εκπαιδευτικών προγραμμάτων σταδίου συντήρησης. Ενώ η αρχική εκπαίδευση των Ιπταμένων είναι καλά θεσμοθετημένη και βασίζεται σε στάδια τύπου «αλυσίδας», η καθημερινή διαδικασία συντήρησης της μαχητικής ικανότητας είναι ένα περίπλοκο πρόβλημα που καλούνται να επιλύσουν καθημερινά οι προϊστάμενοι των Μοιρών.

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στο στάδιο συντήρησης και λαμβάνοντας υπόψη τους τυχόν περιορισμένους πόρους που διατίθενται στην Μοίρα, εξάγει ένα πρόγραμμα εκπαίδευσης σε βάθος τριμήνου με στόχο την κάλλιστη πολεμική ετοιμότητα που θα

μπορούσε να διαθέτει ο κάθε Ιπτάμενος. Η αριθμητική καθώς και η ημερολογιακή κατανομή των διάφορων αποστολών στο προσωπικό, αποτελεί ένα εξαιρετικό βοήθημα στους Αξιωματικούς των γραφείων εκπαίδευσης.

1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Όσο αφορά την ανάπτυξη μεθόδων προγραμματισμού πτήσεων για τη διατήρηση της μαχητικής ικανότητας Ιπταμένων F-16, η βιβλιογραφία είναι περιορισμένη. Η εργασία [3], αναλύει μία μέθοδο μηνιαίου προγραμματισμού πτήσεων για αύξηση πολεμικής ετοιμότητας σε Ιπτάμενο προσωπικό του U.S NAVY, διαφόρων τύπων αεροσκαφών. Είναι βασισμένη σε συγκεκριμένα προγράμματα εκπαίδευσης που θα πρέπει να εκτελούνται τακτικά και πριν την ανάληψη πραγματικών αποστολών.

Στην εργασία [4], προτείνεται μέθοδος προγραμματισμού πτήσεων σε βάθος τριμήνου για μονάδες του U.S NAVY, βελτιστοποιώντας την πολεμική ετοιμότητα σε συνάρτηση με την ισοκατανομή των εξόδων σε όλο το Ιπτάμενο προσωπικό διαφόρων ειδικοτήτων.

Τέλος, στην εργασία [5], αναλύεται η εκπαίδευση Ιπταμένων F-16, ως μία διαδικασία εφοδιαστικής αλυσίδας. Αναπτύσσονται μέθοδοι αύξησης μαχητικής ικανότητας, ελαττώνοντας παράλληλα το κόστος εκπαίδευσης.

1.3 Οργάνωση Μεταπτυχιακής Εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας χωρίζεται σε τρεις ενότητες. Η ενότητα I καταλαμβάνει τα κεφάλαια 2-3, η ενότητα II το κεφάλαιο 4, ενώ η ενότητα III τα κεφάλαια 5-6. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 2 δίνεται ο ορισμός της πολεμικής ετοιμότητας, αναλύεται η οργάνωση και λειτουργία μίας πολεμικής Μοίρας, καθώς και ένα τυπικό πρόγραμμα

εκπαίδευσης Ιπταμένων αεροσκαφών F-16 της USAF. Στο τέλος του κεφαλαίου δίνεται έμφαση στη συνεχόμενη εκπαίδευση, δηλαδή στη διατήρηση της μαχητικής ικανότητας, που αποτελεί και το αντικείμενο εξέτασης της παρούσας εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 3 παραθέτουμε όλα εκείνα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον σωστό προγραμματισμό μιας συνεχόμενης και ολοκληρωμένης εκπαίδευσης στις επιχειρησιακές Μοίρες. Τα στοιχεία αυτά απορρέουν από τις απαιτήσεις σε πόρους και προσωπικό, καθώς και από τους περιορισμούς που διέπουν τον προγραμματισμό πτήσεων και κατ' επέκταση την εκπαίδευση.

Στο κεφάλαιο 4 αναπτύσσουμε τα δύο μαθηματικά μοντέλα. Αρχικά παρουσιάζεται το MONTELO 1, το οποίο δύναται να εκτελέσει δύο εφαρμογές. Πρώτον τον υπολογισμό του αριθμού των πτήσεων που θα πρέπει να εκτελέσει ένας Ιπτάμενος, με βάση ενός ελάχιστου επιθυμητού ποσοστού ετοιμότητας για κάθε αποστολή της Μοίρας. Δεύτερον το ποσοστό ετοιμότητας που μπορεί να επιτευχθεί από όλη την Μοίρα ,αλλά και από τον κάθε Ιπτάμενο ξεχωριστά, εκτελώντας συγκεκριμένο αριθμό πτήσεων ο καθένας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το MONTELO 2, το οποίο λαμβάνοντας ως δεδομένο τον αριθμό από κάθε αποστολή και για κάθε Ιπτάμενο, που υπολογίστηκε από το MONTELO 1, κατανέμει τις αποστολές αυτές σε όλο το τρίμηνο, διατηρώντας και την ημερολογιακή διαθεσιμότητα αυτών.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις διάφορες λύσεις που εξάγονται από τα δύο μοντέλα. Οι λύσεις αυτές προέρχονται από την μεταβολή διάφορων δεδομένων που εισάγονται στο MONTELO 1. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται η σύνοψη , καθώς και η ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτών.

Τα τελικά συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας, καθώς και διάφορες κατευθύνσεις που θα μπορούσαν να υποδειχτούν, παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6.

Κεφάλαιο 2 Εκπαίδευση Ιπταμένων Πολεμικών Μοιρών

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύουμε την παρεχόμενη εκπαίδευση στους Ιπταμένους αεροσκαφών F-16. Η εκπαίδευση αυτή χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: την αρχική εκπαίδευση και την εκπαίδευση του σταδίου συντήρησης. Η αρχική εκπαίδευση παρέχεται σε ειδικές Μοίρες εκπαίδευσης, όπου οι νέοι Ιπτάμενοι διδάσκονται σε βασικούς ελιγμούς και αποστολές. Η βασική εκπαίδευση, η οποία έχει σαν στόχο τη χρήση του αεροσκάφους με ασφάλεια χωρίς να δίνεται έμφαση στην επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα, θα αποτελέσει το υπόβαθρο για την μετέπειτα εκπαίδευση. Μετά την επιτυχή περάτωση του σταδίου αυτού, οι Ιπτάμενοι τοποθετούνται στις επιχειρησιακές Μοίρες και μεταπίπτουν στο στάδιο συντήρησης. Στο στάδιο αυτό συνεχίζουν την εκπαίδευση σε επιχειρησιακό πλέον επίπεδο, ανάλογα τον ρόλο της Μοίρας. Το εν λόγω στάδιο αποτελεί αντικείμενο μελέτης στην παρούσα εργασία.

Το υπόλοιπο αυτού του κεφαλαίου οργανώνεται ως εξής. Στο Υποκεφάλαιο, 2.1 παρουσιάζεται η οργάνωση μιας επιχειρησιακής Μοίρας, ενώ στο Υποκεφάλαιο 2.2 η παρεχόμενη εκπαίδευση στο στάδιο συντήρησης.

2.1 Οργάνωση Επιχειρησιακών Μοιρών

Κάθε Πολεμική αεροπορία αποτελείται πολεμικές Μοίρες αεροσκαφών. Ανάλογα με τον τύπο και το είδος του αεροσκάφους που διαθέτει η κάθε Μοίρα έχει και τον αντίστοιχο

ρόλο. Υπάρχουν Μοίρες με μεταφορικά αεροσκάφη, με πυροσβεστικά, με εκπαιδευτικά, αλλά κυρίως με μαχητικά.

Οι Μοίρες μαχητικών ανάλογα με το τι είδους αποστολές μπορεί να εκτελέσει το αεροσκάφος που επιχειρούν χωρίζονται σε Μοίρες αναχαίτισης (AIR TO AIR) και Μοίρες δώξης βομβαρδισμού (AIR TO GROUND). Τα σύγχρονα μαχητικά, όπως και το F-16, μπορούν να εκτελέσουν και τους δύο ρόλους. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο διαχωρισμός γίνεται από τον κεντρικό φορέα διοίκησης, ο οποίος κατανέμει και τα αντίστοιχα όπλα σε αυτές τις Μοίρες, με τρόπο τέτοιο ώστε να έχουν ένα κύριο και ένα δευτερεύοντα ρόλο. Είναι εύλογο το συμπέρασμα, ότι αναλόγως του ρόλου παρέχεται και η ανάλογη εκπαίδευση στους Ιπταμένους. Στην παρούσα εργασία η οποιαδήποτε αναφορά σε επιχειρησιακή Μοίρα, θα εννοείτε αυτή με μαχητικά αεροσκάφη F-16.

Στην κάθε Μοίρα υπάρχουν 18-20 αεροσκάφη και 20 με 24 Ιπτάμενοι. Φυσικά για την εύρυθμη λειτουργία υπάρχει και προσωπικό άλλων ειδικοτήτων. Για τις ανάγκες της εργασίας, θα επικεντρωθούμε μόνο στο Ιπτάμενο προσωπικό, το οποίο χωρίζεται σε δύο σμήνη μάχης με 10-12 Ιπταμένους για την καλύτερη επιχειρησιακή χρησιμοποίηση.

2.2 Εκπαίδευση Ιπταμένων Επιχειρησιακών Μοιρών

Το Ιπτάμενο Προσωπικό των πολεμικών Μοιρών αποτελείται από Ιπταμένους διαφορετικής εμπειρίας και κατηγορίας. Τα επίπεδα εμπειρίας είναι έμπειρος, ενδιάμεσης εμπειρίας και άπειρος. Οι κύριες κατηγορίες είναι πέντε: 1) απλός χειριστής (wingman), 2) Αρχηγός Ζεύγους (2-Ship Flight Lead), 3) Αρχηγός τετράδος (4-Ship Flight Lead), 4) Αρχηγός μεγάλων αποστολών (Mission Commander) και 5) Εκπαιδευτής Πτήσεων (Instructor Pilot). Για την μετάβαση σε μεγαλύτερη κατηγορία απαιτείται απόκτηση εμπειρίας και μία σύντομη πρόσθετη εκπαίδευση.

Σε οποιαδήποτε κατηγορία και αν ανήκουν οι Ιπτάμενοι εμπίπτουν στο στάδιο συντήρησης. Στο στάδιο αυτό εκτελούν προγράμματα εκπαίδευσης εδάφους, Flight Simulator και αέρος, με σκοπό τη συντήρηση και κυρίως την αύξηση της μαχητικής τους ικανότητας, τα οποία εκπονούνται από τις κεντρικές διοικήσεις.

Οι ασκήσεις του υπόψη σταδίου σχεδιάζονται και εκτελούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να προσομοιάζουν, στο μεγαλύτερο βαθμό, τις πραγματικές αποστολές. Με βάση τα ανωτέρω, αλλά και με την πλήρη εκμετάλλευση των διατιθέμενων μέσων και δυνατοτήτων του αεροσκάφους, αφενός διατηρείται σε μεγάλο βαθμό η ετοιμότητα και αφετέρου εξασφαλίζεται η αποτελεσματικότητα των πολεμικών Μοιρών στην εκτέλεση της κάθε αποστολής.

2.2.1 Ειδικές Ασκήσεις

Τα προγράμματα εκπαίδευσης αέρος που παρέχονται στους Ιπταμένους του σταδίου συντήρησης, περιλαμβάνουν ειδικές ασκήσεις, ανάλογα με το ρόλο της Μοίρας. Οι ασκήσεις αυτές είναι οι ποσοτικές, ποιοτικές και ειδικές απαιτήσεις σε ασκήσεις αέρος που πρέπει να εκτελεί κατ' ελάχιστο, ο Ιπτάμενος.

Κάθε ειδική άσκηση, ορίζει ένα συγκεκριμένο αριθμό που θα πρέπει να εκτελεστεί από τον Ιπτάμενο. Επιπρόσθετα ορίζει και ένα μέγιστο χρονικό διάστημα όπου αν δεν εκτελεστεί, χάνεται η διαθεσιμότητα του Ιπταμένου στη συγκεκριμένη άσκηση. Η απώλεια αυτή σηματοδοτεί την απώλεια ικανότητας και εν μέρει της ασφάλειας κατά την εκτέλεσή της από τον Ιπτάμενο. Η επαναδιάθεση γίνεται με ειδικό και χρονοβόρο τρόπο. Είναι κατανοητό ότι θα πρέπει να καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια για τη συνεχή διαθεσιμότητα των Ιπταμένων σε όλο το φάσμα των ασκήσεων.

Ο επιθυμητός αριθμός εκτέλεσης κάθε άσκησης που ορίζει το παρεχόμενο πρόγραμμα εκπαίδευσης, ορίζει ουσιαστικά και το επιθυμητό ποσοστό ετοιμότητας. Αυτό προκύπτει από τον αριθμό της συγκεκριμένης άσκησης που έχει εκτελέσει ο κάθε ιπτάμενος, προς τον επιθυμητό αριθμό.

2.2.2 Ομαδοποίηση Ειδικών Ασκήσεων

Κάθε πολεμική Μοίρα εκτελεί συγκεκριμένες αποστολές που απορρέουν από τον ρόλο της, καθώς και από τις δυνατότητες των όπλων και των οπλικών συστημάτων που είναι εξοπλισμένα τα αεροσκάφη της. Οι αποστολές αυτές μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες, όπως: BASIC (BAS), AIR TO GROUND DAY (AGD), ANTI SURFACE WARFARE (ASW), AIR TO AIR DAY (AAD), AIR TO AIR NIGHT (AAN), SPECIAL WEAPONS DAY (SWD), SPECIAL WEAPONS NIGHT (SWN), SPECIAL SQUADRON ROLE (SSR).

Κάθε κατηγορία αποστολών, περιλαμβάνει συναφείς ειδικές ασκήσεις που ορίζουν πιο συγκεκριμένα τον τρόπο δράσης. Για παράδειγμα στην κατηγορία των αποστολών (AGD), μπορεί να γίνει άφηση των όπλων είτε σε μεγάλο ύψος, είτε σε μικρό. Η συγκεκριμένη ειδική άσκηση που θα επιλεγεί, θα υποδείξει το ύψος άφησης.

Οι περιορισμοί από τους οποίους διέπονται οι ειδικές ασκήσεις, (διαμόρφωση αεροσκάφους, ημέρα ή νύκτα, αναχαίτιση ή βομβαρδισμός), αποτελούν τη βασική αιτία ομαδοποίησης και την ανάγκη εκτέλεσης σε κάθε κατηγορία αποστολών, μόνο συναφείς ασκήσεις.

Κεφάλαιο 3 Προγραμματισμός Πτήσεων Για Διατήρηση Μαχητικής Ικανότητας

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα δεδομένα, τα οποία είναι απαραίτητα για την εκπόνηση του προγράμματος εκπαίδευσης σταδίου συντήρησης, καθώς και οι περιορισμοί που διέπουν ένα τέτοιο πρόγραμμα.

3.1 Απαραίτητα Δεδομένα Προγραμματισμού

Πριν την εκπόνηση των προγραμμάτων εκπαίδευσης, απαιτείται η συγκέντρωση όλων εκείνων των δεδομένων τα οποία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη από τους αξιωματικούς των γραφείων εκπαίδευσης. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν προσωπικό και μέσα.

Ο σημαντικότερος παράγοντας του προγραμματισμού εκπαίδευσης είναι ο Ιπτάμενος. Είναι ζωτικής σημασίας η γνώση των αρμόδιων προγραμματιστών, πόσοι Ιπτάμενοι θα είναι διαθέσιμοι για πτήσεις κατά το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα.

Ένας άλλος παράγοντας, είναι το επίπεδο εμπειρίας των Ιπταμένων που θα χρησιμοποιηθούν. Μερικές ειδικές ασκήσεις λόγω βαθμού δυσκολίας, εκτελούνται μόνο από συγκεκριμένης εμπειρίας Ιπταμένους. Οι ασκήσεις αυτές αναφέρονται αναλυτικά στα προγράμματα εκπαίδευσης σταδίου συντήρησης που παρέχονται στις Μοίρες από τα αρμόδια επιτελεία. Επομένως πριν την εκπόνηση του προγράμματος πτήσεων, θα πρέπει να είναι γνωστό ο κάθε Ιπτάμενος που θα χρησιμοποιηθεί και τι δυνατότητες εκτέλεσης ασκήσεων έχει.

Το πρόγραμμα εκπαίδευσης του σταδίου συντήρησης που ακολουθούν οι Μοίρες, περιλαμβάνει έναν ελάχιστο αριθμό από κάθε ειδική άσκηση, που θα πρέπει να εκτελέσει ο κάθε Ιπτάμενος, έτσι ώστε να έχει τη μέγιστη αποτελεσματικότητα στην εν λόγω άσκηση. Η εμπειρία έχει δείξει ότι ο αριθμός αυτός είναι διαφορετικός σε κάθε Ιπτάμενο και εξαρτάται από το επίπεδο εμπειρίας το οποίο βρίσκεται. Αν ένας έμπειρος σε μία πτήση είναι 100% αποτελεσματικός, ο ενδιάμεσος εμπειρίας θα είναι 75% και ο άπειρος 60%. Τα ποσοστά αυτά είναι προσεγγιστικά αλλά ρεαλιστικά και προέρχονται ύστερα από προσωπική μελέτη πολλών ετών σε όλα τα στάδια. Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω συμπεραίνουμε ότι θα πρέπει να υπολογιστεί ο ακριβής αριθμός από κάθε ειδική άσκηση, που θα εκτελέσει ο κάθε Ιπτάμενος.

Τέλος ο χρόνος επανάληψης κάθε άσκησης, είναι απαραίτητος για το σωστό προγραμματισμό. Αυτό θα εξασφαλίσει αφενός τη συνεχόμενη διαθεσιμότητα σε όλες τις ασκήσεις και αφετέρου την απαραίτητη ασφάλεια για την εκτέλεση τους. Από τον χρόνο αυτό απορρέει και ο ελάχιστος αριθμός από κάθε άσκηση που θα πρέπει να εκτελεστεί.

3.2 Περιορισμοί Προγραμματισμού

Το μέγιστο έργο που μπορεί να εκτελέσει η Μοίρα κατά το προγραμματισθέν χρονικό διάστημα, αποτελεί τον πρώτο περιορισμό. Το έργο αυτό απορρέει από τα διαθέσιμα προς εκμετάλλευση αεροσκάφη για όλη τη χρονική περίοδο. Κάθε αεροσκάφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί 3-4 πτήσεις την ίδια ημέρα, ανάλογα με τις σχετικές οδηγίες των προϊστάμενων κλιμακίων. Επομένως το μέγιστο έργο που μπορεί να εκτελέσει η Μοίρα υπολογίζεται από τον αριθμό των αεροσκαφών, πολλαπλασιασμένο με τις διαθέσιμες προς πτήσεις ημέρες.

Κάθε εξεταζόμενη χρονική περίοδο υπάρχει ένα ανώτατο όριο πτήσεων, για κάθε Ιπτάμενο, που απορρέει από την διάθεση πόρων, όπως καύσιμα, ανταλλακτικά κ.α. Το όριο αυτό καθορίζεται από την προϊστάμενη αρχή και θα πρέπει να είναι ξεκάθαρο αν υπάρχει δυνατότητα τροποποίησης του, σε περίπτωση μη κάλυψης του ελάχιστου αριθμού ειδικών ασκήσεων.

Κεφάλαιο 4 Μαθηματικά Μοντέλα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα δύο μαθηματικά μοντέλα. Και τα δύο μοντέλα, όπως αναλύονται παρακάτω, είναι προβλήματα μικτού ακέραιου προγραμματισμού (Mixed Integer Program). Με το πρώτο μοντέλο υπολογίζεται ο αριθμός των «set of events» που πρέπει να εκτελέσει ο κάθε Ιπτάμενος, βάσει των διατιθέμενων πόρων, σε όλο το τρίμηνο, ώστε να επιτύχει την κάλλιστη μαχητική ικανότητα. Στη συνέχεια με το δεύτερο μοντέλο ο αριθμός αυτών των sets που υπολογίστηκε, κατανέμεται ημερολογιακά στο τρίμηνο, διατηρώντας έτσι τη διαθεσιμότητα σε όλες τις ειδικές ασκήσεις που καλείται να εκτελέσει. Τα μοντέλα περιέχουν περιορισμούς, οι οποίοι απορρέουν από τα εγχειρίδια και τις Διαταγές που διέπουν την οργάνωση και τη λειτουργία μίας πολεμικής Μοίρας, καθώς δοκιμάζονται και παρουσιάζονται βασισμένα σε ρεαλιστικά, αλλά υποθετικά δεδομένα.

4.1 Μαθηματικό ΜΟΝΤΕΛΟ 1

Ο τριμηνιαίος προγραμματισμός των «set of events», έχει ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη κατανομή των events σε Ιπταμένους. Ο αντικειμενικός σκοπός του μοντέλου είναι να μεγιστοποιήσει τη μαχητική ικανότητα του κάθε Ιπταμένου και κατ' επέκταση το ποσοστό πολεμικής ετοιμότητας της Μοίρας σε κάθε «set», λαμβάνοντας υπόψη τις διαθέσιμες πτήσεις για όλη τη Μοίρα σε διάστημα τριμήνου, τη δυνατότητα παραβίασης του μέγιστου ορίου πτήσεων για κάθε ιπτάμενο, καθώς και το «βάρος» που υποδεικνύεται σε κάθε «set» ανάλογα το ρόλο της Μοίρας από την ηγεσία της Πολεμικής Αεροπορίας.

4.1.1 ΔΕΙΚΤΕΣ

i Ιπτάμενοι της Μοίρας (P_1 έως P_{10}).

j Set of events (S_1 έως S_8).

4.1.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ

W_j Το «βάρος» το οποίο αποδίδεται σε κάθε «set of events», ανάλογα το ρόλο της Μοίρας.

SMW Το μέγιστο έργο που μπορεί να εκτελέσει η Μοίρα, για τη χρονική περίοδο (t_1 έως t_{90}), λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα των Αεροσκαφών.

PPU Ποινή η οποία αποδίδεται για κάθε πτήση παραπάνω από το ανώτατο όριο πτήσεων του κάθε Ιπταμένου, για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

$f_{i,j}$ Binary πίνακας, ο οποίος παρουσιάζει τη δυνατότητα εκτέλεσης του set (j) από τον Ιπτάμενο (i).

$RMAX_{i,j}$ Πίνακας με τον απαιτούμενο αριθμό sets (j), για την απόκτηση της μέγιστης μαχητικής ικανότητας (100%) από τον Ιπτάμενο (i).

$RMIN_{i,j}$ Πίνακας με τον ελάχιστο αριθμό sets (j) για την απόκτηση της ελάχιστης αποδεκτής μαχητικής ικανότητας από τον Ιπτάμενο (i), η οποία καθορίζεται από τη Πολεμική Αεροπορία.

$B_{i,j}$ Η ελάχιστη αποδεκτή ποσοστιαία μαχητική ικανότητα του Ιπταμένου (i) στο set (j).

- L_i Ο μέγιστος αριθμός πτήσεων για κάθε Ιπτάμενο (i), για το χρονικό διάστημα του υπό εξέταση τριμήνου.
- y_j Θετικός αριθμός, ο οποίος παρουσιάζει το ποσοστό εκτέλεσης του συγκεκριμένου set (j), από όλη τη Μοίρα.

4.1.3 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

- $x_{i,j}$ Θετική ακέραια μεταβλητή η οποία υποδηλώνει τον αριθμό από κάθε set (j), τον οποίο θα εκτελέσει ο Ιπτάμενος (i) σε όλο το χρονικό διάστημα.
- $c_{i,j}$ Θετική μεταβλητή, η οποία δείχνει το ποσοστό εκτέλεσης κάθε set (j) από κάθε Ιπτάμενο (i).
- pnu_i Θετική ακέραια μεταβλητή, η οποία δείχνει τον αριθμό των παραβιάσεων για κάθε Ιπτάμενο (i) από το μέγιστο επιτρεπόμενο αριθμό πτήσεων, για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

4.1.4 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

$$\text{Maximize} \sum_i \sum_j w_j \cdot c_{i,j} - \sum_i pnu_i \cdot PPU$$

4.1.5 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

$$1. \quad x_{i,j} - c_{i,j} \cdot RMAX_{i,j} \cdot f_{i,j} = 0 \quad \forall i, j$$

$$2. \quad \sum_i \sum_j x_{i,j} \leq SMW$$

$$3. \quad x_{i,j} \geq RMIN_{i,j} \cdot f_{i,j} \quad \forall i, j$$

$$4. \quad 0 \leq c_{i,j} \leq 1 \quad \forall i, j$$

$$5. \quad \sum_j x_{i,j} - pnu_i = L_i \quad \forall i$$

$$6. \quad c_{i,j} \geq B_{i,j} \quad \forall i, j$$

$x_{i,j,t}$ Positive integer

$pnu_{i,t}$ Positive integer

4.1.6 ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ

4.1.6.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

Η αντικειμενική συνάρτηση, είναι μία απλή γραμμική συνάρτηση, η οποία μεγιστοποιεί το γινόμενο του «βάρους» με το ποσοστό εκτέλεσης κάθε set (j) από τον Ιπτάμενο (i). Το «βάρος» μπορεί να ρυθμιστεί από τον χρήστη, λαμβάνοντας υπόψη την έμφαση που δίνεται από τα προϊστάμενα κλιμάκια σε κάθε set ειδικών ασκήσεων, ανάλογα με το ρόλο της κάθε Μοίρας τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Το μοντέλο επιτρέπει να υπάρχουν παραβιάσεις στον μέγιστο αριθμό πτήσεων από τον κάθε Ιπτάμενο, με στόχο την επίτευξη ενός επιθυμητού ποσοστού ετοιμότητας. Ειδικότερα η μεταβλητή pnu_i δείχνει τον αριθμό των παραβιάσεων από τον κάθε Ιπτάμενο, η οποία μπορεί να ρυθμιστεί από την τιμή

της ποινής PPU . Μελέτη των αποτελεσμάτων μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στην λήψη απόφασης από τα προϊστάμενα κλιμάκια για την κατανομή των πόρων καθώς και στην επιλογή των Μοιρών για την εκτέλεση διαφόρων αποστολών.

4.1.6.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Στον περιορισμό (1) ορίζεται το ποσοστό ετοιμότητας του κάθε Ιπταμένου σε κάθε set $(c_{i,j})$, ως το πηλίκο του αριθμού εκτελεσθέντων set $(x_{i,j})$ προς τον μέγιστο αριθμό set $(RMAX_{i,j})$ για την μέγιστη ετοιμότητα που μπορεί να εκτελέσει ο κάθε Ιπτάμενος στην συγκεκριμένη ειδική άσκηση.

Ο περιορισμός (2), περιορίζει το συνολικό έργο που θα εκτελέσουν όλοι οι Ιπτάμενοι να είναι μικρότερο από το μέγιστο έργο που μπορεί να υποστηριχτεί από τη Μοίρα, λόγω διαθεσιμότητας αεροσκαφών.

Με τον περιορισμό (3), εξασφαλίζεται η εκτέλεση των ελάχιστων set $(RMIN_{i,j})$, από τον κάθε Ιπτάμενο, όπως αυτά ορίζονται από τα ανώτερα κλιμάκια. Από την ελάχιστη αυτή απαίτηση των set, προκύπτει και το ελάχιστο ποσοστό ετοιμότητας των Ιπταμένων στα αντίστοιχα set.

Στον περιορισμό (5), ορίζεται η μεταβλητή $(p_{ni,j})$ που καταγράφει τον αριθμό των πτήσεων που παραβιάζουν το ανώτατο όριο πτήσεων για κάθε Ιπτάμενο στην υπό εξέταση χρονική περίοδο. Η μεταβλητή αυτή προκύπτει από τη διαφορά του αθροίσματος των sets που εκτελεί ο κάθε ιπτάμενος, όλο το χρονικό διάστημα με το μέγιστο όριο των διαθέσιμων πτήσεων για το χρόνο αυτό.

Με τον περιορισμό (6), περιορίζουμε τη μεγάλη διαφορά στα ποσοστά εκτέλεσης μεταξύ των sets, στην περίπτωση διάθεσης πτήσεων πέραν των απαραίτητων για

την ελάχιστη ετοιμότητα. Δίνοντας διάφορες τιμές στον πίνακα $(B_{i,j})$ και απαιτώντας το ποσοστό εκτέλεσης « $c_{i,j}$ » να είναι μεγαλύτερο σε κάθε set, καλύπτεται τουλάχιστον το ποσοστό αυτό και εν συνεχεία ανάλογα με το «βάρος» του κάθε set υπερκαλύπτονται τα ποσοστά εκτέλεσης.

Ο περιορισμός (4), παρουσιάζει το πεδίο τιμών της μεταβλητής.

Μετά την επίλυση του προβλήματος εκτελείται ο υπολογισμός του αριθμού y_j , ο οποίος προκύπτει από το μέσο όρο των ποσοστών των Ιπταμένων σε κάθε άσκηση.

4.2 Μαθηματικό ΜΟΝΤΕΛΟ 2

Το δεύτερο μέρος του τριμηνιαίου προγραμματισμού των «set of events», έχει ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη διασπορά των events σε Ιπταμένους σε όλο το τρίμηνο. Ο αντικειμενικός σκοπός του μοντέλου 2 είναι να κατανέμει τα sets μέσα στο τρίμηνο με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε αφενός να διατηρούν οι Ιπτάμενοι τη διαθεσιμότητα σε κάθε ειδική άσκηση και αφετέρου να μεγιστοποιήσει τη μαχητική ικανότητα τους. Για τις ανάγκες του προβλήματος, θεωρήθηκε ότι η ημερομηνία που πρέπει να επαναληφθεί κάθε ειδική άσκηση, είναι 45 ημερολογιακές ημέρες. Το χρονικό αυτό διάστημα καλύπτει όλες τις ασκήσεις που εξετάζονται. Λαμβάνοντας υπόψη το «κέρδος» που έχει ο κάθε Ιπτάμενος από την εκτέλεση του κάθε set, το Μοντέλο αφού εξασφαλίσει ότι κανένας Ιπτάμενος δεν θα χάσει τη διαθεσιμότητά του στη συνέχεια προγραμματίζει αρχικά να εκτελεστούν τα sets με μεγάλο κέρδος.

4.2.1 ΔΕΙΚΤΕΣ

i Ιπτάμενοι της Μοίρας (P_1 έως P_{10}).

j	Set of events (S_1 έως S_8).
t	Χρονικοί περίοδοι σε ημέρες (t_1 έως t_{90}).

4.2.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$g_{i,j}$	Το «κέρδος» το οποίο αποδίδεται σε κάθε «set of events», ανάλογα το ρόλο της Μοίρας.
$x_{i,j}$	Ο τελικός αριθμός από κάθε set που θα εκτελέσει ο κάθε Ιπτάμενος για την επίτευξη της βέλτιστης πολεμικής ετοιμότητας.

4.2.3 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

$a_{i,j,t}$	Binary μεταβλητή η οποία υποδηλώνει με «1» ότι ο Ιπτάμενος (i) θα εκτελέσει το set (j) τη χρονική στιγμή(t). «0» σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση.
-------------	---

4.2.4 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

$$\text{Maximize} \sum_i \sum_j \sum_t g_{i,j} \cdot a_{i,j,t}$$

4.2.5 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

- $\sum_j a_{i,j,t} \leq 1 \quad \forall i, t$
- $\sum_t a_{i,j,t} \leq x_{i,j} \quad \forall i, j$

$$3. \quad \sum_i \sum_j a_{i,j,t} \leq 12 \quad \forall t$$

$$4. \quad \sum_i \sum_j a_{i,j,t} \geq 2 \quad \forall t$$

$$5. \quad \sum_{t_0}^{t_0+45} a_{i,j,t} \geq 1 \quad \forall i, j \quad t_0 \in \{1, 2, 3, \dots, 45\}$$

$$a_{i,j,t} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, t$$

4.2.6 ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ

4.2.6.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

Η αντικειμενική συνάρτηση, είναι μία απλή γραμμική συνάρτηση, η οποία μεγιστοποιεί το γινόμενο του «κέρδους» με την κατανομή set (j) σε Ιπτάμενο (i) τη χρονική στιγμή (t). Το «κέρδος» μπορεί να ρυθμιστεί από τον χρήστη, λαμβάνοντας υπόψη την έμφαση που δίνεται από τα προϊστάμενα κλιμάκια σε κάθε set ειδικών ασκήσεων, ανάλογα με το ρόλο της κάθε Μοίρας τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

4.2.6.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Ο περιορισμός (1), εξασφαλίζει ότι την χρονική στιγμή (t), ο Ιπτάμενος (i), θα εκτελεί μόνο ένα set of event (j).

Με τον περιορισμό (2), εξασφαλίζεται η εκτέλεση μόνο αυτών των sets από τον κάθε Ιπτάμενο, όπως αυτά προκύπτουν από την επίλυση του πρώτου Μοντέλου.

Οι περιορισμοί (3) και (4) απορρέουν από την διαθεσιμότητα των αεροσκαφών τη χρονική στιγμή (t). Ο περιορισμός (3) εξασφαλίζει ότι κάθε χρονική στιγμή, το σύνολο των πτήσεων δεν θα υπερβαίνει το μέγιστο δυνατό έργο της Μοίρας, ενώ ο περιορισμός (4) διασφαλίζει ότι την κάθε χρονική στιγμή που θα εκτελούνται πτήσεις, η Μοίρα θα εκτελεί τουλάχιστον πάνω από 2.

Ο περιορισμός (5) διασφαλίζει ότι κατά την κατανομή των sets (j) σε κάθε Ιπτάμενο (i), θα υπάρχει τουλάχιστον ένα set (j) ανά 45 ημερολογιακές ημέρες. Αυτό έχει σαν σκοπό τη διατήρηση της διαθεσιμότητας σε κάθε ειδική άσκηση. Το χρονικό διάστημα των 45 ημερών μπορεί να μεταβληθεί αναλόγως την επιθυμητή διαθεσιμότητα.

Κεφάλαιο 5 Αριθμητικά Αποτελέσματα

Τα μοντέλα προγραμματισμού και διασποράς set of events, εφαρμόστηκαν και επιλύθηκαν με την βοήθεια της GAMS. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η περιγραφή των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν και οι παραδοχές που έγιναν για τις ανάγκες των προβλημάτων, καθώς και τα αποτελέσματα που εξάχθηκαν στην κατανομή των sets και στην πολεμική ετοιμότητα, σε διάφορα αριθμητικά παραδείγματα.

5.1 Παράμετροι Μοντέλου 1

Αριθμός δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες του προβλήματος, προέρχονται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία της USAF και τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες πολεμικές Αεροπορίες. Επιπρόσθετα, ορισμένα δεδομένα και περιορισμοί προκύπτουν από την πολυετή εμπειρία στην Ελληνική Πολεμική Αεροπορία ως Ιπτάμενο προσωπικό. Για τους Ιπταμένους χρησιμοποιείται ένα Σμήνος Μάχης, όπου ο αριθμός αυτός ανέρχεται σε 10.

Οι ειδικές ασκήσεις που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία ανέρχονται σε 38 και έχουν ομαδοποιηθεί σε 8 sets που το κάθε ένα μπορεί να εκτελεστεί σε κάθε πτήση. Η ομαδοποίηση έγινε αναλύοντας την κάθε ειδική άσκηση και τη δυνατότητα εκτέλεσης σε συνδυασμό με άλλες ασκήσεις στην ίδια πτήση. Ο αριθμός επανάληψης των set κατά τη διάρκεια του τριμήνου, προέκυψε από τον αριθμό των επαναλήψεων των ειδικών ασκήσεων που απαιτούνται στο εξάμηνο. Επιπρόσθετα ο μέγιστος χρόνος επανάληψης των set λαμβάνεται

σε συνάρτηση του χρόνου που απαιτείται να επαναληφθεί κάποια ειδική άσκηση, έτσι ώστε να υπάρχει συνεχής διαθεσιμότητα στη συγκεκριμένη άσκηση, από τους Ιπταμένους.

Το «βάρος», το οποίο μπορεί να ρυθμιστεί από τα προϊστάμενα κλιμάκια αντικατοπτρίζει την έμφαση που δίνεται σε κάθε set. Για παράδειγμα μία Μοίρα με κύριο ρόλο στις AIR TO GROUND αποστολές θα έχει μεγαλύτερο «βάρος» στα ανάλογα set, έτσι ώστε πρωτίστως, οι Ιπτάμενοι της Μοίρας αυτής να έχουν μεγαλύτερο ποσοστό ετοιμότητας σε παρόμοιες αποστολές.

Ο ανώτατος αριθμός των πτήσεων για τις ανάγκες της εργασίας καθορίστηκε σε (18) πτήσεις για τους έμπειρους, (24) για τους Ιπταμένους με ενδιάμεση εμπειρία και σε (30) πτήσεις για τους άπειρους.

Ο μέγιστος αριθμός πτήσεων για όλη την Μοίρα, που μπορεί να υποστηρίξει ο τεχνικός τομέας, κατά τη διάρκεια του προβλήματος μπορεί να μεταβάλλεται. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την κάλλιστη κατανομή των set σε ιπταμένους. Λόγω του περιορισμού (5) του πρώτου μοντέλου, το κατώτατο όριο που μπορεί να έχει το διαθέσιμο έργο της πολεμικής Μοίρας, δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από το σύνολο των ελάχιστων υποχρεωτικών πτήσεων των Ιπταμένων.

Για την επίλυση του προβλήματος θεωρήθηκε ότι στην υπό εξέταση πολεμική Μοίρα το σύνολο των ιπταμένων μπορεί να εκτελέσει όλα τα set, εκτός από το τελευταίο event (S8), το οποίο επιτρέπεται να εκτελεστεί μόνο από τους έμπειρους Ιπταμένους. Τα εν λόγω δεδομένα παρουσιάζονται στον Binary Πίνακα 5-1.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
P1	1	1	1	1	1	1	1	1
P2	1	1	1	1	1	1	1	1
P3	1	1	1	1	1	1	1	1
P4	1	1	1	1	1	1	1	1
P5	1	1	1	1	1	1	1	0
P6	1	1	1	1	1	1	1	0
P7	1	1	1	1	1	1	1	0
P8	1	1	1	1	1	1	1	0
P9	1	1	1	1	1	1	1	0
P10	1	1	1	1	1	1	1	0

Πίνακας 5-1: Δυνατότητα εκτέλεσης set of events από Ιπταμένους

Ο αριθμός επανάληψης των sets για την μέγιστη ετοιμότητα, προέκυψε από τον αντίστοιχο αριθμό των επιμέρους ειδικών ασκήσεων που περιλαμβάνουν τα sets και αναφέρονται στην βιβλιογραφία της USAF. Επομένως εκτελώντας ένας Ιπτάμενος όλα τα αυτά τα sets θα αποκτήσει μέγιστη μαχητική ικανότητα 100%. Οι αριθμοί παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-2.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
P1	2	4	2	7	2	2	4	3
P2	2	4	2	7	2	2	4	3
P3	2	4	2	7	2	2	4	3
P4	2	4	2	7	2	2	4	3
P5	3	6	3	10	3	3	6	0
P6	3	6	3	10	3	3	6	0
P7	3	6	3	10	3	3	6	0
P8	3	6	3	10	3	3	6	0
P9	4	7	4	12	4	4	7	0
P10	4	7	4	12	4	4	7	0

Πίνακας 5-2: Απαιτούμενος αριθμός sets για τη μέγιστη ετοιμότητα

Ο αριθμός επανάληψης των sets για την ελάχιστη ετοιμότητα προέκυψε από τον χρόνο που θα πρέπει να εκτελεστούν οι ειδικές ασκήσεις, για την διατήρηση της διαθεσιμότητας από τον Ιπτάμενο στην συγκεκριμένη άσκηση. Αρχικά εξάχθηκαν οι αριθμοί επανάληψης των ειδικών ασκήσεων για το τρίμηνο και στη συνέχεια οι αριθμοί των sets, που περιλάμβαναν αυτές τις ειδικές ασκήσεις. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα εκτελώντας τον ελάχιστο αριθμό από ένα συγκεκριμένο set, να εξασφαλίζεται η διατήρηση της διαθεσιμότητας σε όλες τις ειδικές ασκήσεις. Οι ελάχιστοι αριθμοί των set κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου τριμήνου παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-3.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
P1	1	1	1	1	1	2	2	2
P2	1	1	1	1	1	2	2	2
P3	1	1	1	1	1	2	2	2
P4	1	1	1	1	1	2	2	2
P5	2	2	2	2	2	3	3	0
P6	2	2	2	2	2	3	3	0
P7	2	2	2	2	2	3	3	0
P8	2	2	2	2	2	3	3	0
P9	2	2	2	2	2	4	4	0
P10	2	2	2	2	2	4	4	0

Πίνακας 5-3: Απαιτούμενος αριθμός sets για την ελάχιστη ετοιμότητα

5.2 Αριθμητικά Παραδείγματα ΜΟΝΤΕΛΟΥ 1

Οι δοκιμές που εκτελέστηκαν στο πρώτο μοντέλο, είχαν σαν σκοπό την προσπάθεια προγραμματισμού των Ιπταμένων σε ελάχιστες πτήσεις, εκτελώντας όμως το σύνολο των απαιτούμενων ειδικών ασκήσεων για τη μέγιστη μαχητική ικανότητα. Θεωρήθηκε ότι η Μοίρα που εξετάζεται έχει ως κύριο ρόλο αποστολές AIR TO GROUND και δευτερεύοντα ρόλο αποστολές AIR TO AIR.

5.2.1 Αριθμητικό Παράδειγμα 1

Στην πρώτη επίλυση του προβλήματος το «βάρος» των αποστολών που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ίδιο για κάθε set, καθώς και το διατιθέμενο έργο της Μοίρας ήταν μεγαλύτερο από το απαιτούμενο. Επιπρόσθετα το ανώτατο όριο πτήσεων για τους Ιπταμένους ήταν (18) έξοδοι για τους έμπειρους, (24) για τους Ιπταμένους με ενδιάμεση εμπειρία και (30) έξοδοι για τους άπειρους. Η τιμή της ποινής για κάθε πτήση πάνω από το ανώτατο όριο ήταν 12,5 μονάδες. Επισημάνεται ότι κατά την επίλυση αυτή δεν υπήρξε απαίτηση για ελάχιστο ποσοστό ετοιμότητας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στον Πίνακα 5-4.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΞΟΔΟΙ ΜΟΙΡΑΣ		250
ΠΑΡΑΒΙΑΣΕΙΣ ΟΡΙΟΥ ΠΤΗΣΕΩΝ		22
P1		5
P2		5
P3		5
P4		5
P5		2
P6		0
P7		0
P8		0
P9		0
P10		0
ΑΠΟΣΤΟΛΗ	ΒΑΡΟΣ	ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ ΜΟΙΡΑΣ
S1	125	100 %
S2	125	81,4 %
S3	125	100 %
S4	125	52,9 %
S5	125	100 %
S6	125	100 %
S7	125	71,4 %
S8	125	100 %

Πίνακας 5-4: Αποτελέσματα πρώτου αριθμητικού παραδείγματος

5.2.2 Αριθμητικό Παράδειγμα 2

Κατά τη δεύτερη επίλυση διατηρήθηκε σταθερό το ανώτατο όριο πτήσεων των Ιπαμένων, η τιμή της ποινής για κάθε πτήση πάνω από το ανώτατο όριο, καθώς και η μη ύπαρξη απαίτηση για ελάχιστο ποσοστό εκτέλεσης. Το «βάρος» του κάθε set αποστολών μεταβλήθηκε και διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο, δίνοντας έμφαση στις αποστολές AIR TO GROUND και στον ειδικό ρόλο της Μοίρας. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 5-5.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΞΟΔΟΙ ΜΟΙΡΑΣ		250
ΠΑΡΑΒΙΑΣΕΙΣ ΟΡΙΟΥ ΠΤΗΣΕΩΝ		22
P1		4
P2		4
P3		5
P4		5
P5		1
P6		1
P7		1
P8		1
P9		0
P10		0
ΑΠΟΣΤΟΛΗ	ΒΑΡΟΣ	ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ ΜΟΙΡΑΣ
S1	100	100 %
S2	130	71,4 %
S3	120	100 %
S4	100	52,9 %
S5	50	66,7 %
S6	150	100 %
S7	150	97,1 %
S8	200	100 %

Πίνακας 5-5: Αποτελέσματα δεύτερου αριθμητικού παραδείγματος

5.2.3 Αριθμητικό Παράδειγμα 3

Στην τρίτη επίλυση διατηρήθηκαν όλα τα δεδομένα ίδια με τη δεύτερη επίλυση, εκτός από το διαθέσιμο έργο της πολεμικής Μοίρας, το οποίο μειώθηκε και εξισώθηκε με το απαιτούμενο έργο των Ιπταμένων. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5-6.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΞΟΔΟΙ ΜΟΙΡΑΣ		228
ΠΑΡΑΒΙΑΣΕΙΣ ΟΡΙΟΥ ΠΤΗΣΕΩΝ		0
P1		0
P2		0
P3		0
P4		0
P5		0
P6		0
P7		0
P8		0
P9		0
P10		0
ΑΠΟΣΤΟΛΗ	ΒΑΡΟΣ	ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ ΜΟΙΡΑΣ
S1	100	100 %
S2	130	51.4 %
S3	120	100 %
S4	100	52.9 %
S5	50	56.7 %
S6	150	100 %
S7	150	70.5 %
S8	200	100 %

Πίνακας 5-6: Αποτελέσματα τρίτου αριθμητικού παραδείγματος

5.2.4 Αριθμητικό Παράδειγμα 4

Στην τέταρτη επίλυση του προβλήματος το «βάρος» των αποστολών που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ίδιο για κάθε set. Το διατιθέμενο έργο της Μοίρας ήταν αρκετά μεγαλύτερο από το απαιτούμενο, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα παραβίασης του

ανώτατου ορίου των πτήσεων για κάθε Ιπτάμενο. Με τον τρόπο αυτό και με την διαμόρφωση του πίνακα των ελάχιστων ποσοστών, επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος αριθμός εξόδων που θα πρέπει να εκτελέσει ο κάθε Ιπτάμενος, για την κάλυψη του απαιτούμενου ποσοστού. Στην συγκεκριμένη επίλυση απαιτήθηκε το ποσοστό ετοιμότητας όλης της Μοίρας σε κάθε set να είναι μεγαλύτερο από 80%. Το ανώτατο όριο πτήσεων για τους Ιπταμένους ήταν (18) εξοδοι για τους έμπειρους, (24) για τους Ιπταμένους με ενδιάμεση εμπειρία και (30) εξοδοι για τους άπειρους. Η τιμή της ποινής για κάθε πτήση πάνω από το ανώτατο παρέμεινε 12,5 μονάδες. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στον Πίνακα 5-7.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΞΟΔΟΙ ΜΟΙΡΑΣ		300
ΠΑΡΑΒΙΑΣΕΙΣ ΟΡΙΟΥ ΠΤΗΣΕΩΝ		72
P1		7
P2		7
P3		7
P4		7
P5		6
P6		8
P7		6
P8		8
P9		8
P10		8
ΑΠΟΣΤΟΛΗ	ΒΑΡΟΣ	ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ ΜΟΙΡΑΣ
S1	125	100 %
S2	125	93.8 %
S3	125	100 %
S4	125	83 %
S5	125	100 %
S6	125	100 %
S7	125	93.8 %
S8	125	100 %

Πίνακας 5-7: Αποτελέσματα τέταρτου αριθμητικού παραδείγματος

5.2.5 Αριθμητικό Παράδειγμα 5

Στην πέμπτη επίλυση το «βάρος» του κάθε set αποστολών μεταβλήθηκε και διαμορφώθηκε, δίνοντας έμφαση στις αποστολές AIR TO GROUND και στον ειδικό ρόλο της Μοίρας, όπως τη δεύτερη επίλυση. Το ανώτατο όριο των πτήσεων παρέμεινε το ίδιο για κάθε Ιπτάμενο, όπως και η ποινή για κάθε παραβίασής του. Το διατιθέμενο έργο της Μοίρας αυξήθηκε σε 270 έξοδοι, ενώ από τον πίνακα ελάχιστου ποσοστού ετοιμότητας, απαιτήθηκε όλοι οι Ιπτάμενοι να έχουν ποσοστό πάνω από 70%. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στον Πίνακα 5-8.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΞΟΔΟΙ ΜΟΙΡΑΣ		270
ΠΑΡΑΒΙΑΣΕΙΣ ΟΡΙΟΥ ΠΤΗΣΕΩΝ		42
P1		5
P2		5
P3		4
P4		4
P5		5
P6		5
P7		5
P8		5
P9		2
P10		2
ΑΠΟΣΤΟΛΗ	ΒΑΡΟΣ	ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ ΜΟΙΡΑΣ
S1	100	95 %
S2	130	77,6 %
S3	120	95 %
S4	100	71,6 %
S5	50	95 %
S6	150	100 %
S7	150	82,6 %
S8	200	100 %

Πίνακας 5-8: Αποτελέσματα πέμπτου αριθμητικού παραδείγματος

5.2.6 Αριθμητικό Παράδειγμα 6

Στην έκτη και τελευταία επίλυση του προβλήματος το «βάρος» των αποστολών που χρησιμοποιήθηκε και το διατιθέμενο έργο της Μοίρας ήταν το ίδιο με την πέμπτη επίλυση. Το ποσοστό που απαιτήθηκε ήταν τουλάχιστον 70%. Το ανώτατο όριο πτήσεων για τους Ιπταμένους ήταν (18) έξοδοι για τους έμπειρους, (24) για τους Ιπταμένους με ενδιάμεση εμπειρία και (30) έξοδοι για τους άπειρους. Η τιμή της ποινής για κάθε πτήση πάνω από το ανώτατο αυξήθηκε σε 500 μονάδες. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στον Πίνακα 5-9.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΞΟΔΟΙ ΜΟΙΡΑΣ		270
ΠΑΡΑΒΙΑΣΕΙΣ ΟΡΙΟΥ ΠΤΗΣΕΩΝ		40
P1		4
P2		4
P3		4
P4		4
P5		5
P6		5
P7		5
P8		5
P9		2
P10		2
ΑΠΟΣΤΟΛΗ	ΒΑΡΟΣ	ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ ΜΟΙΡΑΣ
S1	100	95%
S2	130	77.6 %
S3	120	95 %
S4	100	71.6 %
S5	50	95 %
S6	150	100 %
S7	150	77.6 %
S8	200	100 %

Πίνακας 5-9: Αποτελέσματα έκτου αριθμητικού παραδείγματος

5.3 Αριθμητικό Παράδειγμα MONTELOU 2

Για την περαιτέρω επίλυση του προβλήματος με το δεύτερο μοντέλο, χρησιμοποιήσαμε τα αποτελέσματα από το τρίτο αριθμητικό παράδειγμα. Αυτό επιλέχτηκε διότι περιέχει τις χειρότερες συνθήκες επίλυσης, αλλά τις πιο ρεαλιστικές σε συνθήκες μειωμένων πόρων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στο Παράτημα Θ.

5.4 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Τα συμπεράσματα που θα εξεταστούν και θα σχολιαστούν αφορούν μόνο το MONTELO 1. Αυτό γίνεται διότι οι λύσεις του δεύτερου μοντέλου εξαρτώνται μόνο από τις λύσεις του πρώτου και γίνεται μία απλή κατανομή σε βάθος τριμήνου, τηρώντας όλους τους περιορισμούς.

Σε όλα τα αριθμητικά παραδείγματα το ανώτατο όριο των πτήσεων για κάθε Ιπτάμενο στο τρίμηνο, έμεινε σταθερό. Αυτό επιλέχτηκε σκοπίμως, για τη ρεαλιστική εκπαίδευση στο στάδιο συντήρησης με μειωμένους πόρους, με παράλληλη απαίτηση υψηλών ποσοστών πολεμικής ετοιμότητας.

Εξετάζοντας τα δύο πρώτα παραδείγματα, παρατηρούμε ότι όταν μεταβάλλεται μόνο το «βάρος» των αποστολών, πετυχαίνονται μεγαλύτερα ποσοστά ετοιμότητας σε αποστολές με ιδιαίτερη έμφαση, διατηρώντας τον συνολικό αριθμό παραβιάσεων ίδιο.

Στο τρίτο παράδειγμα εξισώνοντας το διαθέσιμο συνολικό έργο της Μοίρας με το απαιτούμενο έργο, παρατηρούμε μία πολύ σημαντική πτώση στα επίπεδα ετοιμότητας. Επισημαίνεται ότι στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει η δυνατότητα υπέρβασης των ορίων πτήσεων από τους ιπταμένους. Στις αποστολές με μικρό βάρος η ετοιμότητα προσεγγίζει τα



ελάχιστα όρια και γίνεται προσπάθεια διατήρησης των ποσοστών σε υψηλά επίπεδα μόνο στα sets με ειδικό ενδιαφέρον.

Από την άλλη μεριά στο τέταρτο παράδειγμα προσεγγίζεται η κατάσταση με αυξημένη παροχή έργου από τη Μοίρα. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει απαίτηση για ελάχιστο ποσοστό ετοιμότητας (80%). Τα ποσοστά ετοιμότητας που εξάγονται είναι αρκετά υψηλά, αλλά με μεγάλο αριθμό παραβιάσεων του ορίου πτήσεων.

Στο πέμπτο παράδειγμα μετά την απαίτηση για ελάχιστη ετοιμότητα ελαφρώς μικρότερη από την προηγούμενη (70%) και μεταβολή στο «βάρος» των αποστολών, παρατηρείται μία σχετική διατήρηση υψηλών ποσοστών ετοιμότητας. Αυτό συμβαίνει κυρίως σε αποστολές με μεγάλο ενδιαφέρον και με αρκετά μικρότερο αριθμό παραβιάσεων του ορίου πτήσεων.

Στο τελευταίο παράδειγμα διατηρώντας όλα τα δεδομένα ίδια με το πέμπτο, αλλά αυξάνοντας δραματικά την ποινή παραβίασης, παρατηρείται μία τεράστια μείωση στην αντικειμενική συνάρτηση στην προσπάθεια διατήρησης της ετοιμότητας πάνω από την επιθυμητή.

Κεφάλαιο 6 Σύνοψη Μεταπτυχιακής Εργασίας

Σε αυτήν την μεταπτυχιακή εργασία εξετάσαμε τη βελτιστοποίηση, μέσω μαθηματικών μοντέλων, του προγραμματισμού πτήσεων σε μία πολεμική Μοίρα, σε βάθος τριμήνου. Αυτό έγινε με τη βοήθεια δύο μοντέλων. Στο πρώτο υπολογίστηκε ο αριθμός των πτήσεων που πρέπει να εκτελέσει ένας Ιπτάμενος, με βάση συγκεκριμένων πόρων, σε όλο το τρίμηνο, για την επίτευξη κάλλιστης μαχητικής ικανότητας. Με το δεύτερο μοντέλο κατανεμήθηκαν οι αποστολές αυτές ημερολογιακά με σκοπό τη διατήρηση της διαθεσιμότητας σε όλο το φάσμα των αποστολών.

Τα αποτελέσματα που εξάχθηκαν από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, είναι ρεαλιστικά και εφαρμόσιμα στον τομέα του προγραμματισμού πτήσεων σε μία επιχειρησιακή Μοίρα. Τα μοντέλα αποτελούν ένα άριστο βοήθημα για τους αξιωματικούς των γραφείων εκπαίδευσης, συμβάλλοντας σε μεγάλο βαθμό στην εύρυθμη λειτουργία τους.

Κατά την εκπαίδευση Ιπταμένων στο στάδιο συντήρησης είναι εφικτή η διατήρηση της μαχητικής ικανότητας σε υψηλά επίπεδα. Αυτό επιτυγχάνεται αφενός με την οριακή υπέρβαση του ορίου πτήσεων και αφετέρου με την κατευθυνόμενη εκπαίδευση σε αποστολές με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για κάθε Μοίρα. Επισημαίνεται ότι η απαγόρευση υπέρβασης του θεσπισμένου στην εργασία ορίου πτήσεων για κάθε Ιπτάμενο, συνεπάγεται την οριακή πολεμική ετοιμότητα σε αποστολές με μικρό «βάρος». Υψηλά ποσοστά επιτυγχάνονται μόνο σε αποστολές που δίνεται ιδιαίτερη έμφαση με το ανάλογο «βάρος». Τέλος η εκπαίδευση των

Ιπταμένων του σταδίου συντήρησης με υψηλά επιθυμητά ποσοστά ετοιμότητας σε όλο το φάσμα των αποστολών, απαιτεί και τη διάθεση των ανάλογων πόρων.

Τα μοντέλα της παρούσας εργασίας είναι προσαρμοσμένα μόνο στο στάδιο συντήρησης. Μία εφαρμογή τους στο αρχικό στάδιο εκπαίδευσης Ιπταμένων σε αεροσκάφη F-16, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω εργασίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΣΥΝΤΑΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 1

sets

i "pilots"

/P1*P10/

j "set of events"

/S1*S8/;

parameter

W(j) "weight for each mission"

/S1 100

S2 130

S3 120

S4 100

S5 50

S6 150

S7 150

S8 200/;

parameter

L(i) "maximum number of flight for every pilot"

/P1 18

P2 18

P3 18

P4 18

P5 24

P6 24

P7 24

P8 24

P9 30

P10 30/;

parameter

SMW "maximum number of flight for SQ"

/270/;

parameter

PPU "penalty for each flight over than upper bound"

/12.5/;

parameter

y(j);

parameters

f(i,j);

\$call Gdxxrw.exe data2.xls par=f Rng=CAPABILITY!a1 rdim=1 dim=2

\$GDXIN data2.gdx

\$LOAD f

\$GDXIN;

parameters

RMAX(i,j);

\$call Gdxxrw.exe data2.xls par=RMAX Rng=RMAX!a1 rdim=1 dim=2

\$GDXIN data2.gdx

\$LOAD RMAX

\$GDXIN;

parameters

RMIN(i,j);

\$call Gdxxrw.exe data2.xls par=RMIN Rng=RMIN!a1 rdim=1 dim=2

\$GDXIN data2.gdx

\$LOAD RMIN

\$GDXIN;

parameters

B(i,j);

\$call Gdxxrw.exe data2.xls par=B Rng=B!a1 rdim=1 dim=2

\$GDXIN data2.gdx

\$LOAD B

\$GDXIN;

integer variable

x(i,j) "number from each set per pilot";

positive variable

c(i,j) "percentage of maximum number of set for each pilot";

integer variable

pvu(i) "number of violation than upper bound";

*variable z "objective variable";

free variable z;

equations

pthseis "assignment set to pilot"

periorismos1(i,j) "definition of c(i,j)"

periorismos2 "maximum number of flight for SQ"

periorismos3(i,j) "each pilot to performing at least the minimum sets"

periorismos4(i,j) "domain c(i,j)"

periorismos5(i) "definition of pvu(i,t)"

periorismos6(i,j) "each pilot to performing at least the minimum percentage for each set";

pthseis.. $z = e = \sum((i,j), w(j) * c(i,j)) - \sum((i), pvu(i)) * PPU;$

periorismos1(i,j).. $x(i,j) - c(i,j) * RMAX(i,j) * f(i,j) = e = 0;$

periorismos2.. $\sum((i,j), x(i,j)) = l = SMW;$

periorismos3(i,j).. $x(i,j) = g = RMIN(i,j) * f(i,j);$

```
periorismos4(i,j).. c(i,j)=l=1;  
periorismos5(i).. sum((j),x(i,j))-pvu(i)=e=L(i);  
periorismos6(i,j).. c(i,j)=g=B(i,j);
```

```
*model fixed  
/pthseis,periorismos1,periorismos2,periorismos3,periorismos4,periorismos5,periorismos6,peri  
orismos7,periorismos8,periorismos9/  
model fixed /All/  
solve fixed using mip maximizing z;  
loop(j,  
y(j)= (1/10)* sum((i),c.l(i,j));  
);  
display x.l,c.l,y,pvu.l;
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΣΥΝΤΑΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 2

```
sets
i "pilots"
/P1*P10/

j "set of events"
/S1*S8/

t "time"
/1*90/

parameters
x(i,j);
$call Gdxxrw.exe data2.xls par=x Rng=NOS!a1 rdim=1 dim=2
$GDXIN data2.gdx
$LOAD x
$GDXIN;

parameters
g(i,j);
$call Gdxxrw.exe data2.xls par=g Rng=GAIN!a1 rdim=1 dim=2
$GDXIN data2.gdx
$LOAD g
$GDXIN;

binary variable
a(i,j,t) "1 if pilot i scheduled to set j at time t, 0 otherwise";

*variable z "objective variable";
free variable z;
```


equations	
pthseis	"assignment set to pilot"
periorismos1(i,t)	"each pilot to performing at must one event per time"
periorismos2(i,j)	"limit the total number of flights for every pilots to the max number"
periorismos3(t)	
periorismos4(t)	
periorismos5(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos6(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos7(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos8(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos9(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos10(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos11(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos12(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos13(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos14(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos15(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos16(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos17(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos18(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos19(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos20(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos21(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos22(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos23(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos24(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos25(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos26(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos27(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos28(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos29(i,j)	"diaspora set sto trimhno"
periorismos30(i,j)	"diaspora set sto trimhno"

periorismos31(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos32(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos33(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos34(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos35(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos36(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos37(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos38(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos39(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos40(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos41(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos42(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos43(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos44(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos45(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos46(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos47(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos48(i,j) "diaspora set sto trimhno"
 periorismos49(i,j) "diaspora set sto trimhno";

pthseis.. $z = e = \sum((i,j,t),g(i,j)*a(i,j,t));$
 periorismos1(i,t).. $\sum(j,a(i,j,t))=l=1;$
 periorismos2(i,j).. $\sum((t),a(i,j,t))=l=x(i,j);$
 periorismos3(t).. $\sum((i,j),a(i,j,t))=l=12;$
 periorismos4(t).. $\sum((i,j),a(i,j,t))=g=2;$
 periorismos5(i,j).. $\sum((t)\$(ord(t) \ge 1 \text{ and } ord(t) \le 46),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos6(i,j).. $\sum((t)\$(ord(t) \ge 2 \text{ and } ord(t) \le 47),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos7(i,j).. $\sum((t)\$(ord(t) \ge 3 \text{ and } ord(t) \le 48),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos8(i,j).. $\sum((t)\$(ord(t) \ge 4 \text{ and } ord(t) \le 49),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos9(i,j).. $\sum((t)\$(ord(t) \ge 5 \text{ and } ord(t) \le 50),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos10(i,j).. $\sum((t)\$(ord(t) \ge 6 \text{ and } ord(t) \le 51),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos11(i,j).. $\sum((t)\$(ord(t) \ge 7 \text{ and } ord(t) \le 52),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos12(i,j).. $\sum((t)\$(ord(t) \ge 8 \text{ and } ord(t) \le 53),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos13(i,j).. $\sum((t)\$(ord(t) \ge 9 \text{ and } ord(t) \le 54),a(i,j,t))=g=1;$

periorismos14(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 10 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 55),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos15(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 11 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 56),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos16(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 12 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 57),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos17(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 13 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 58),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos18(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 14 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 59),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos19(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 15 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 60),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos20(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 16 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 61),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos21(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 17 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 62),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos22(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 18 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 63),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos23(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 19 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 64),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos24(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 20 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 65),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos25(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 21 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 66),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos26(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 22 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 67),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos27(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 23 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 68),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos28(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 24 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 69),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos29(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 25 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 70),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos30(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 26 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 71),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos31(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 27 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 72),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos32(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 28 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 73),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos33(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 29 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 74),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos34(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 30 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 75),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos35(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 31 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 76),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos36(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 32 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 77),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos37(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 33 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 78),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos38(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 34 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 79),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos39(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 35 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 80),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos40(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 36 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 81),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos41(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 37 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 82),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos42(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 38 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 83),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos43(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 39 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 84),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos44(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 40 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 85),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos45(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 41 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 86),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos46(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 42 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 87),a(i,j,t))=g=1;$
 periorismos47(i,j).. $\sum((t)\$(\text{ord}(t) \geq 43 \text{ and } \text{ord}(t) \leq 88),a(i,j,t))=g=1;$

```
periorismos48(i,j).. sum((t$(ord(t) ge 44 and ord(t) le 89),a(i,j,t))=g=1;  
periorismos49(i,j).. sum((t$(ord(t) ge 45 and ord(t) le 90),a(i,j,t))=g=1;
```

```
*model fixed  
/pthseis,periorismos1,periorismos2,periorismos3,periorismos4,periorismos5,periorismos6/  
model fixed /All/  
solve fixed using rmip maximizing z;  
display a.l;
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΛΥΣΕΙΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 1

General Algebraic Modeling System Execution

SOLVESUMMARY

MODEL fixed OBJECTIVE z

TYPE MIP DIRECTION MAXIMIZE

SOLVER CPLEX FROM LINE 112

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion

**** MODEL STATUS 1 Optimal

**** OBJECTIVE VALUE 8546.4286

116 VARIABLE x.L number from each set per pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	2.000	4.000	2.000	4.000	2.000	2.000
P2	2.000	4.000	2.000	4.000	2.000	2.000
P3	2.000	4.000	2.000	4.000	2.000	2.000
P4	2.000	4.000	2.000	4.000	2.000	2.000
P5	3.000	6.000	3.000	5.000	3.000	3.000
P6	3.000	4.000	3.000	5.000	3.000	3.000
P7	3.000	4.000	3.000	5.000	3.000	3.000
P8	3.000	4.000	3.000	5.000	3.000	3.000
P9	4.000	4.000	4.000	6.000	4.000	4.000
P10	4.000	4.000	4.000	6.000	4.000	4.000
+ S7		S8				
P1	4.000	3.000				
P2	4.000	3.000				
P3	4.000	3.000				
P4	4.000	3.000				
P5	3.000					
P6	3.000					
P7	3.000					
P8	3.000					

P9 4.000

P10 4.000

---- 116 VARIABLE c.L percentage of maximum number of set for each pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	1.000	1.000	1.000	0.571	1.000	1.000
P2	1.000	1.000	1.000	0.571	1.000	1.000
P3	1.000	1.000	1.000	0.571	1.000	1.000
P4	1.000	1.000	1.000	0.571	1.000	1.000
P5	1.000	1.000	1.000	0.500	1.000	1.000
P6	1.000	0.667	1.000	0.500	1.000	1.000
P7	1.000	0.667	1.000	0.500	1.000	1.000
P8	1.000	0.667	1.000	0.500	1.000	1.000
P9	1.000	0.571	1.000	0.500	1.000	1.000
P10	1.000	0.571	1.000	0.500	1.000	1.000

+ S7 S8

P1	1.000	1.000
P2	1.000	1.000
P3	1.000	1.000
P4	1.000	1.000
P5	0.500	1.000
P6	0.500	1.000
P7	0.500	1.000
P8	0.500	1.000
P9	0.571	1.000
P10	0.571	1.000

---- 116 PARAMETER y

S1 1.000, S2 0.814, S3 1.000, S4 0.529, S5 1.000, S6 1.000

S7 0.714, S8 1.000

---- 116 VARIABLE pvu.L number of violation than upper bound

P1 5.000, P2 5.000, P3 5.000, P4 5.000, P5 2.000

EXECUTION TIME = 0.016 SECONDS 3 MB 24.2.2 r44857 WEX-WEI.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

ΛΥΣΕΙΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 2

General Algebraic Modeling System

SOLVE SUMMARY

MODEL fixed OBJECTIVE z

TYPE MIP DIRECTION MAXIMIZE

SOLVER CPLEX FROM LINE 112

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion

**** MODEL STATUS 1 Optimal

**** OBJECTIVE VALUE 8672.6190

---- 116 VARIABLE x.L number from each set per pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	2.000	4.000	2.000	4.000	1.000	2.000
P2	2.000	4.000	2.000	4.000	1.000	2.000
P3	2.000	4.000	2.000	4.000	2.000	2.000
P4	2.000	4.000	2.000	4.000	2.000	2.000
P5	3.000	3.000	3.000	5.000	2.000	3.000
P6	3.000	3.000	3.000	5.000	2.000	3.000
P7	3.000	3.000	3.000	5.000	2.000	3.000
P8	3.000	3.000	3.000	5.000	2.000	3.000
P9	4.000	4.000	4.000	6.000	2.000	4.000
P10	4.000	4.000	4.000	6.000	2.000	4.000
+ S7		S8				
P1	4.000	3.000				
P2	4.000	3.000				
P3	4.000	3.000				
P4	4.000	3.000				
P5	6.000					
P6	6.000					
P7	6.000					
P8	6.000					

P9 6.000

P10 6.000

---- 116 VARIABLE c.L percentage of maximum number of set for each pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	1.000	1.000	1.000	0.571	0.500	1.000
P2	1.000	1.000	1.000	0.571	0.500	1.000
P3	1.000	1.000	1.000	0.571	1.000	1.000
P4	1.000	1.000	1.000	0.571	1.000	1.000
P5	1.000	0.500	1.000	0.500	0.667	1.000
P6	1.000	0.500	1.000	0.500	0.667	1.000
P7	1.000	0.500	1.000	0.500	0.667	1.000
P8	1.000	0.500	1.000	0.500	0.667	1.000
P9	1.000	0.571	1.000	0.500	0.500	1.000
P10	1.000	0.571	1.000	0.500	0.500	1.000

+ S7 S8

P1	1.000	1.000
P2	1.000	1.000
P3	1.000	1.000
P4	1.000	1.000
P5	1.000	1.000
P6	1.000	1.000
P7	1.000	1.000
P8	1.000	1.000
P9	0.857	1.000
P10	0.857	1.000

---- 116 PARAMETER y

S1 1.000, S2 0.714, S3 1.000, S4 0.529, S5 0.667, S6 1.000
S7 0.971, S8 1.000

---- 116 VARIABLE pvu.L number of violation than upper bound

P1 4.000, P2 4.000, P3 5.000, P4 5.000, P5 1.000, P6 1.000
P7 1.000, P8 1.000

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 3 MB 24.2.2 r44857 WEX-WEI

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε
ΛΥΣΕΙΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 3

General Algebraic Modeling System

SOLVE SUMMARY

MODEL fixed OBJECTIVE z

TYPE MIP DIRECTION MAXIMIZE

SOLVER CPLEX FROM LINE 112

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion

**** MODEL STATUS 1 Optimal

**** OBJECTIVE VALUE 8237.6190

---- 116 VARIABLE x.L number from each set per pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	2.000	2.000	2.000	4.000	1.000	2.000
P2	2.000	2.000	2.000	4.000	1.000	2.000
P3	2.000	2.000	2.000	4.000	1.000	2.000
P4	2.000	2.000	2.000	4.000	1.000	2.000
P5	3.000	3.000	3.000	5.000	2.000	3.000
P6	3.000	3.000	3.000	5.000	2.000	3.000
P7	3.000	3.000	3.000	5.000	2.000	3.000
P8	3.000	3.000	3.000	5.000	2.000	3.000
P9	4.000	4.000	4.000	6.000	2.000	4.000
P10	4.000	4.000	4.000	6.000	2.000	4.000
+ S7		S8				
P1	2.000	3.000				
P2	2.000	3.000				
P3	2.000	3.000				
P4	2.000	3.000				
P5	5.000					
P6	5.000					
P7	5.000					
P8	5.000					

P9 6.000

P10 6.000

---- 116 VARIABLE c.L percentage of maximum number of set for each pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	1.000	0.500	1.000	0.571	0.500	1.000
P2	1.000	0.500	1.000	0.571	0.500	1.000
P3	1.000	0.500	1.000	0.571	0.500	1.000
P4	1.000	0.500	1.000	0.571	0.500	1.000
P5	1.000	0.500	1.000	0.500	0.667	1.000
P6	1.000	0.500	1.000	0.500	0.667	1.000
P7	1.000	0.500	1.000	0.500	0.667	1.000
P8	1.000	0.500	1.000	0.500	0.667	1.000
P9	1.000	0.571	1.000	0.500	0.500	1.000
P10	1.000	0.571	1.000	0.500	0.500	1.000

+ S7 S8

P1 0.500 1.000

P2 0.500 1.000

P3 0.500 1.000

P4 0.500 1.000

P5 0.833 1.000

P6 0.833 1.000

P7 0.833 1.000

P8 0.833 1.000

P9 0.857 1.000

P10 0.857 1.000

---- 116 PARAMETER y

S1 1.000, S2 0.514, S3 1.000, S4 0.529, S5 0.567, S6 1.000

S7 0.705, S8 1.000

---- 116 VARIABLE pvu.L number of violation than upper bound

(ALL 0.000)

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 3 MB 24.2.2 r44857 WEX-WEI

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ
ΛΥΣΕΙΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 4

General Algebraic Modeling System

SOLVESUMMARY

MODEL fixed OBJECTIVE z

TYPE MIP DIRECTION MAXIMIZE

SOLVER CPLEX FROM LINE 112

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion

**** MODEL STATUS 1 Optimal

**** OBJECTIVE VALUE 8732.1429

---- 116 VARIABLE x.L number from each set per pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	2.000	4.000	2.000	6.000	2.000	2.000
P2	2.000	4.000	2.000	6.000	2.000	2.000
P3	2.000	4.000	2.000	6.000	2.000	2.000
P4	2.000	4.000	2.000	6.000	2.000	2.000
P5	3.000	5.000	3.000	8.000	3.000	3.000
P6	3.000	6.000	3.000	8.000	3.000	3.000
P7	3.000	5.000	3.000	8.000	3.000	3.000
P8	3.000	6.000	3.000	8.000	3.000	3.000
P9	4.000	6.000	4.000	10.000	4.000	4.000
P10	4.000	6.000	4.000	10.000	4.000	4.000
+ S7		S8				
P1	4.000	3.000				
P2	4.000	3.000				
P3	4.000	3.000				
P4	4.000	3.000				
P5	5.000					
P6	6.000					
P7	5.000					
P8	6.000					

P9 6.000

P10 6.000

---- 116 VARIABLE c.L percentage of maximum number of set for each pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	1.000	1.000	1.000	0.857	1.000	1.000
P2	1.000	1.000	1.000	0.857	1.000	1.000
P3	1.000	1.000	1.000	0.857	1.000	1.000
P4	1.000	1.000	1.000	0.857	1.000	1.000
P5	1.000	0.833	1.000	0.800	1.000	1.000
P6	1.000	1.000	1.000	0.800	1.000	1.000
P7	1.000	0.833	1.000	0.800	1.000	1.000
P8	1.000	1.000	1.000	0.800	1.000	1.000
P9	1.000	0.857	1.000	0.833	1.000	1.000
P10	1.000	0.857	1.000	0.833	1.000	1.000

+ S7 S8

P1 1.000 1.000

P2 1.000 1.000

P3 1.000 1.000

P4 1.000 1.000

P5 0.833 1.000

P6 1.000 1.000

P7 0.833 1.000

P8 1.000 1.000

P9 0.857 1.000

P10 0.857 1.000

---- 116 PARAMETER y

S1 1.000, S2 0.938, S3 1.000, S4 0.830, S5 1.000, S6 1.000

S7 0.938, S8 1.000

---- 116 VARIABLE pvu.L number of violation than upper bound

P1 7.000, P2 7.000, P3 7.000, P4 7.000, P5 6.000, P6 8.000

P7 6.000, P8 8.000, P9 8.000, P10 8.000

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 3 MB 24.2.2 r44857 WEX-WEI

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ

ΛΥΣΕΙΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 5

General Algebraic Modeling System

SOLVESUMMARY

MODEL fixed OBJECTIVE z

TYPE MIP DIRECTION MAXIMIZE

SOLVER CPLEX FROM LINE 112

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion

**** MODEL STATUS 1 Optimal

**** OBJECTIVE VALUE 8504.0476

---- 116 VARIABLE x.L number from each set per pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	2.000	3.000	2.000	5.000	2.000	2.000
P2	2.000	3.000	2.000	5.000	2.000	2.000
P3	2.000	3.000	2.000	5.000	2.000	2.000
P4	2.000	3.000	2.000	5.000	2.000	2.000
P5	3.000	5.000	3.000	7.000	3.000	3.000
P6	3.000	5.000	3.000	7.000	3.000	3.000
P7	3.000	5.000	3.000	7.000	3.000	3.000
P8	3.000	5.000	3.000	7.000	3.000	3.000
P9	3.000	5.000	3.000	9.000	3.000	4.000
P10	3.000	5.000	3.000	9.000	3.000	4.000
+ S7		S8				
P1	4.000	3.000				
P2	4.000	3.000				
P3	3.000	3.000				
P4	3.000	3.000				
P5	5.000					
P6	5.000					
P7	5.000					
P8	5.000					

P9 5.000

P10 5.000

---- 116 VARIABLE c.L percentage of maximum number of set for each pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	1.000	0.750	1.000	0.714	1.000	1.000
P2	1.000	0.750	1.000	0.714	1.000	1.000
P3	1.000	0.750	1.000	0.714	1.000	1.000
P4	1.000	0.750	1.000	0.714	1.000	1.000
P5	1.000	0.833	1.000	0.700	1.000	1.000
P6	1.000	0.833	1.000	0.700	1.000	1.000
P7	1.000	0.833	1.000	0.700	1.000	1.000
P8	1.000	0.833	1.000	0.700	1.000	1.000
P9	0.750	0.714	0.750	0.750	0.750	1.000
P10	0.750	0.714	0.750	0.750	0.750	1.000

+ S7 S8

P1 1.000 1.000

P2 1.000 1.000

P3 0.750 1.000

P4 0.750 1.000

P5 0.833 1.000

P6 0.833 1.000

P7 0.833 1.000

P8 0.833 1.000

P9 0.714 1.000

P10 0.714 1.000

---- 116 PARAMETER y

S1 0.950, S2 0.776, S3 0.950, S4 0.716, S5 0.950, S6 1.000

S7 0.826, S8 1.000

---- 116 VARIABLE pvu.L number of violation than upper bound

P1 5.000, P2 5.000, P3 4.000, P4 4.000, P5 5.000, P6 5.000

P7 5.000, P8 5.000, P9 2.000, P10 2.000

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 3 MB 24.2.2 r44857 WEX-WEI

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η

ΛΥΣΕΙΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 6

General Algebraic Modeling System

SOLVESUMMARY

MODEL fixed OBJECTIVE z

TYPE MIP DIRECTION MAXIMIZE

SOLVER CPLEX FROM LINE 112

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion

**** MODEL STATUS 1 Optimal

**** OBJECTIVE VALUE -11045.9524

---- 116 VARIABLE x.L number from each set per pilot

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
P1	2.000	3.000	2.000	5.000	2.000	2.000
P2	2.000	3.000	2.000	5.000	2.000	2.000
P3	2.000	3.000	2.000	5.000	2.000	2.000
P4	2.000	3.000	2.000	5.000	2.000	2.000
P5	3.000	5.000	3.000	7.000	3.000	3.000
P6	3.000	5.000	3.000	7.000	3.000	3.000
P7	3.000	5.000	3.000	7.000	3.000	3.000
P8	3.000	5.000	3.000	7.000	3.000	3.000
P9	3.000	5.000	3.000	9.000	3.000	4.000
P10	3.000	5.000	3.000	9.000	3.000	4.000
+ S7		S8				
P1	3.000	3.000				
P2	3.000	3.000				
P3	3.000	3.000				
P4	3.000	3.000				
P5	5.000					
P6	5.000					
P7	5.000					
P8	5.000					
P9	5.000					

P10 5.000

---- 116 VARIABLE c.L percentage of maximum number of set for each pilot

S1 S2 S3 S4 S5 S6

P1 1.000 0.750 1.000 0.714 1.000 1.000

P2 1.000 0.750 1.000 0.714 1.000 1.000

P3 1.000 0.750 1.000 0.714 1.000 1.000

P4 1.000 0.750 1.000 0.714 1.000 1.000

P5 1.000 0.833 1.000 0.700 1.000 1.000

P6 1.000 0.833 1.000 0.700 1.000 1.000

P7 1.000 0.833 1.000 0.700 1.000 1.000

P8 1.000 0.833 1.000 0.700 1.000 1.000

P9 0.750 0.714 0.750 0.750 0.750 1.000

P10 0.750 0.714 0.750 0.750 0.750 1.000

+ S7 S8

P1 0.750 1.000

P2 0.750 1.000

P3 0.750 1.000

P4 0.750 1.000

P5 0.833 1.000

P6 0.833 1.000

P7 0.833 1.000

P8 0.833 1.000

P9 0.714 1.000

P10 0.714 1.000

---- 116 PARAMETER y

S1 0.950, S2 0.776, S3 0.950, S4 0.716, S5 0.950, S6 1.000

S7 0.776, S8 1.000

---- 116 VARIABLE pvu.L number of violation than upper bound

P1 4.000, P2 4.000, P3 4.000, P4 4.000, P5 5.000, P6 5.000

P7 5.000, P8 5.000, P9 2.000, P10 2.000

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 3 MB 24.2.2 r44857 WEX-WEI

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ
ΛΥΣΕΙΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ 2

General Algebraic Modeling System

S O L V E S U M M A R Y

MODEL fixed OBJECTIVE z
 TYPE RMIP DIRECTION MAXIMIZE
 SOLVER CPLEX FROM LINE 147

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion

**** MODEL STATUS 1 Optimal

**** OBJECTIVE VALUE 6760.0000

---- 148 VARIABLE a.L 1 if pilot i scheduled to set j at time t, 0 otherwise

	1	2	3	4	5	6
P1 .S2		1.000				
P1 .S3			1.000			
P5 .S4	1.000					
P5 .S7		1.000	1.000		1.000	1.000
P6 .S3			1.000			
P9 .S3					1.000	
P9 .S5						1.000
P9 .S6	1.000					
P10.S1		1.000		1.000		
+	7	8	9	10	11	12
P4 .S7						1.000

P5 .S6					1.000	
P7 .S3	1.000					
P7 .S4			1.000			
P7 .S6				1.000		
P8 .S3		1.000				
P8 .S8			1.000			
P9 .S2				1.000	1.000	1.000
P9 .S3	1.000	1.000				
+	13	14	15	16	17	18

P3 .S3						1.000
P4 .S4	1.000	1.000	1.000			
P5 .S1				1.000	1.000	
P5 .S4			1.000			
P5 .S6						1.000
P6 .S2				1.000	1.000	
P7 .S5		1.000				
P9 .S1	1.000	1.000				
+	19	20	21	22	23	24

P1 .S6				1.000		
P2 .S4					1.000	1.000
P2 .S7			1.000			
P3 .S1	1.000					
P5 .S3	1.000					
P6 .S6						1.000
P6 .S8		1.000				
P7 .S4		1.000	1.000		1.000	
P8 .S6				1.000		
P9 .S7						1.000

P10.S7						1.000	
	+	25	26	27	28	29	30
P1 .S4						1.000	
P1 .S7			1.000				
P2 .S2						1.000	
P2 .S4		1.000					
P2 .S8				1.000	1.000		
P3 .S2					1.000		
P3 .S6						1.000	
P3 .S7			1.000				
P4 .S1		1.000					
P4 .S2						1.000	
P5 .S2						1.000	
P6 .S3		1.000					
P6 .S6			1.000				
P7 .S2					1.000		
P7 .S8			1.000				
P8 .S5						1.000	
P8 .S7			1.000				
P9 .S1						1.000	
P9 .S4					1.000		
P9 .S6				1.000			
P9 .S7			1.000				
P10.S4					1.000		
P10.S7			1.000				1.000
	+	31	32	33	34	35	36
P1 .S1					1.000		
P1 .S4				1.000			

P1 .S8					1.000	
P2 .S3			1.000			
P3 .S4	1.000		1.000			
P4 .S3	1.000					
P4 .S8			1.000			
P5 .S4	1.000					
P5 .S5			1.000			
P6 .S1			1.000			
P6 .S4		1.000				
P7 .S2	1.000					
P7 .S3			1.000			
P7 .S7				1.000		
P8 .S3			1.000			
P8 .S6	1.000					
P8 .S7				1.000		
P9 .S4	1.000		1.000	1.000		
P9 .S8					1.000	
P10.S1						1.000
P10.S3			1.000			
P10.S4		1.000		1.000	1.000	
+	37	38	39	40	41	42

P2 .S1		1.000				
P2 .S6			1.000			
P4 .S6		1.000				
P5 .S8					1.000	
P6 .S5	1.000					
P6 .S7					1.000	
P7 .S1	1.000	1.000				
P7 .S7					1.000	
P8 .S1			1.000		1.000	

P8 .S2		1.000	1.000			
P8 .S4					1.000	
P9 .S4			1.000			
P10.S2	1.000					
P10.S6					1.000	

+	43	44	45	46	47	48
---	----	----	----	----	----	----

P1 .S2					1.000	
P1 .S5			1.000			
P2 .S5		1.000				
P3 .S5		1.000				
P3 .S6				1.000		
P3 .S8			1.000			
P4 .S5			1.000			
P5 .S3	1.000					
P5 .S4					1.000	
P7 .S1				1.000		
P7 .S6	1.000					
P10.S5		1.000				
P10.S8	1.000					

+	49	50	51	52	53	54
---	----	----	----	----	----	----

P1 .S3	1.000					
P1 .S7			1.000			
P1 .S8					1.000	
P2 .S2				1.000		
P2 .S3					1.000	
P2 .S4	1.000					
P3 .S1				1.000		
P3 .S3	1.000					

P3 .S8	1.000					
P4 .S2				1.000		
P4 .S7					1.000	
P5 .S6	1.000					
P5 .S7			1.000			
P6 .S3		1.000				
P6 .S7						1.000
P6 .S8					1.000	
P7 .S7		1.000	1.000			
P8 .S2		1.000				
P8 .S8	1.000					
P9 .S3	1.000					
P9 .S5			1.000			
+	55	56	57	58	59	60

P1 .S4			1.000			
P1 .S8	1.000					
P2 .S7	1.000					
P5 .S1						1.000
P6 .S1						1.000
P6 .S4				1.000		
P6 .S7	1.000	1.000	1.000			
P7 .S4	1.000					
P7 .S5					1.000	
P8 .S5						1.000
P8 .S7	1.000	1.000		1.000		
P9 .S2				1.000		
P9 .S7						1.000
P10.S3					1.000	
P10.S6		1.000		1.000		1.000

	61	62	63	64	65	66
P1 .S1				1.000		
P1 .S4	1.000					
P4 .S4	1.000					
P4 .S8				1.000	1.000	
P5 .S2				1.000	1.000	
P5 .S5		1.000				
P6 .S2			1.000			
P8 .S6			1.000			
P9 .S6				1.000		
P9 .S7	1.000					
P10.S1		1.000				
P10.S3	1.000					
P10.S4					1.000	

	67	68	69	70	71	72
P1 .S6	1.000					
P2 .S8			1.000			
P3 .S2	1.000					
P3 .S7					1.000	
P3 .S8				1.000		
P4 .S1				1.000		
P4 .S6		1.000				
P6 .S1				1.000		
P6 .S6				1.000		
P7 .S2			1.000			
P7 .S8		1.000				
P9 .S8					1.000	

	73	74	75	76	77	78
--	----	----	----	----	----	----

P2 .S6			1.000			
P3 .S4		1.000				
P4 .S3	1.000					
P6 .S4				1.000		
P6 .S5					1.000	
P7 .S7			1.000			
P8 .S1				1.000		
P8 .S3	1.000					
P9 .S1			1.000			
P9 .S6			1.000			
P10.S2					1.000	
P10.S7		1.000				
+	79	80	81	82	83	84

P2 .S1		1.000				
P3 .S4			1.000			
P6 .S4	1.000	1.000				
P7 .S3	1.000					
P7 .S6				1.000		
P8 .S4			1.000	1.000	1.000	
P10.S2			1.000			
P10.S3					1.000	
P10.S5			1.000			
+	85	86	87	88	89	90

P5 .S3				1.000		
P5 .S4			1.000			
P5 .S8			1.000			
P8 .S4			1.000			

P9 .S4	1.000		
P9 .S7	1.000		1.000
P10.S2		1.000	
P10.S4		1.000	
P10.S7	1.000		1.000
P10.S8	1.000		

EXECUTION TIME = 0.032 SECONDS 3 MB 24.2.2 r44857 WEX-WEI

Βιβλιογραφία

- [1] USAF, (2011) “Air Force Instruction 11-2F-16, Volume 1,” *F-16 Pilot Training*.
- [2] USAF, (2010) “Air Force Instruction 11-202, Volume 1,” *Air Crew Training*.
- [3] John D. Van Brabant (1993), *A Monthly Squadron Sortie Scheduling Model For Improved Combat Readiness*.
- [4] Raphael P. Brown (1995), *Optimizing Readiness And Equity In Marine Corps Aviation Training Schedules*.
- [5] Murat Mise (2007), *A Model Based Optimization Plan For F-16 Pilot Training*.
- [6] Bruce A. Mc Carl (2002), “Developed in Cooperation With GAMS Development Corporation,” *GAMS User Guide: 2003*.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000127096