

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΝΤΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ ΣΤΗΝ  
ΠΟΛΕΜΙΚΗ ΑΕΡΟΠΟΡΙΑ**

του

**ΤΡΥΦΩΝΑ Η. ΣΤΡΑΓΚΑ**

Πτυχιούχου Μηχανικού Τηλ/νιών - Ηλεκτρονικών Σχολής Ικάρων, 1994

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος

Υποβληθείσα για την μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης (Μ.Δ.Ε.)

2003



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 2316/1  
Ημερ. Εισ.: 24-06-2004  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
358.416 2  
ΣΤΡ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072802

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΝΤΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ ΣΤΗΝ  
ΠΟΛΕΜΙΚΗ ΑΕΡΟΠΟΡΙΑ**

του

**ΤΡΥΦΩΝΑ Η. ΣΤΡΑΓΚΑ**

Πτυχιούχου Μηχανικού Τηλ/νιών - Ηλεκτρονικών Σχολής Ικάρων, 1994

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος

Υποβληθείσα για την μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης (Μ.Δ.Ε.)

2003

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Οι αόριστες εκτιμήσεις των τεχνικών ότι η μειωμένη διαθεσιμότητα κάποιων επισκευασίμων συστημάτων οφείλεται στο γεγονός ότι “δεν υπάρχουν αρκετά αποθέματα ανταλλακτικών εξαρτημάτων διαθέσιμα”, αποτελεί μια εύκολη δικαιολογία πίσω από την οποία καλύπτονται άλλες αδυναμίες του συστήματος υποστήριξης. Η μη ύπαρξη συστηματικού τρόπου αξιολόγησης των πιθανών προτάσεων - εισηγήσεων κατά την αρχική προμήθεια αποθεμάτων ανταλλακτικών, καθώς και κατά την αύξηση αποθεμάτων, αποτελεί μια τέτοια σημαντική αδυναμία. Επιπλέον, όταν οι προτάσεις βασίζονται σε υποκειμενικές και πολλές φορές μη στοιχειοθετημένες προσωπικές αντιλήψεις, τότε η αύξηση αποθεμάτων μπορεί να οδηγήσει σε σπατάλη σημαντικών πόρων χωρίς τελικά να οδηγήσει σε βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης.

Μέσα από την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης όλων εκείνων των στοιχείων που πρέπει να γνωρίζει κάποιος, πριν λάβει αποφάσεις σχετικά με:

- *Τον καθορισμό της αρχικής σύνθεσης αποθεμάτων επισκευασίμων συστημάτων.*
- *Την αναθεώρηση μιας υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων όταν με αυτή δεν επιτυγχάνονται τα αναμενόμενα αποτελέσματα.*
- *Τον καθορισμό προτεραιοτήτων στα προς επισκευή υλικά με γνώμονα την διαθεσιμότητα του συνολικού συστήματος, όταν το διατιθέμενο κονδύλιο δεν επιτρέπει την επισκευή όλων των υλικών.*

Στην παρούσα εργασία προσεγγίζεται το πρόβλημα της βελτιστοποίησης της σύνθεσης των αποθεμάτων και παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία για την κατανόηση των αρχών (*concepts*) που βρίσκονται πίσω από κάθε μέθοδο βελτιστοποίησης.

Σήμερα υπάρχουν ολοκληρωμένα πακέτα που μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στην λήψη βέλτιστων αποφάσεων (με βάση πάντα τα δεδομένα με τα οποία πραγματοποιείται η επεξεργασία). Η χρήση των προγραμμάτων αυτών συνεπάγεται σημαντικό κόστος και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κατά βάση

από στρατιωτικούς Οργανισμούς του εξωτερικού που διαχειρίζονται υλικά υψηλού κόστους.

Η κατανόηση των βασικών εννοιών που αναφέρονται στην εργασία αυτή, εκτιμάται ότι μπορεί να προσφέρει σημαντικά εφόδια και εργαλεία σε όσους ασχολούνται με την διαχείριση των αποθεμάτων των ηλεκτρονικών συστημάτων της Πολεμικής Αεροπορίας αλλά και γενικότερα με την διαχείριση επισκευασίμων συστημάτων.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι οργανωμένη ως εξής:

Στο *Κεφάλαιο 1* αρχικά παρατίθενται ορισμένα βασικά εισαγωγικά στοιχεία σχετικά με την διαχείριση των επισκευασίμων υλικών. Στην συνέχεια αναφέρονται οι τύποι των προβλημάτων που συναντώνται στην Πολεμική Αεροπορία και ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να απομονωθεί το εφοδιαστικό σύστημα από την συντήρηση, ώστε να μελετηθεί ξεχωριστά. Τέλος, γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με το πρόβλημα της αρχικής προμήθειας επισκευασίμων υλικών και ειδικότερα με τις τεχνικές που βασίζονται στο μοντέλο *METRIC*, καθώς το πλαίσιο αυτού του μοντέλου χρησιμοποιείται στην ανάλυση του προβλήματος της αρχικής προμήθειας ηλεκτρονικών συστημάτων.

Στο *Κεφάλαιο 2*, παρουσιάζεται η εξέλιξη των εργαλείων και μεθόδων στο πρόβλημα της διαχείρισης αποθεμάτων, καθώς και ορισμένες συνήθεις πολιτικές που ακολουθούνται κατά τον καθορισμό της αρχικής σύνθεσης αποθεμάτων. Η ανάλυση επικεντρώνεται στην μέθοδο της βελτιστοποίησης και στον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν τα σχετικά προγράμματα. Επιπλέον γίνεται αναφορά στους τύπους των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται με την χρήση των προγραμμάτων αυτών, στους λόγους για τους οποίους δεν χρησιμοποιούνται ευρέως και δεν είναι εφικτό να προβλεφθεί η χρήση τους μέσα από τις συμβάσεις προμήθειας, καθώς και στους λόγους για τους οποίους αναμένεται να αλλάξει η κατάσταση αυτή στο μέλλον.

Στο *Κεφάλαιο 3* παρουσιάζεται η δομή των τριών επιπέδων συντήρησης των ηλεκτρονικών συστημάτων του *F-16* που ακολουθείται από την Πολεμική Αεροπορία, οργανωμένη σύμφωνα με τα πρότυπα της *USAF*. Επιπλέον, αναφέρεται η αλλαγή που πραγματοποιείται στην δομή αυτή, με την αφαίρεση ενός επιπέδου συντήρησης, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι νέες απαιτήσεις που διαμορφώνονται

στο σύγχρονο περιβάλλον. Τέλος, γίνεται αναφορά στα προβλήματα που πιθανόν να δημιουργηθούν εξαιτίας της απομάκρυνσης ή / και κατάργησης του 2<sup>ου</sup> επιπέδου συντήρησης .

Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζεται το πλαίσιο πάνω στο οποίο γίνεται η ανάλυση του προβλήματος προσδιορισμού της βέλτιστης ως προς το κόστος σύνθεσης αποθεμάτων για την επίτευξη συγκεκριμένων επιπέδων διαθεσιμότητας ενός αριθμού υποστηριζόμενων συστημάτων. Το μοντέλο ανάλυσης που χρησιμοποιείται, είναι βασισμένο στο *METRIC*. Από την ανάλυση των υποθέσεων που γίνονται κατά την εφαρμογή του μοντέλου *METRIC*, προκύπτει ότι οι υποθέσεις αυτές δεν αποτελούν περιορισμό στην μελέτη των επισκευασίμων ηλεκτρονικών συστημάτων. Στην συνέχεια, αφού γίνει περιγραφή της διαδικασίας επισκευής που ακολουθείται, διαμορφώνεται το μοντέλο πάνω στο οποίο πραγματοποιείται η ανάλυση και παράλληλα γίνεται αναφορά στις παραδοχές που έχουν θεωρηθεί. Ακολούθως, αναφέρονται οι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της αποτελεσματικότητας μιας σύνθεσης αποθεμάτων και προσδιορίζεται η διαθεσιμότητα με δύο διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την ακολουθούμενη πολιτική αποκατάστασης των βλαβών. Τέλος, παρουσιάζεται το πλαίσιο πάνω στο οποίο γίνεται ο καθορισμός της βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας και διαμορφώνονται τέσσερις διαφορετικές στρατηγικές προσέγγισης του προβλήματος.

Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την εφαρμογή του μοντέλου και των στρατηγικών που έχουν διαμορφωθεί στο Κεφάλαιο 4, καθώς και γενικότερα συμπεράσματα που απορρέουν από την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία και αφορούν τα ηλεκτρονικά συστήματα. Επιπλέον γίνονται προτάσεις για περαιτέρω αξιοποίηση της εργασίας και έρευνα.

Η μεταπτυχιακή εργασία περιλαμβάνει επίσης τα *Παραρτήματα Α, Β, Γ και Δ*, τα οποία θεωρούνται αναπόσπαστο τμήμα της, καθώς παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικές με το αντικείμενο και συμβάλουν στην σφαιρικότερη θεώρηση του προβλήματος. Τέλος στο *Παράρτημα Ε* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την μελέτη περιπτώσεων (*case studies*) και στο *Παράρτημα ΣΤ* παρουσιάζεται η υλοποίηση του πλαισίου ανάλυσης που έχει διαμορφωθεί στο Κεφάλαιο 4, με την χρήση του προγράμματος *Mathematica*.

Κλείνοντας, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και ειδικά τους Δρ. Ι. Λ. Μπακούρο και Δρ. Γ. Σταμπούλη οι οποίοι με τις γνώσεις και την εμπειρία τους, μου προσέφεραν πολύτιμα εφόδια.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Γ. Λυμπερόπουλο, επιβλέποντα καθηγητή αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, ο οποίος με την σημαντική βοήθεια του και την αμέριστη υποστήριξη και το πολύτιμο χρόνο του, υπήρξε η κινητήριος δύναμη για την ολοκλήρωση της.

*ΒΟΛΟΣ, Φεβρουάριος 2003*

*Τρύφων Η. Στράγκας*

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

### ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.0 Γενικά.....	2
1.1 Διαχείριση Επισκευασίμων Υλικών.....	3
1.2 Προβλήματα Διαχείρισης Επισκευασίμων Υλικών στην Π.Α.....	7
1.3 Διαχωρισμός του Εφοδιαστικού Συστήματος από την Συντήρηση.....	8
1.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	9
1.5 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	13

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

### ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

2.0 Γενικά.....	15
2.1 Προσεγγίσεις στο Πρόβλημα .....	16
2.2 Εφαρμοζόμενες Πολιτικές Αρχικής Προμήθειας.....	23
2.3 Βελτιστοποίηση Σύνθεσης Αποθεμάτων.....	31
2.4 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	38

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

### ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ F-16 ΣΤΗΝ Π.Α.

3.0 Γενικά.....	40
3.1 Συντήρηση Τριών Επιπέδων Συστημάτων Avionics στην Π.Α.....	41
3.2 Επικρατούσες Τάσεις.....	43
3.3 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	47

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

### ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΙΜΩΝ

4.0 Γενικά.....	49
4.1 Υποθέσεις METRIC .....	50
4.2 Περιγραφή του Μοντέλου – Παραδοχές .....	52
4.3 Δείκτες Μέτρησης Αποτελεσματικότητας Σύνθεσης Αποθεμάτων & Προσδιορισμός της Διαθεσιμότητας.....	61
4.4 Καθορισμός Βέλτιστης Σύνθεσης Αποθεμάτων μέσω της “Οριακής Ανάλυσης” (Marginal Analysis).....	64
4.5 Σύνοψη Κεφαλαίου.....	70



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:****ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

5.0 Γενικά.....	72
5.1 Μελέτη Περιπτώσεων (Case Studies) .....	73
5.2 Συμπεράσματα από την Μελέτη Περιπτώσεων.....	75
5.3 Γενικά Συμπεράσματα .....	81
5.4 Προτάσεις για Εκμετάλλευση της Μεταπτυχιακής Εργασίας - Προτάσεις για περαιτέρω Έρευνα.....	88
5.5 Επίλογος.....	90
<b><u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u></b> .....	92

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: LOGISTICS**

A.0 Γενικά Στοιχεία περί Logistics .....	95
A.1 Οι Αρχές και οι Βασικές Έννοιες του Logistics.....	98

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: LSA & ILS**

B.0 Το Τεχνικό Σύστημα και το Σύστημα Υποστήριξής του .....	100
B.1 Η Ανάλυση Συστήματος Υποστήριξης - LSA (Logistic Support Analysis).....	101
B.2 Το Σύστημα Ολοκληρωμένης Υποστήριξης ILS (Integrated Logistics Support) .....	102

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΖΗΤΗΣΗ POISSON**

Γ.0 Μερικές Βασικές Έννοιες.....	107
Γ.1 Ζήτηση Poisson-Ρυθμοί Ζήτησης Υλικού και Αποτυχίες Επιμέρους Εξαρτημάτων..	109

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΩΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ**

Δ.0 Γενικά.....	113
Δ.1 Το Μοντέλο DRIVE.....	115
Δ.2 Δημιουργία Μοντέλου Καθορισμού Προτεραιοτήτων κατά την Προώθηση των SRUs για Επισκευή .....	120

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ**

E.0 Γενικά.....	123
E.1 Μελέτη Περίπτωσης DED (Data Entry Display) .....	124
E.2 Μελέτη Περίπτωσης DTU (Data Transfer Unit) .....	128
E.3 Μελέτη Περίπτωσης EU (Electronic Unit) .....	131
E.4 Μελέτη Περίπτωσης PDG (Programmable Display Generator) .....	134
E.5 Μελέτη Περίπτωσης DFLCC (Digital FLight Control Computer).....	137
E.6 Μελέτη Περίπτωσης SINU (Standard Inertial Navigation Unit).....	140
E.7 Μελέτη Περίπτωσης MFD (Multi Function Display) .....	144

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ MATHEMATICA**

*ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:*  
*ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ*

## 1.0 Γενικά

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με ηλεκτρονικά συστήματα αεροσκαφών. Τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα όπως άλλωστε και οι λειτουργίες που επιτελούν. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά είναι απαραίτητα για να εκτελέσει το αεροσκάφος την αποστολή του και για το λόγο αυτό απαιτείται η λειτουργία τους σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας. Η υψηλή αξιοπιστία εξασφαλίζεται από τον σχεδιασμό των συστημάτων, ενώ η υψηλή διαθεσιμότητα επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της πολιτικής συντήρησης της επισκευής με αντικατάσταση (*repair by replacement*). Η πολιτική αυτή απλουστεύει τις ενέργειες συντήρησης στο αεροσκάφος και διαβαθμίζει την πολυπλοκότητα των ενεργειών όσο απομακρύνεται η συντήρηση από αυτό. Η εφαρμογή μιας τέτοιας πολιτικής ωστόσο γεννά την απαίτηση διατήρησης αποθεμάτων και την οργάνωση μιας εφοδιαστικής και επισκευαστικής αλυσίδας. Το πρόβλημα από την σύνθετη δομή που δημιουργείται, είναι ότι πρέπει να διατηρούμε αποθέματα σε διάφορα σημεία της αλυσίδας με σκοπό να επιτυγχάνεται μια ορθολογική ως προς το κόστος ελάχιστη αποδεκτή διαθεσιμότητα των συστημάτων.

Η κάθε σύνθεση αποθεμάτων λοιπόν, συνεπάγεται κάποιο κόστος και μακροχρόνια οδηγεί σε συγκεκριμένα επίπεδα διαθεσιμότητας του συστήματος. Για

να μελετήσουμε την “απόδοση” μιας σύνθεσης αποθεμάτων, πρέπει να διαχωρίσουμε την εφοδιαστική υποστήριξη του συστήματος από τα υπόλοιπα προβλήματα που μπορεί να υπάρχουν στην συντήρηση, καθώς και την διαθεσιμότητα του συναφούς εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την πραγματοποίησή της.

Στο Κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά σε κάποια βασικά στοιχεία που σχετίζονται με το πρόβλημα της διαχείρισης των επισκευασίμων υλικών, αναφέρονται οι τύποι των προβλημάτων που συναντώνται στην Πολεμική Αεροπορία (Π.Α.) και παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο είναι δυνατόν να διαχωριστεί το εφοδιαστικό σύστημα από την συντήρηση ώστε να μελετηθεί ξεχωριστά. Τέλος, γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση του προβλήματος της αρχικής προμήθειας επισκευασίμων υλικών. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση επικεντρώνεται στο μοντέλο *METRIC*, το πλαίσιο του οποίου θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία για την ανάλυση και μελέτη του προβλήματος της αρχικής προμήθειας ηλεκτρονικών συστημάτων, καθώς και της αξιολόγησης μιας υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων.

Τα στοιχεία που αναφέρονται στο Κεφάλαιο αυτό, υπόκεινται της έννοιας του “*logistics*” καθώς και των εννοιών του “*τεχνικού συστήματος*” και του “*συστήματος υποστήριξης*” του. Οι έννοιες αυτές αναλύονται στα Παρατήματα Α και Β της παρούσας εργασίας. Τα Παρατήματα αυτά παρέχουν το απαραίτητο υπόβαθρο από βασικά στοιχεία που πρέπει να γνωρίζει κάποιος που εμπλέκεται με την λήψη αποφάσεων σχετικά με τον καθορισμό της αρχικής ή την αναθεώρηση μιας υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων.

## **1.1 Διαχείριση Επισκευασίμων Υλικών**

### ***Επισκευή με αντικατάσταση***

Η πολιτική της επισκευής με αντικατάσταση, εφαρμόζεται με κύριο στόχο την επίτευξη υψηλών επιπέδων διαθεσιμότητας των συστημάτων. Μια τέτοια πολιτική δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί παρά μόνο όταν ο σχεδιασμός των συστημάτων έχει υλοποιηθεί με εύκολα αφαιρο-τοποθετούμενες (*modular*) μονάδες.

Όταν υπάρχει ο απαιτούμενος αυτός σχεδιασμός, στην περίπτωση εμφάνισης βλάβης, το υλικό που έχει αστοχήσει αντικαθίσταται άμεσα με ένα εύχρηστο υλικό που διατηρείται σαν απόθεμα για το σκοπό αυτό και η βλάβη αποκαθίσταται. Το

υλικό το οποίο παρουσίασε την βλάβη, επισκευάζεται ή καταδικάζεται σε ένα άλλο επίπεδο συντήρησης.

Με την εφαρμογή αυτής της φιλοσοφίας συντήρησης, επιτυγχάνεται υψηλή διαθεσιμότητα του συνολικού συστήματος, διατηρώντας παράλληλα την πολυπλοκότητα των ενεργειών συντήρησης σε χαμηλό επίπεδο. Το τίμημα είναι η διατήρηση αποθεμάτων που έχουν ως σκοπό την κάλυψη των εμφανιζόμενων βλαβών.

Τα πλεονεκτήματα της επισκευής με αντικατάσταση είναι προφανή, όμως δεν είναι τόσο προφανές ποια υλικά και σε ποιες ποσότητες πρέπει να διατηρηθούν σαν εφεδρικό απόθεμα, δηλ. ποιο πρέπει να είναι το εύρος και το βάθος των αποθεμάτων. Το πρόβλημα αυτό γίνεται περισσότερο κατανοητό αν θεωρήσουμε ότι υπάρχουν περιορισμοί διατιθέμενων κονδυλίων, περιορισμοί στην επισκευαστική δυνατότητα των υλικών, περιορισμοί στον χώρο αποθήκευσης των υλικών κτλ. Επίσης όταν η εφοδιαστική αλυσίδα επεκτείνεται σε διαφορετικούς γεωγραφικά τόπους, τότε προκύπτει επιπλέον και το πρόβλημα κατανομής των αποθεμάτων στα διάφορα σημεία της εφοδιαστικής αλυσίδας.

### **Διαχείριση αποθεμάτων**

Υπάρχει μια άμεση συσχέτιση και ανταλλαγή (*trade-off*) μεταξύ του κόστους των αποθεμάτων που διατηρούνται και της διαθεσιμότητας που επιτυγχάνεται. Ο καθορισμός του επενδύμενου κεφαλαίου σε αποθέματα που απαιτείται για την επίτευξη προκαθορισμένων επιπέδων διαθεσιμότητας, αποτελεί το κρίσιμο στοιχείο διαχείρισης των αποθεμάτων.

### **Ταξινόμηση των υλικών**

Διάφοροι τρόποι ταξινόμησης των υλικών έχουν προταθεί κατά καιρούς και εφαρμόζονται. Ταξινόμηση μπορεί να γίνει με βάση την ζήτηση, την τιμή, την καθυστέρηση ικανοποίησης αρχικής παραγγελίας του υλικού (*lead time*), τον χρόνο επισκευής του υλικού κτλ.

Μια ευρέως γνωστή μέθοδος είναι η ταξινόμηση κατά *ABC* (*Larvick 2000*). Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή, ως υλικά κατηγορίας *A* χαρακτηρίζονται τα υλικά υψηλής αξίας και χαμηλής ζήτησης, με μεγάλους και μη αξιόπιστους χρόνους παραγγελίας. Ο έλεγχος των υλικών αυτών, τα οποία καλύπτουν το 5% του συνόλου

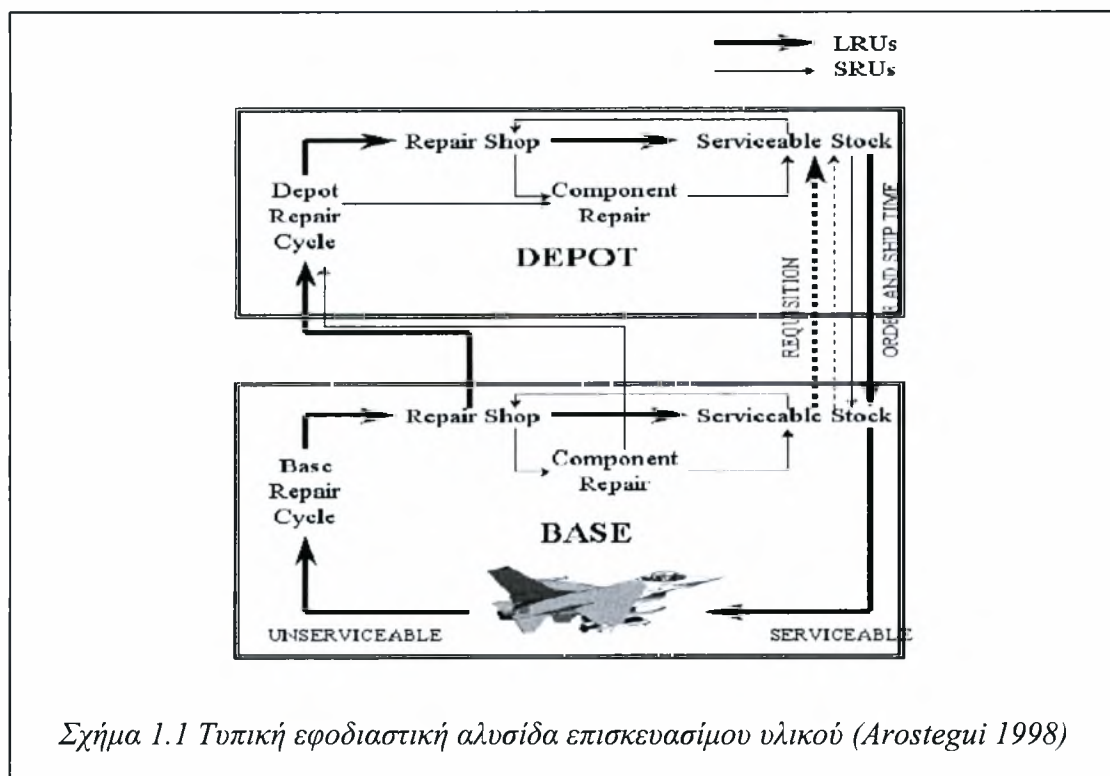
των υλικών, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και προσπάθεια από τους αντίστοιχους διαχειριστές των υλικών (*logistic managers*). Τα υλικά αυτά κατά κανόνα είναι επισκευάσιμα.

Τα υλικά που ανήκουν στην κατηγορία *C* (80% του συνόλου των υλικών) είναι υλικά χαμηλής αξίας με συνήθως μεγάλη ζήτηση και μικρούς χρόνους ικανοποίησης παραγγελιών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στα πλαίσια περιοδικής συντήρησης. Ανάμεσα στις δυο αυτές ακραίες κατηγορίες ανήκουν τα υλικά τύπου *B* (15% περίπου του συνόλου των υλικών).

Τα υλικά με τα οποία θα ασχοληθούμε στη παρούσα εργασία, ανήκουν στην κατηγορία *A*.

### Εφοδιαστική αλυσίδα επισκευασίμου υλικού

Τα υλικά κατηγορίας *A*, είναι υλικά υψηλού κόστους και έχουν ιδιαίτερα μεγάλους χρόνους παράδοσης. Ως συνέπεια των παραπάνω στοιχείων, τα υλικά αυτά σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η επισκευή τους μετά από την εμφάνιση βλάβης.



Για τα υλικά αυτά υπάρχει ένα σύστημα υποστήριξης το οποίο αναφέρεται ως εφοδιαστική αλυσίδα επισκευασίμων υλικών (*Repairable-Item Pipeline*). Το σύστημα της υποστήριξης είναι δομημένο σε επίπεδα υποστήριξης (*echelons*), ενώ η συντήρηση πραγματοποιείται μέχρι ένα καθορισμένο επίπεδο (*indenture*) του υλικού. Η επισκευή των επισκευασίμων υλικών λοιπόν, μπορεί να πραγματοποιείται από την ίδια Μονάδα που χρησιμοποιεί το υλικό, είτε να γίνεται σε διαφορετικές Μονάδες ή Επισκευαστικά Κέντρα. Επιπρόσθετα η συντήρηση πάνω στο υλικό μπορεί να πραγματοποιείται σε διάφορα επίπεδα. Όσον αφορά την συντήρηση στα ηλεκτρονικά συστήματα, αυτή διακρίνεται, όπως θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω, σε επίπεδο *αφαρο-τοποθέτησης* συγκροτημάτων (*LRUs*), *αφαρο-τοποθέτησης* καρτών (*SRUs*), καθώς και στην αντικατάσταση μικρο-υλικών (*DRUs*) των καρτών. Μια τυπική εφοδιαστική αλυσίδα παρουσιάζεται στο *Σχήμα 1.1*.

### **Δείκτες απόδοσης σύνθεσης αποθεμάτων**

Η κάθε σύνθεση αποθεμάτων, όπως έχουμε αναφέρει, απαιτεί ένα ανάλογο κόστος και οδηγεί σε αντίστοιχα αναμενόμενα επίπεδα διαθεσιμότητας. Η “απόδοση” μιας ορισμένης σύνθεσης αποθεμάτων μπορεί να μετρηθεί με διάφορους δείκτες τόσο σε επίπεδο συστήματος, όσο και σε επίπεδο αεροσκάφους. Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποιους από τους πλέον συνήθεις δείκτες που χρησιμοποιούνται (*Larvick 2000*):

#### **➤ ως προς το αεροσκάφος:**

- Ποσοστό ετοιμοπόλεμων αεροσκαφών επί του συνόλου των αεροσκαφών - *FMC (Fully Mission Capable)*.
- Ποσοστό επί του συνόλου των αεροσκαφών που δεν είναι ετοιμοπόλεμα λόγω έλλειψης υλικών - *NMCS (Not Mission Capable due to Supply)*.

#### **➤ ως προς το σύστημα:**

- Διαθεσιμότητα του συστήματος (*System Availability*).

#### **➤ ως προς την εφοδιαστική υποστήριξη:**

- Ποσοστό των φορών που ο Εφοδιασμός διέθετε σε απόθεμα το υλικό που του ζητήθηκε (*Issue effectiveness*).
- Ποσοστό των φορών που ο Εφοδιασμός διέθετε απόθεμα σε προκαθορισμένα υλικά για τα οποία έχει αποφασιστεί η διατήρηση αποθέματος (*Stockage effectiveness*).

## 1.2 Προβλήματα Διαχείρισης Επισκευασίμων Υλικών στην

### Π.Α.

Στην Π.Α. ουσιαστικά συναντούμε τρεις διαφορετικούς τύπους προβλημάτων, οι οποίοι αναλύονται συνοπτικά παρακάτω:

#### **Αρχική προμήθεια υλικών**

Κατά την αρχική προμήθεια των συστημάτων, οι προμηθευτές των συστημάτων προτείνουν στην Π.Α. μια ορισμένη σύνθεση αποθεμάτων αρχικής υποστήριξης (*initial supply*). Τα ανταλλακτικά αυτά δίνονται υπό μορφή λίστας προτεινόμενων υλικών (*RSPL - Recommended Spare Parts List*). Συνήθως, η λίστα των προτεινόμενων υλικών είναι εκτεταμένη σε εύρος και βάθος υλικών και υπερβαίνει το κονδύλιο που διατίθεται για τον σκοπό αυτό. Κατά συνέπεια γίνονται περικοπές και τελικά πραγματοποιείται προμήθεια μικρότερων ποσοτήτων από τις προτεινόμενες, απορρίπτοντας κάποια υλικά, με περισσότερο διαισθητικό παρά συστηματικό τρόπο.

Είναι προφανές ότι η προσοχή επικεντρώνεται στα υλικά υψηλού κόστους και χαμηλής ζήτησης (κατηγορίας *A*), καθώς τα υλικά αυτά δεσμεύουν το μεγαλύτερο μέρος του διατιθέμενου κονδυλίου. Τα ηλεκτρονικά συστήματα, όπως έχουμε αναφέρει, είναι μεταξύ αυτών των υλικών. Κατά συνέπεια, η ύπαρξη ενός συστηματικού τρόπου προσέγγισης του προβλήματος καθορισμού της αρχικής σύνθεσης αποθεμάτων με στόχο την μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας των συστημάτων, αποτελεί ένα στοιχείο εξαιρετικού ενδιαφέροντος.

#### **Αναπλήρωση αποθεμάτων**

Στην διάρκεια υποστήριξης των συστημάτων απαιτείται η αναπλήρωση των αποθεμάτων (*resupply*). Στην περίπτωση των επισκευασίμων υλικών που εξετάζουμε, η αναπλήρωση πραγματοποιείται με την προώθησή τους για επισκευή κατά κύριο λόγο σε φορείς του εξωτερικού. Οι πολιτικές που ακολουθούνται στον τομέα αυτό, εστιάζουν στο καθένα υλικό ανεξάρτητα ή σε κατηγορίες υλικών, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το σύστημα στο οποίο ανήκουν ούτε και η επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα του συστήματος. Επιπλέον το σύστημα εφοδιαστικής υποστήριξης είναι δομημένο στην θεώρηση ότι οι ποσότητες μπορούν να αναπληρωθούν και να διατηρούνται στα προκαθορισμένα επίπεδα, ανεξάρτητα από τα διατιθέμενα



κονδύλια. Ο μοναδικός τρόπος καθορισμού προτεραιοτήτων που ακολουθείται από την Π.Α., είναι ο χαρακτηρισμός με διαφορετική προτεραιότητα των αιτήσεων ανάλογα με εάν η έλλειψη του υλικού καθλώνει το αμέσως μεγαλύτερο συγκρότημα (*NHA - Next Higher Assembly*) ή υποβάλλεται για την αναπλήρωση του αποθέματος. Και στο πρόβλημα της αναπλήρωσης των αποθεμάτων, ο προσδιορισμός των προτεραιοτήτων των αιτήσεων με έναν συστηματικό τρόπο προσανατολισμένο στην μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας των συστημάτων, όταν τα κονδύλια που διατίθενται για τον σκοπό αυτό είναι περιορισμένα, αποτελεί μια πρόκληση.

### ***Διαχείριση υλικών στις τελικές φάσεις του κύκλου ζωής τους***

Στο τέλος του κύκλου ζωής ενός υλικού, αντιμετωπίζονται προβλήματα όπως αυτά που πηγάζουν από την έλλειψη υποστήριξης εξαιτίας της τεχνολογικής απαξίωσης των υλικών (*obsolescence*). Το θέμα αυτό δεν θα μας απασχολήσει στην παρούσα εργασία καθώς θεωρείται ως ελάσσων πρόβλημα σε σχέση με τα άλλα δύο προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω.

## **1.3 Διαχωρισμός του Εφοδιαστικού Συστήματος από την Συντήρηση**

Είναι προφανές ότι η διαθεσιμότητα ενός συστήματος καθορίζεται από την συντήρηση αλλά και την αποτελεσματικότητα του εφοδιαστικού συστήματος.

Η διαθεσιμότητα ενός συστήματος ορίζεται ως το ποσοστό του χρόνου που το σύστημα δεν είναι καθλωμένο είτε για λόγους συντήρησης είτε λόγω αναμονής υλικών (*Sherbrooke 1992a*):

### ***Συνολική Διαθεσιμότητα (Operational Availability)***

$$= \frac{MTBM}{MTBM + MCMT + MPMT + MSD} 100\%$$

Όπου *MTBM* (*Mean Time Between Maintenance*) είναι ο μέσος χρόνος μεταξύ συντήρησης, *MCMT* (*Mean Corrective Maintenance Time*) ο μέσος χρόνος αποκατάστασης των εμφανιζόμενων βλαβών, *MPMT* (*Mean Preventive Maintenance Time*) ο μέσος χρόνος πραγματοποίησης της προγραμματισμένης συντήρησης και *MSD* (*Mean Supply Delay*) ο μέσος χρόνος ικανοποίησης των αιτήσεων για υλικά.

Είναι δυνατό να απομονώσουμε την αλληλεπίδραση της συντήρησης από το εφοδιαστικό σύστημα και να μελετήσουμε τον κάθε παράγοντα ξεχωριστά, θεωρώντας την συνολική διαθεσιμότητα ως το γινόμενο των δυο παρακάτω όρων:

***Διαθεσιμότητα Συντήρησης (Maintenance Availability)***

$$= \frac{MTBM}{MTBM + MCMT + MPMT} 100\%$$

***Διαθεσιμότητα Εφοδιαστικής Υποστήριξης (Logistics Availability)***

$$= \frac{MTBM}{MTBM + MSD} 100\%$$

Η παραπάνω προσέγγιση δουλεύει ικανοποιητικά όταν οι δυο όροι παίρνουν υψηλές τιμές διαθεσιμότητας, κάτι που θεωρείται αυτονόητο όταν αναφερόμαστε σε στρατιωτικά συστήματα. Το γινόμενο των δυο όρων δίνει τιμές χαμηλότερης διαθεσιμότητας από την πραγματική, ωστόσο αν και οι δυο διαθεσιμότητες είναι μεγαλύτερες του 90%, τότε το λάθος είναι μικρότερο από 1%.

Στα ηλεκτρονικά συστήματα των αεροσκαφών με τα οποία θα ασχοληθούμε, αφενός δεν υπάρχει προγραμματισμένη συντήρηση, αφετέρου ο χρόνος αποκατάστασης των βλαβών είναι αμελητέος, λόγω της φιλοσοφίας σχεδιασμού των συστημάτων. Κατά συνέπεια, εάν δεν λάβουμε υπόψη προβλήματα στους σταθμούς όπου πραγματοποιείται η συντήρηση, μπορούμε να θεωρούμε ότι η διαθεσιμότητα των συστημάτων είναι ουσιαστικά ίση με την διαθεσιμότητα της εφοδιαστικής υποστήριξης.

## **1.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση**

Η προσέγγιση του προβλήματος της αρχικής προμήθειας επισκευασίμων υλικών, θα γίνει με προσανατολισμό στην μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας του συνολικού συστήματος και όχι των επιμέρους υλικών.

### ***Γενική Ανασκόπηση***

Σχετικά με το πρόβλημα της διαχείρισης αποθεμάτων, διακρίνονται οι παρακάτω προσεγγίσεις:

1. Μοντέλα στατιστικού ελέγχου αποθεμάτων (*Statistical Inventory Control (SIC) models*)
2. Τεχνικές καθορισμού απαιτήσεων σε υλικά (*Material Requirement Planning (MRP) techniques*)
3. Τεχνικές ελέγχου επισκευασίμων υλικών στα διάφορα επίπεδα υποστήριξης βασισμένες στο METRIC (*Multi-Echelon Techniques for Recoverable Item Control*)
4. Μοντέλα κλειστού δικτύου ουρών (*Capacitated closed queuing network base inventory models*)
5. Μοντέλα ανοιχτού δικτύου ουρών (*Capacitated open queuing network base inventory models*)
6. Μοντέλα του “Cohen” (“Cohen” Models)

Οι προσεγγίσεις αυτές αναλύονται από τον Rustenburg (2000) για να καταλήξει ότι τα μοντέλα που είναι βασισμένα στο METRIC, αποτελούν την πλέον κατάλληλη βάση για την προσέγγιση του προβλήματος καθορισμού της σύνθεσης αποθεμάτων αρχικής υποστήριξης.

### ***Τεχνικές ελέγχου επισκευασίμων υλικών στα διάφορα επίπεδα υποστήριξης βασισμένες στο METRIC (Multi-Echelon Techniques for Recoverable Item Control)***

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν διάφορες τεχνικές οι οποίες είναι βασισμένες στο μοντέλο METRIC, το οποίο αναπτύχθηκε από τον Sherbrooke (1968). Στην βασική του έκδοση το METRIC αναλύει το πρόβλημα της υποστήριξης πολλών υλικών (*multi-item*) σε ένα επίπεδο του υλικού (*single-indenture*) και σε δύο επίπεδα υποστήριξης (*two-echelon*), όπου ένα κέντρο υποστήριξης (*depot*) υποστηρίζει την συντήρηση πολλών Μονάδων (*bases*). Το μοντέλο υπολογίζει τα βέλτιστα επίπεδα αποθεμάτων τόσο στο κέντρο υποστήριξης όσο και στις Μονάδες, ώστε να μεγιστοποιείται η μέση διαθεσιμότητα στις Μονάδες, δεδομένου ενός περιορισμένου κονδυλίου καθορισμού της σύνθεσης των αποθεμάτων.

Στο μοντέλο αυτό, γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

- Οι ζητήσεις δημιουργούνται εξαιτίας μίας μόνο βλάβης κάποιου υποσυγκροτήματος του συστήματος και κατά συνέπεια προέρχονται μόνο από τις Μονάδες.

- Η επισκευή του υποσυγκροτήματος είναι δυνατό με κάποια πιθανότητα να πραγματοποιηθεί στην Μονάδα.
- Στην περίπτωση όπου η επισκευή δεν είναι δυνατή στην Μονάδα, τότε το υλικό αποστέλλεται για επισκευή στο *depot* μαζί με μία αίτηση για παροχή ενός υλικού έτοιμου για χρήση (*serviceable* ή *ready-for-use item*).
- Όταν στο *depot* υπάρχει κάποιο εύχρηστο υλικό, τότε αποστέλλεται στην Μονάδα για να ικανοποιήσει την αίτηση που έχει υποβάλει, διαφορετικά η αίτηση καθυστερείται (*backordered*) και ικανοποιείται με προτεραιότητα *FCFS* (*First Come First Serve*) μεταξύ των διαφόρων άλλων αιτήσεων που εκκρεμούν.
- Στην ανάλυση θεωρείται ότι τα υλικά διακινούνται άμεσα στην περίπτωση βλάβης (*one-for-one replenishment*).

Ένα βασικό στοιχείο στην ανάλυση που γίνεται με το *METRIC*, είναι ότι θεωρείται πως υπάρχει απεριόριστη επισκευαστική ικανότητα (*infinite repair capacity*). Η θεώρηση αυτή γίνεται για να εκμεταλλευτεί στην ανάλυση που ακολουθεί το θεώρημα του *Palm* (1938), σύμφωνα με το οποίο, εάν η ζήτηση είναι σύνθεση κατανομών *Poisson* τότε, ανεξάρτητα από την κατανομή του χρόνου επισκευής, οι πιθανότητες κατάστασης εξαρτώνται μόνο από την μέση τιμή του χρόνου επισκευής.

Τα τελευταία 30 και πλέον χρόνια, το μοντέλο *METRIC* αποτελεί την βάση για την ανάπτυξη και άλλων, περισσότερο ολοκληρωμένων μοντέλων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αφενός το μοντέλο καλύπτει πολλά χαρακτηριστικά των επισκευασίμων υλικών, αφετέρου πολλές μελέτες που έχουν γίνει, αποδεικνύουν ότι το μοντέλο παρέχει πολύ ικανοποιητικές προσεγγιστικές λύσεις. Ο *Muckstadt* (1973) επέκτεινε το αρχικό μοντέλο *METRIC* σε δύο επίπεδα του υλικού (*two-indenture*) και έτσι προέκυψε το *MOD-METRIC*. Στο μοντέλο αυτό καθορίζεται η βέλτιστη σύνθεση αποθεμάτων σε δύο επίπεδα του υλικού η οποία ελαχιστοποιεί τον αριθμό των αναμενόμενων ελλείψεων των υλικών του πρώτου επιπέδου.

Μια άλλη παραλλαγή του *METRIC* είναι το *VARI-METRIC* το οποίο αναπτύχθηκε από τον *Slay* (1984). Στο *METRIC* θεωρείται ότι η διακύμανση του αριθμού των υλικών που βρίσκονται προς επισκευή ισούται με την μέση τιμή των προς επισκευή υλικών. Ο *Slay* ανέπτυξε μια προσέγγιση με σκοπό να λάβει μια έκφραση της διακύμανσης στην οποία στην συνέχεια προσάρμοσε μια αρνητική

διωνυμική κατανομή στις δύο πρώτες ροπές. Ο *Graves (1985)*, εξέτασε ανεξάρτητα την αρνητική διωνυμική κατανομή στο παραπάνω πλαίσιο.

Στην συνέχεια ο *Sherbrooke (1986)*, συνδύασε τα μοντέλα *MOD-METRIC* και *VARI-METRIC* για να δημιουργήσει μια νεότερη έκδοση του τελευταίου. Σύγκριση των προσεγγιστικών αποτελεσμάτων που εξάγει το τελευταίο μοντέλο με αποτελέσματα προσομοίωσης (*simulation*), ανέδειξε ότι τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά ακριβή.

Όπως αναφέρεται από τον *Sterling*, εφαρμογή του *VARI-METRIC* σε διάφορα σενάρια, είχε ως αποτέλεσμα μείωση του κόστους κατά τουλάχιστον 30% τόσο κατά την αρχική προμήθεια όσο και κατά την αύξηση των υπάρχοντων αποθεμάτων. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρεται η Μονάδα *George AFB της USAF*, όπου με την εφαρμογή του μοντέλου επιτεύχθηκε μείωση του επενδύμενου κόστους για την προμήθεια αρχικών αποθεμάτων κατά περίπου 50% και επιπλέον μείωση του δείκτη *NMCS* που έχουμε περιγράψει ως δείκτη μέτρησης της απόδοσης μιας σύνθεσης αποθεμάτων, κατά 11-34%. Τα νούμερα αυτά είναι αξιοσημείωτα γιατί η εφαρμογή του μοντέλου έγινε στην πιο απλή μορφή του δηλ. σε ένα μόνο επίπεδο του υλικού και για ένα επίπεδο υποστήριξης (*single-indenture & single echelon*), σε ένα πλαίσιο ανάλογο με αυτό που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία.

Τα μοντέλα λοιπόν που βασίζονται στο *METRIC*, αποτελούν την πλέον κατάλληλη βάση για την προσέγγιση του προβλήματος της αρχικής προμήθειας αποθεμάτων. Η πρακτική εφαρμογή άλλων πιο ολοκληρωμένων μοντέλων είναι περιορισμένη εξαιτίας των αυστηρότερων περιορισμών που θέτουν.

Αμέσως παρακάτω δίνονται τα πεδία όπου εφαρμόζονται στην πράξη τα μοντέλα που βασίζονται στο *METRIC* με αξιοσημείωτα αποτελέσματα.

### **Πεδία εφαρμογής των μοντέλων τύπου *METRIC***

Σύμφωνα με τον *Sherbrooke (1992a)*, η νεότερη έκδοση *MOD-METRIC* εφαρμόζεται από την *USAF* κατά την αρχική προμήθεια αποθεμάτων. Εκτεταμένη ανασκόπηση της εφαρμογής του *METRIC* στην *USAF* γίνεται και από τους *Demmy και Pressuti (1981)*.

Ο αμερικάνικος στρατός χρησιμοποιεί μια βελτιωμένη έκδοση του *METRIC* που ονομάζεται *SESAME (Selected Essential Item Stockage for Availability Method)*

η οποία εφαρμόζεται για περίπτωση *3-echelon* και *2-indenture* και αναλύεται από τον Kaplan (1980).

Το αμερικάνικο ναυτικό χρησιμοποιεί επίσης ένα αντίστοιχο μοντέλο το οποίο έχει αναπτυχθεί από τον Clark (1981) και ονομάζεται *ACIM (Availability Centered Inventory Model)*. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για την αρχική προμήθεια υλικών παράλληλα με το *SEASCAPE (Spares Economically and Automatically Selected to Criteria Applied for Performance Effectiveness)* το οποίο συνδέει την διαθεσιμότητα των πλοίων με τα εφεδρικά υλικά που διαθέτουν και τα χαρακτηριστικά του εφοδιαστικού συστήματος.

Στο ολλανδικό ναυτικό χρησιμοποιείται ένα μοντέλο *1-echelon* και *1-indenture* το οποίο αναλύεται από τον Stoop (1993).

Τα πλέον ολοκληρωμένα πακέτα προγραμμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα για τον καθορισμό της αρχικής προμήθειας αποθεμάτων, είναι το *VMETRIC-XL* το οποίο έχει αναπτυχθεί από τον Sherbrooke (1992a) και το *OPUS10* το οποίο έχει αναπτυχθεί από την σουηδική εταιρεία *Systecon AB* και εφαρμόζεται και σε μη στρατιωτικούς Οργανισμούς. Τα προγράμματα αυτά, υποστηρίζουν επιπλέον και υπολογισμούς του αναμενόμενου κόστους υποστήριξης σε όλο τον κύκλο ζωής ενός υλικού, καθώς και την ανάλυση της εφαρμοζόμενης συντήρησης.

## **1.5 Σύνοψη Κεφαλαίου**

Στο Κεφάλαιο αυτό αρχικά έγινε παρουσίαση ορισμένων βασικών στοιχείων σχετικών με την διαχείριση των επισκευασίμων υλικών. Στην συνέχεια αναφέρθηκαν οι τύποι των προβλημάτων που συναντώνται στην Πολεμική Αεροπορία και ο τρόπος με το οποίο μπορεί να απομονωθεί το εφοδιαστικό σύστημα από την συντήρηση, ώστε να μελετηθεί ξεχωριστά. Τέλος, έγινε βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με το πρόβλημα της αρχικής προμήθειας επισκευασίμων υλικών και ειδικότερα με τις τεχνικές που βασίζονται στο μοντέλο *METRIC*, το πλαίσιο του οποίου θα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση του προβλήματος της αρχικής προμήθειας ηλεκτρονικών συστημάτων που αποτελεί το κύριο αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

## **2.0 Γενικά**

Το πρόβλημα της αρχικής προμήθειας και διαχείρισης των αποθεμάτων, απασχολεί ολοένα και πιο έντονα τους διαχειριστές των συστημάτων καθώς γίνεται πιο σύνθετο με την εμφάνιση των πολύπλοκων συστημάτων. Με την πάροδο του χρόνου αναπτύχθηκαν διάφορα εργαλεία και τεχνικές για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού. Παράλληλα, με την εξάπλωση των συστημάτων σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές, η προμήθεια και διαχείριση των αποθεμάτων, από πρόβλημα υποστήριξης συγκεκριμένου συστήματος σε συγκεκριμένη περιοχή, επεκτάθηκε σε πρόβλημα της εφοδιαστικής αλυσίδας και του συνολικού συστήματος υποστήριξης.

Από την προσωπική εκτίμηση του μηχανικού περάσαμε στην συστημική προσέγγιση του προβλήματος. Η εφαρμογή των προσανατολισμένων στο σύστημα τεχνικών, γίνεται μέσα από την χρησιμοποίηση ολοκληρωμένων πακέτων προγραμμάτων που υπάρχουν διαθέσιμα. Τα εξελιγμένα μοντέλα επιτρέπουν στον διαχειριστή υλικών να προσεγγίσει το πρόβλημα προσανατολισμένος στην επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα του συνολικού συστήματος και εξυπηρετούν τουλάχιστον έναν από τους παρακάτω σκοπούς:

- Την σύνδεση της διαθεσιμότητας με το κόστος.



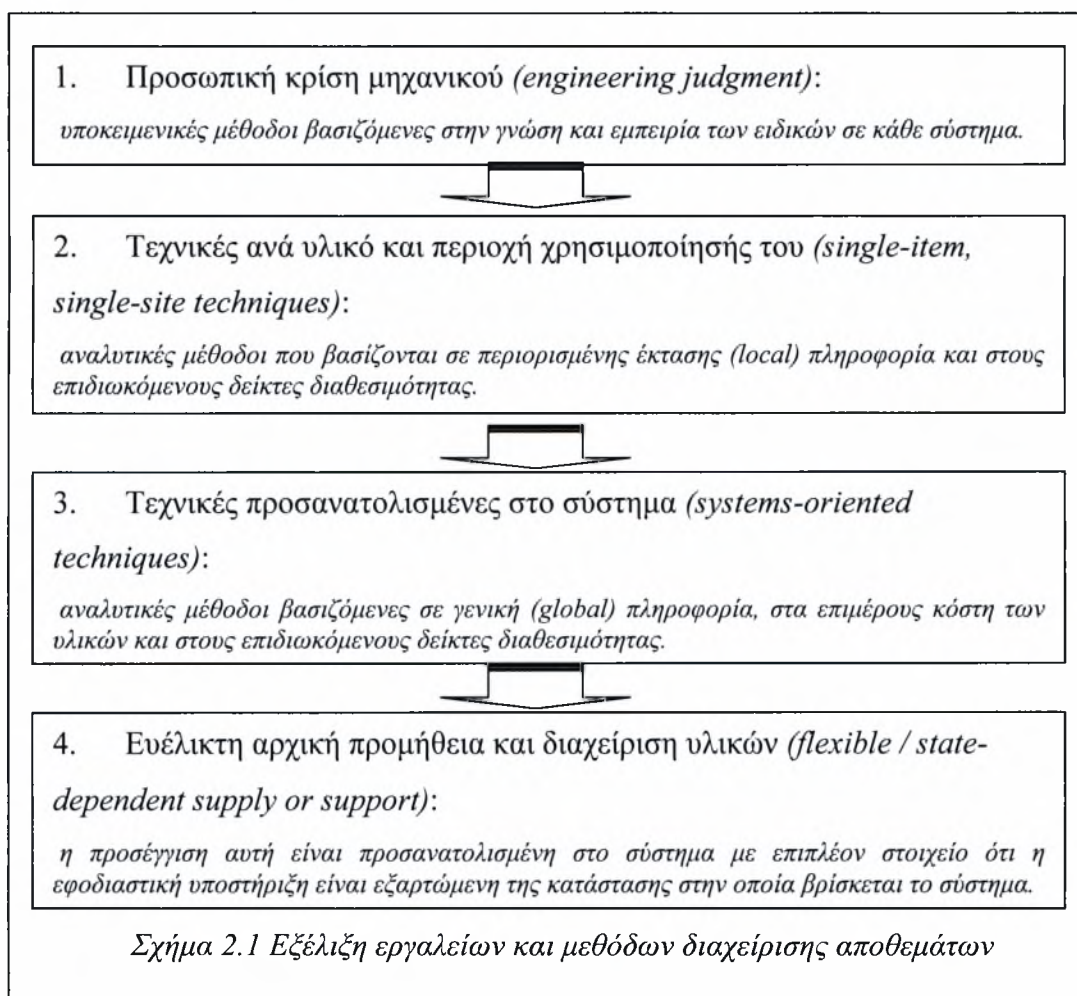
- Τον καθορισμό της σύνθεσης των αποθεμάτων που πρέπει να διατηρούνται σε κάθε σημείο της εφοδιαστικής αλυσίδας για να είναι δυνατή η επίτευξη συγκεκριμένων επιπέδων διαθεσιμότητας.
- Τον υπολογισμό της διαθεσιμότητας που επιτυγχάνεται, δεδομένης της σύνθεσης και κατανομής των αποθεμάτων.

Μέσω της χρησιμοποίησης αυτών των μοντέλων, διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων.

Στο Κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται η εξέλιξη των εργαλείων και μεθόδων στο πρόβλημα της διαχείρισης αποθεμάτων, καθώς και ορισμένες πολιτικές που ακολουθούνται κατά τον καθορισμό της αρχικής σύνθεσης αποθεμάτων. Επιπλέον αναφέρονται ορισμένα βασικά στοιχεία σε σχέση με τα χρησιμοποιούμενα προγράμματα βελτιστοποίησης.

## 2.1 Προσεγγίσεις στο Πρόβλημα

Η εξέλιξη των εργαλείων και μεθόδων, σύμφωνα με τους *Alfredsson και Wååk (2000)*, ακολούθησε την πορεία που εικονίζεται στο *Σχήμα 2.1*:



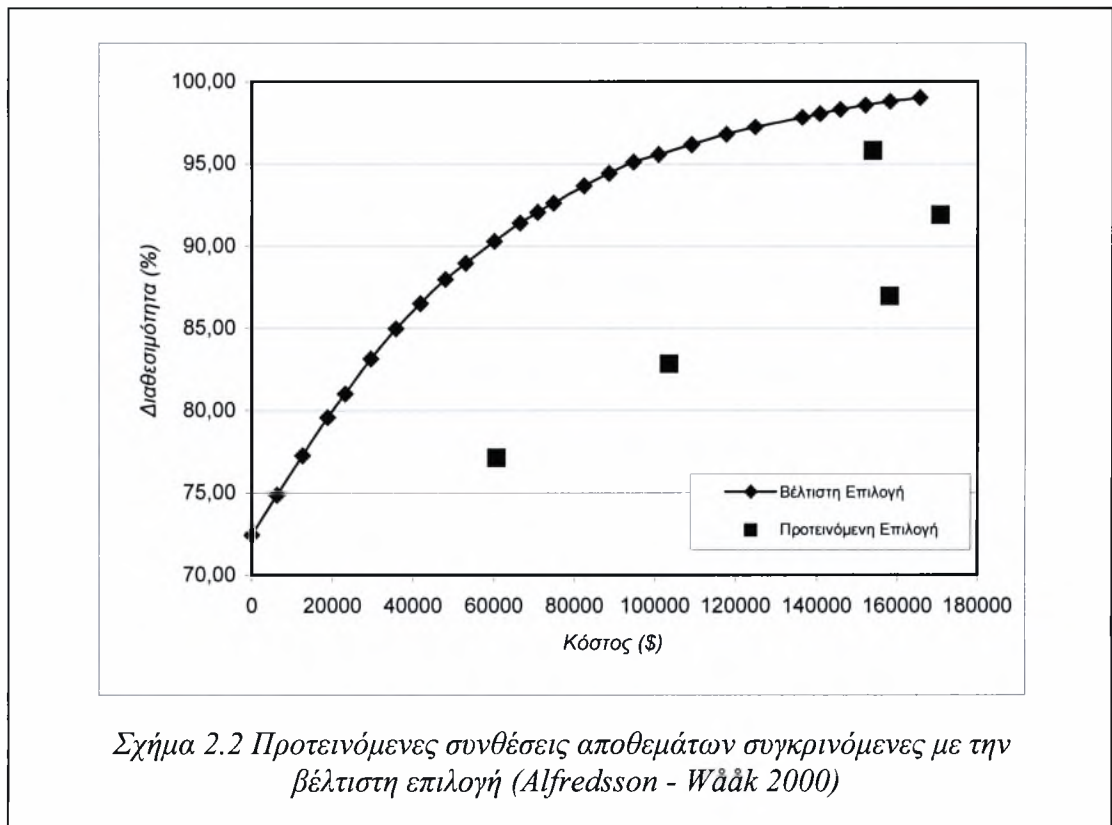
Κάθε μία από τις προσεγγίσεις αυτές, έχει θετικά και αρνητικά σημεία. Οι δύο πρώτες τεχνικές ωστόσο, εφαρμόζονται σήμερα υπέρμετρα συγκριτικά με τις δυνατότητες που προσφέρει η τρίτη τεχνική. Η βελτιστοποίηση της σύνθεσης των αποθεμάτων, έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη της επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας των συστημάτων με 20-30% μικρότερο κόστος. Η νέα τάση που παρουσιάζεται είναι η εφαρμογή ευέλικτης διαχείρισης υλικών, με την οποία επιτυγχάνεται επιπλέον εξοικονόμηση χρημάτων σε ποσοστό 20-30% (Alfredsson - Wååk 2000).

### ***Προσωπική κρίση μηχανικού (engineering judgment)***

Η κρίση του μηχανικού είναι απαραίτητη στην διαδικασία καθορισμού των αποθεμάτων. Μπορεί για παράδειγμα να συνεισφέρει στην αξιολόγηση της κρισιμότητας και να εγγυηθεί την ορθότητα και την εγκυρότητα των δεδομένων. Επίσης μπορεί να εκτιμήσει την αξιοπιστία των προβλέψεων και να εντοπίσει πιθανά λάθη και εσφαλμένες θεωρήσεις.

Σε καμιά περίπτωση ωστόσο δεν θα πρέπει ο καθορισμός των αποθεμάτων να στηρίζεται αποκλειστικά στην κρίση αυτή, καθώς η πολυπλοκότητα του προβλήματος κάνει πρακτικά αδύνατη την επεξεργασία και τελική εισήγηση μιας τεκμηριωμένα “καλής” σύνθεσης αποθεμάτων. Ένα άλλο βασικό αρνητικό στοιχείο είναι η έλλειψη τυποποίησης, καθώς 2 διαφορετικοί διαχειριστές υλικών πιθανότατα θα προτείνουν διαφορετικές συνθέσεις. Τέλος, με την προσέγγιση αυτή, δεν μετράται η αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων συνθέσεων με κάποιο δείκτη.

Το Σχήμα 2.2 παρουσιάζει την συνέπεια των παραπάνω αναφερόμενων αδυναμιών. Δείχνει πως σε μια πολύ απλή περίπτωση, 5 διαφορετικοί εκτιμητές πρότειναν διαφορετικές συνθέσεις υλικών, οι οποίες στην συνέχεια αξιολογήθηκαν σε σχέση με τις βέλτιστες συνθέσεις. Η γραμμή απεικονίζει την βέλτιστη διαθεσιμότητα ως προς το κόστος, όπως αυτή υπολογίζεται ακολουθώντας συστημική προσέγγιση του προβλήματος. Η καμπύλη αυτή, υποδεικνύει την μέγιστη αποτελεσματικότητα - διαθεσιμότητα που μπορεί να επιτευχθεί με συγκεκριμένο ύψος επένδυσης, ή αντίστοιχα το ελάχιστο απαιτούμενο κόστος για την εξασφάλιση της επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας. Τα 5 τετράγωνα απεικονίζουν τις προτεινόμενες συνθέσεις.



Ειδικότερα επισημαίνεται ότι η παρέμβαση του μηχανικού στην περίπτωση μοναδικών (*peculiar*) υλικών, όπως αυτών που χρησιμοποιούνται σε κάποιο εξειδικευμένο σταθμού ελέγχου, είναι πρωτίστης σημασίας για τον καθορισμό των πλέον κρίσιμων υλικών και την πραγματοποίηση ανάλυσης κινδύνου (*risk assessment*) των συνεπειών έλλειψης εφεδρικών υλικών.

Επίσης, η παρακολούθηση των τάσεων (*trends*) που παρουσιάζουν οι εμφανιζόμενες βλάβες πρέπει να αποτελεί πρωταρχικό μέλημα του μηχανικού καθώς η αποκωδικοποίησή τους μπορεί να καταδείξει διάφορα προβλήματα τα οποία μπορεί να οφείλονται σε ποικίλους παράγοντες.

Συνοψίζοντας, συμπεραίνουμε ότι, όταν ο καθορισμός της σύνθεσης των αποθεμάτων βασίζεται μόνο στην κρίση κάποιου μηχανικού, τότε δεν υπάρχει δυνατότητα εκτίμησης της αποδοτικότητας της προτεινόμενης σύνθεσης, αλλά ούτε και δυνατότητα σύγκρισης με άλλη προτεινόμενη λύση. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού είναι ότι η εύρεση ακόμη και απλά “καλών” λύσεων (πολύ περισσότερο της βέλτιστης λύσης) είναι εξαιρετικά δύσκολη.

### **Τεχνικές ανά υλικό και περιοχή χρησιμοποίησής του (*single-item, single-site techniques*)**

Οι πρώτες αναλυτικές τεχνικές που αναπτύχθηκαν, βασιζόταν στην ζήτηση εφεδρικών υλικών στις διάφορες περιοχές χρησιμοποίησής τους (*Single-Item, Single-Site - SISS*). Παρέχοντας την πληροφορία αυτή και τις επιδιωκόμενες διαθεσιμότητες στα επιμέρους υλικά, καθοριζόταν τα ελάχιστα απαιτούμενα αποθέματα για την επίτευξη της επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας. Οι στόχοι που καθορίζονται με βάση την τεχνική αυτή, εκφράζονται σε επίπεδα ικανοποίησης (*fill rates*) ή σε πιθανότητες έλλειψης (*stock-out probabilities*).

Οι τεχνικές αυτές δεν είναι προσανατολισμένες στο σύστημα. Τα επιμέρους υλικά δεν σχετίζονται μεταξύ τους ανάλογα με το σύστημα στο οποίο ανήκουν (*indenture information*). Επιπλέον η περιοχή χρησιμοποίησής τους (*echelon information*) δεν λαμβάνεται υπόψη. Επαφίεται σε αυτόν που καθορίζει τα αποθέματα να θέσει επιμέρους στόχους στα επίπεδα εξυπηρέτησης, λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία κόστους, κρισιμότητας του υλικού κτλ. Το έργο αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο και ογκώδες. Ως αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος, συνήθως εφαρμόζονται σταθερά επίπεδα εξυπηρέτησης για όλα τα υλικά, ανεξάρτητα από την περιοχή χρησιμοποίησής τους.

Προφανώς, από την προοπτική της διαθεσιμότητας του συστήματος, η τεχνική αυτή δεν είναι η βέλτιστη. Το κύριο πλεονέκτημα συγκριτικά με την προηγούμενη μέθοδο, είναι ότι στην περίπτωση αυτή έχουμε ένα συστηματικό και αντικειμενικό τρόπο προσέγγισης του προβλήματος.

### **Τεχνικές προσανατολισμένες στο σύστημα (*systems-oriented techniques*)**

Με την ανάπτυξη του μοντέλου *METRIC*, του μοντέλου *OPUS* και άλλων συναφών μοντέλων, έγινε ένα σημαντικό βήμα στην σφαιρικότερη αντιμετώπιση του προβλήματος, καθώς με τα μοντέλα αυτά υιοθετήθηκε η προσέγγιση του προβλήματος σε επίπεδο συστήματος. Μέσω των μοντέλων αυτού του είδους, στρατηγικές αποθεμάτων αξιολογούνται σε σχέση με δείκτες απόδοσης του συστήματος όπως η διαθεσιμότητα. Με αυτό τον τρόπο προσέγγισης του προβλήματος και με την χρησιμοποίηση εξελιγμένων εργαλείων, ελαφρύνεται σημαντικά ο όγκος της προσπάθειας αυτού που λαμβάνει αποφάσεις καθορισμού σύνθεσης αποθεμάτων. Η προσπάθεια ουσιαστικά περιορίζεται στον καθορισμό

κατάλληλων στόχων και στην πραγματοποίηση *what-if* σεναρίων και ανάλυση ευαισθησίας.

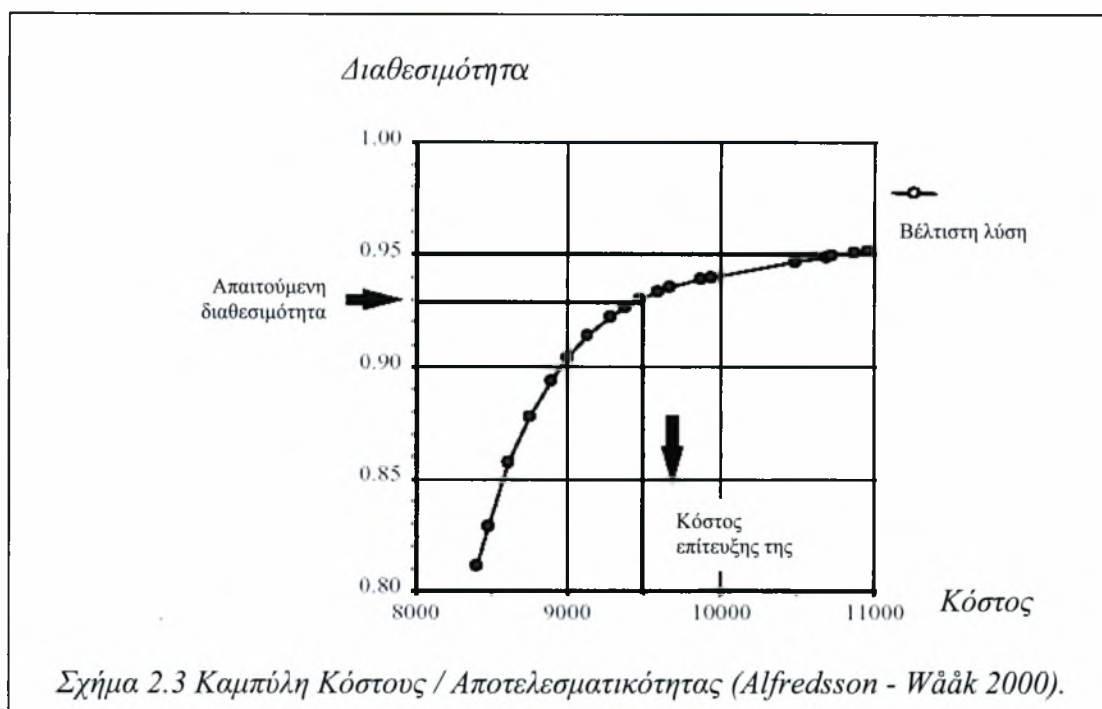
Κατά την εφαρμογή της προσέγγισης αυτής, λαμβάνεται υπόψη τόσο το ίδιο το σύστημα όσο και η εφοδιαστική υποστήριξη του. Κατά συνέπεια, η συστημική ανάλυση και τα σχετικά μοντέλα και τεχνικές, πέρα από την μοντελοποίηση και την βελτιστοποίηση του προβλήματος του καθορισμού σύνθεσης αποθεμάτων, αποτελούν απαραίτητα εργαλεία για αναλύσεις σε υψηλότερο επίπεδο, όπως αυτό του συστήματος υποστήριξης ή του τεχνικού συστήματος.

Όπως αναλύεται στο *Παράρτημα Β*, κάθε σύστημα είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένο με την υποστήριξή του. Η διαδικασία που ακολουθείται σε μια υψηλότερου επιπέδου ανάλυση, είναι η αναζήτηση βέλτιστης λύσης κρατώντας το ένα από τα παραπάνω στοιχεία (δηλαδή το τεχνικό σύστημα ή την υποστήριξη του) σταθερό και μεταβάλλοντας το άλλο μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία. Κατά συνέπεια η προσέγγιση σε επίπεδο συστήματος, παρέχει ουσιαστικά μια γέφυρα μεταξύ του τεχνικού συστήματος και της εφοδιαστικής υποστήριξής του, καθώς και μεταξύ του κόστους και της αποτελεσματικότητας (*Alfredsson - Wååk 2000*).

Η σύνδεση της αποτελεσματικότητας συναρτήσει του κόστους χρησιμοποιώντας συστημική προσέγγιση (δηλ. λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο που βρίσκεται το υλικό και την περιοχή χρησιμοποίησής του), γίνεται μέσω μιας καμπύλης όπως αυτή που παρουσιάζεται στο *Σχήμα 2.2* (στο συγκεκριμένο παράδειγμα η αποτελεσματικότητα αντικατοπτρίζεται στην διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται).

Η καμπύλη που εξάγεται από την πραγματοποίηση μιας ανάλυσης σε επίπεδο συστήματος, αποτελεί το κυριότερο αποτέλεσμα της ανάλυσης και έχει την τυπική μορφή του *Σχήματος 2.3*. Παρατηρούμε ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η επένδυση σε αποθέματα, τόσο καλύτεροι είναι οι δείκτες απόδοσης του συστήματος που επιτυγχάνονται. Επιπλέον, όσο πλησιάζουμε σε υψηλά επίπεδα διαθεσιμότητας, τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος που απαιτείται ανά μονάδα αύξησης της διαθεσιμότητας.

Μια τέτοιου είδους καμπύλη βοηθά στην λήψη αποφάσεων: στον προσδιορισμό του κόστους που απαιτείται για να επιτευχθούν συγκεκριμένα επίπεδα διαθεσιμότητας ή αντίστροφα, στον προσδιορισμό της διαθεσιμότητας που είναι δυνατόν να επιτευχθεί με βάση το κονδύλιο που είναι διαθέσιμο.



Τα ολοκληρωμένα μοντέλα που είναι διαθέσιμα σήμερα, επιτρέπουν την εισαγωγή περίπλοκων παραμέτρων που προκύπτουν από την προσαρμογή του τεχνικού συστήματος και του συστήματος υποστήριξης σε ένα ενιαίο σύστημα. Τέτοιου είδους παράμετροι μπορεί να είναι τα διάφορα επίπεδα που υπάρχουν σε ένα σύστημα, πιθανή ασυμμετρία του πρώτου επιπέδου συντήρησης, χρόνοι ικανοποίησης και χρόνοι διακίνησης για κάθε υλικό ξεχωριστά, περιορισμοί στην δυνατότητα συντήρησης, περιορισμοί στα αποθέματα κτλ.

Serial No	System No	SIM Investment (£)	OPUS Investment (£)	Saving	Saving % of Sim
1	15	1.262.736	859.523	403.213	31.9
2	16	3.065.550	2.766.124	299.426	9.8
3	17	427.000	403.000	24.000	6.7
4	19	1.914.832	1.638.734	276.098	14.4
5	20/21	1.160.674	691.608	469.066	40.4
6	24	78.326	66.732	11.594	14.8
7	25	234.975	210.008	24.967	10.6
8	26	370.300	192.178	178.1221	48.1
9	29	216.803	41.773	175.030	80.7
10	41	907.804	441.372	466.432	51.4
11	42	243.890	241.590	2.300	0.9
12	45	1.732	1.732	0	0.0
13	55	642.790	370.321	272.469	42.4
14	56	38.504	36.112	2.392	6.2
15	57	186.937	80.050	106.887	57.2
16	71	811.620	721.035	90.585	11.2
Total		11.663.473	8.761.892	2.801.581	24.2

*Πίνακας 2.1 Εκτιμώμενη εξοικονόμηση χρημάτων από την εφαρμογή συστημικής προσέγγισης στην RAF (Wååk 2000)*

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται σύγκριση αποτελεσμάτων από την RAF (Royal Air Force) όταν πέρασε από την SISS σε τεχνική καθορισμού αποθεμάτων προσανατολισμένη στο σύστημα με την χρησιμοποίηση του προγράμματος OPUS10. Επισημαίνεται ότι για το σύστημα με αύξοντα αριθμό 12 δεν έχει πραγματοποιηθεί καμία βελτίωση για τον απλό λόγο ότι το σύστημα αποτελείται από ένα και μόνο υλικό.

### ***Ευέλικτη αρχική προμήθεια και διαχείριση υλικών (flexible / state-dependent supply or support)***

Στην αμέσως παραπάνω προσέγγιση, η εφοδιαστική υποστήριξη είναι ανεξάρτητη από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η σύνθεση των αποθεμάτων. Η ανάπτυξη ακόμα πιο πολύπλοκων και ολοκληρωμένων μοντέλων, επιτρέπει την χρησιμοποίηση της κατάστασης της σύνθεσης αποθεμάτων στον καθορισμό των αποφάσεων. Με τον τρόπο αυτό η εφοδιαστική υποστήριξη γίνεται περισσότερο ευέλικτη. Ευελιξία επίσης μπορεί να επιτευχθεί μέσω της εφαρμογής παράλληλης αλυσίδας υποστήριξης από διαφορετικούς επισκευαστικούς φορείς, μέσω της ταχύτερης ικανοποίησης συγκεκριμένων απαιτήσεων και μέσω του καθορισμού προτεραιοτήτων.

Παραδείγματα εφαρμογής ευέλικτης διαχείρισης επισκευασίμων έχουμε στις περιπτώσεις που:

- Επιτρέπεται ευελιξία στην εφοδιαστική υποστήριξη μέσω εξυπηρέτησης των απαιτήσεων όχι απαραίτητα από το κεντρικό εφοδιαστικό κέντρο, αλλά και από άλλους χρήστες του υλικού (οι οποίοι συνήθως βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο).
- Εφαρμόζονται επείγουσες διαδικασίες σε έκτακτες καταστάσεις έλλειψης υλικών. Οι διαδικασίες αυτές κατά κύριο λόγο αφορούν την χρησιμοποίηση κατ' εξαίρεση ταχύτερων (και κατά συνέπεια και ακριβότερων) μέσων μεταφοράς.
- Υπάρχει διαδικασία καθορισμού προτεραιοτήτων των αιτήσεων.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή μιας ευέλικτης εφοδιαστικής υποστήριξης μπορεί να είναι εξαιρετικά θετικά. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται καλύτερη χρησιμοποίηση των αποθεμάτων και κατά συνέπεια και του επενδύμενου κεφαλαίου. Αποτέλεσμα είναι η μείωση του απαιτούμενου κεφαλαίου που πρέπει να δεσμευτεί μέσω αποθεμάτων για την εξασφάλιση συγκεκριμένης διαθεσιμότητας. Στις τελευταίες εκδόσεις των δημοφιλέστερων μοντέλων, παρέχονται δυνατότητες

εφοδιαστικής σύνδεσης περιοχών που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο μεταξύ τους για την αμεσότερη ικανοποίηση των ελλείψεων, αλλά ακόμα και για την μείωση του συνολικού χρόνου ικανοποίησης των αιτήσεων. Επίσης περιλαμβάνεται και διαδικασία καθορισμού προτεραιοτήτων. Υπάρχουν απτά αποτελέσματα όπου μέσω της εφαρμογής της ευέλικτης υποστήριξης, για συγκεκριμένη αλυσίδα υποστήριξης, η ίδια διαθεσιμότητα έχει επιτευχθεί με 86% λιγότερο κόστος (*Alfredsson - Wååk 2000*).

Η ευελιξία του συστήματος υποστήριξης, όπως αυτή έχει τεθεί παραπάνω, είναι δυνατό να εφαρμόζεται στην πράξη με την μεσολάβηση του ανθρώπινου παράγοντα και την δημιουργία κλίματος αλληλοϋποστήριξης των Μονάδων. Στην περίπτωση βέβαια αυτή απαιτείται εμπλοκή ανθρώπινου δυναμικού, ενώ η υλοποίηση της δεν γίνεται με κάποιο μεθοδικό, αντικειμενικό και καθολικό τρόπο αλλά δρώντας “κατά κρίση” και “ανά περίπτωση”.

## **2.2 Εφαρμοζόμενες Πολιτικές Αρχικής Προμήθειας**

Παρακάτω θα εξετάσουμε κάποιες μεθόδους – πρακτικές που ακολουθούνται κατά την επιλογή της σύνθεσης των αποθεμάτων, με σκοπό να σχολιαστούν ανά περίπτωση. Η εξέταση γίνεται σύμφωνα με τις υποθέσεις και πάνω στο πλαίσιο που θα δημιουργηθεί στο *Κεφάλαιο 4* και σκοπός είναι μέσω ενός πολύ απλού παραδείγματος να γίνει μια πρώτη εποπτική παρουσίαση του προβλήματος με το οποίο θα ασχοληθούμε στην παρούσα εργασία.

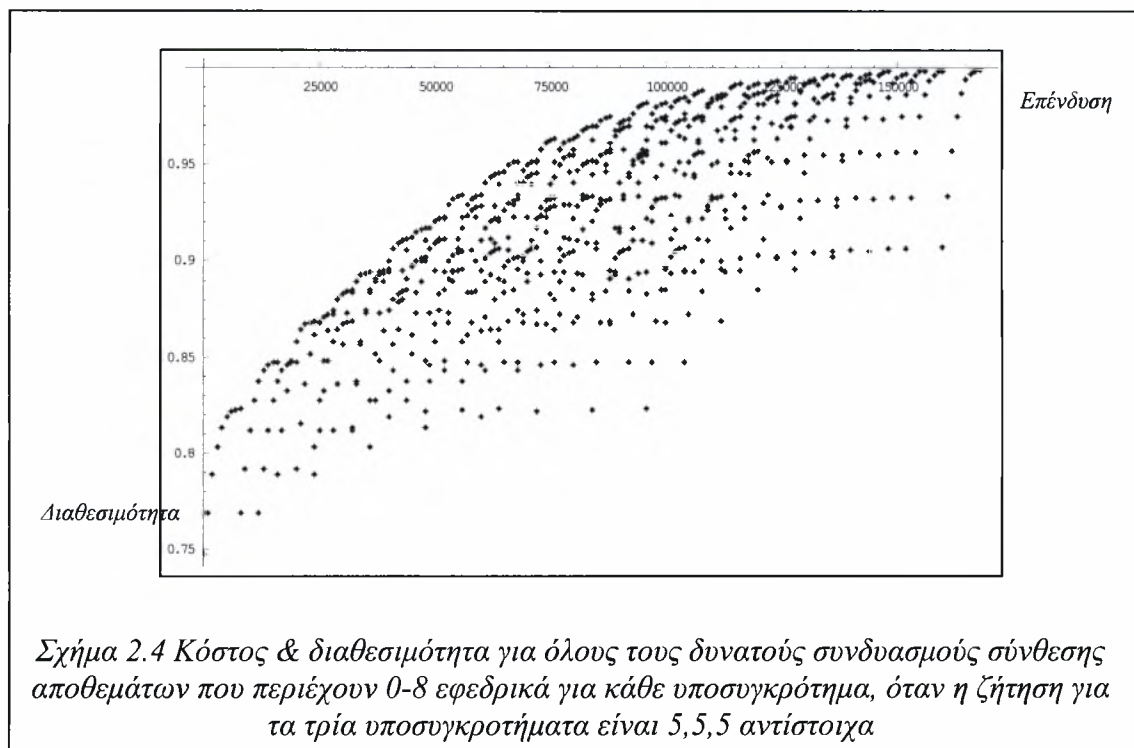
### ***Μέθοδος προσδιορισμού όλων των δυνατών συνδυασμών και επιλογής της βέλτιστης λύσης (all possible assortments)***

Έστω ότι έχουμε να αντιμετωπίσουμε το απλό πρόβλημα της υποστήριξης 36 συστημάτων, τα οποία αποτελούνται από 3 μόνο υποσυγκροτήματα το καθένα. Θεωρούμε την απλή περίπτωση όπου όλα τα υποσυγκροτήματα παρουσιάζουν ίδια ζήτηση ανά έτος και έχουν τον ίδιο κύκλο επισκευής *TAT (Turn Around Time)*. Τα υποσυγκροτήματα τα οποία αριθμούνται με το 1, 2 και 3, έχουν διαφορετικό κόστος όπως φαίνεται στον αμέσως παρακάτω πίνακα. Για τα υλικά αυτά, έχει αποφασιστεί να εξεταστεί η προμήθεια από 0 έως 8 εφεδρικών για το κάθε υποσυγκροτήμα.



$i$	1	2	3	Παρατηρήσεις
$m[i]$	5	5	5	Ζήτηση ανά έτος
$T[i]$	8/12	8/12	8/12	Χρόνος κύκλου επισκευής ( $TAT$ ) σε έτη
$c[i]$	8000	12000	1000	Κόστος (\$)
$S[i]$	0-8	0-8	0-8	Αριθμός Εφεδρικών Αποθεμάτων

Στην απλή αυτή περίπτωση προκύπτουν συνολικά  $3^8$ , δηλ. 729 συνδυασμοί συνθέσεων αποθεμάτων, καθένας από τους οποίους οδηγεί σε διαφορετικό κόστος επένδυσης και επιτυγχάνει διαφορετικό επίπεδο διαθεσιμότητας των 36 συστημάτων. Η ανάλυση αυτών των συνδυασμών παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:

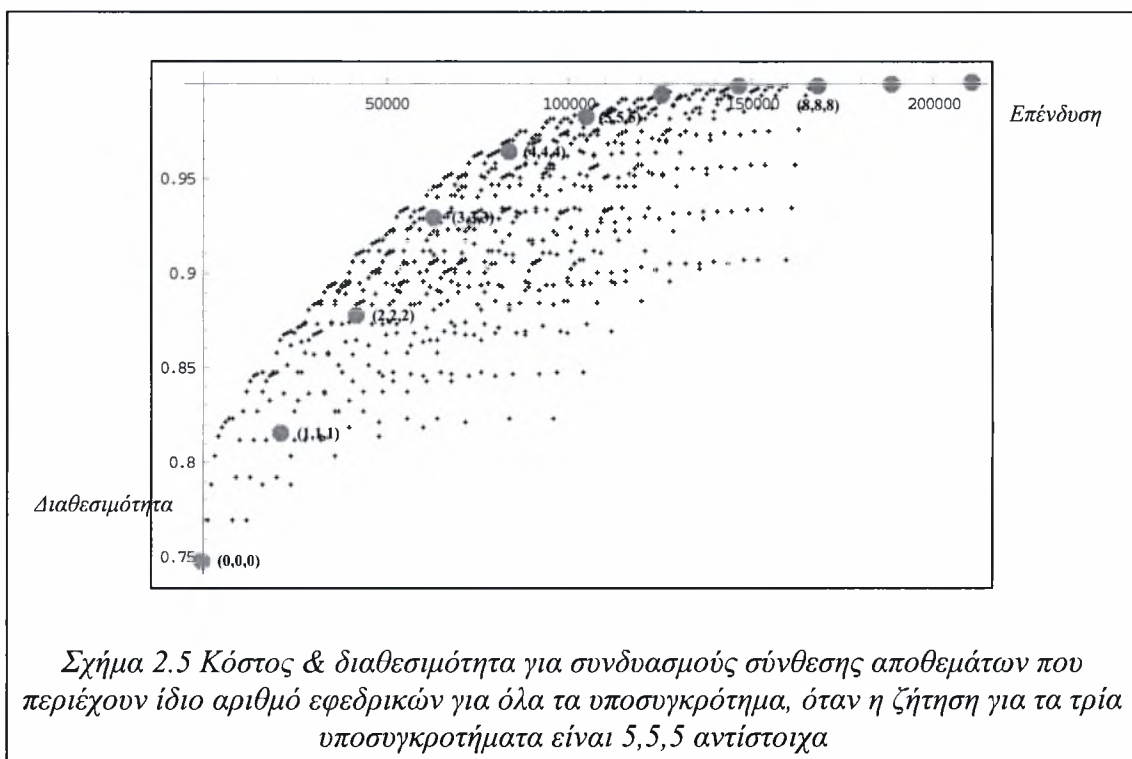


Από το παραπάνω σχήμα αναδεικνύεται το πρόβλημα, η επιλογή μιας σύνθεσης αποθεμάτων όταν γίνει με υποκειμενικό τρόπο, να μην δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, υπό την έννοια ότι, η επιλογή μιας άλλης σύνθεσης με το ίδιο ή παρόμοιο κόστος θα οδηγούσε σε πολύ καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την διαθεσιμότητα των 36 συστημάτων. Η ανάλυση όλων των συνδυασμών, απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ ακόμα και για τα σημερινά δεδομένα. Επιπλέον, οι συνδυασμοί για πιο σύνθετα προβλήματα αυξάνονται με τέτοιο τρόπο που μπορούν να καταστήσουν την μεθοδολογία αυτή μη πρακτική (*Alfredsson - Wååk 2000, Wååk 1999*).

**Μέθοδος κοινού επιπέδου αποθεμάτων για όλα τα υλικά (same of each)**

Η μέθοδος επιλογής της ίδιας στάθμης αποθεμάτων για όλα τα υλικά αποτελεί μια κοινή πρακτική, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει εκτίμηση του αναμενόμενου αριθμού των ζητήσεων. Η μέθοδος στον παράδειγμα που εξετάζουμε θα έδινε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.5:

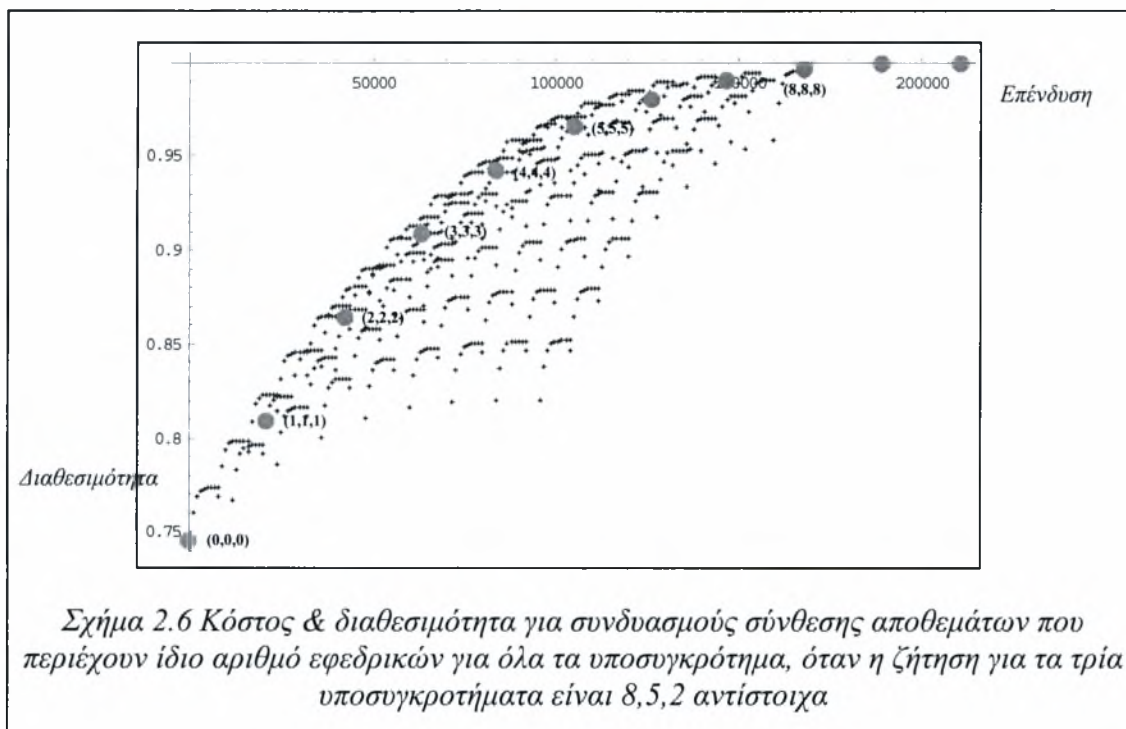
$i$	1	2	3	Παρατηρήσεις
$m[i]$	5	5	5	Ζήτηση ανά έτος
$c[i]$	8000	12000	1000	Κόστος (\$)



Σχήμα 2.5 Κόστος & διαθεσιμότητα για συνδυασμούς σύνθεσης αποθεμάτων που περιέχουν ίδιο αριθμό εφεδρικών για όλα τα υποσυγκρότημα, όταν η ζήτηση για τα τρία υποσυγκροτήματα είναι 5,5,5 αντίστοιχα

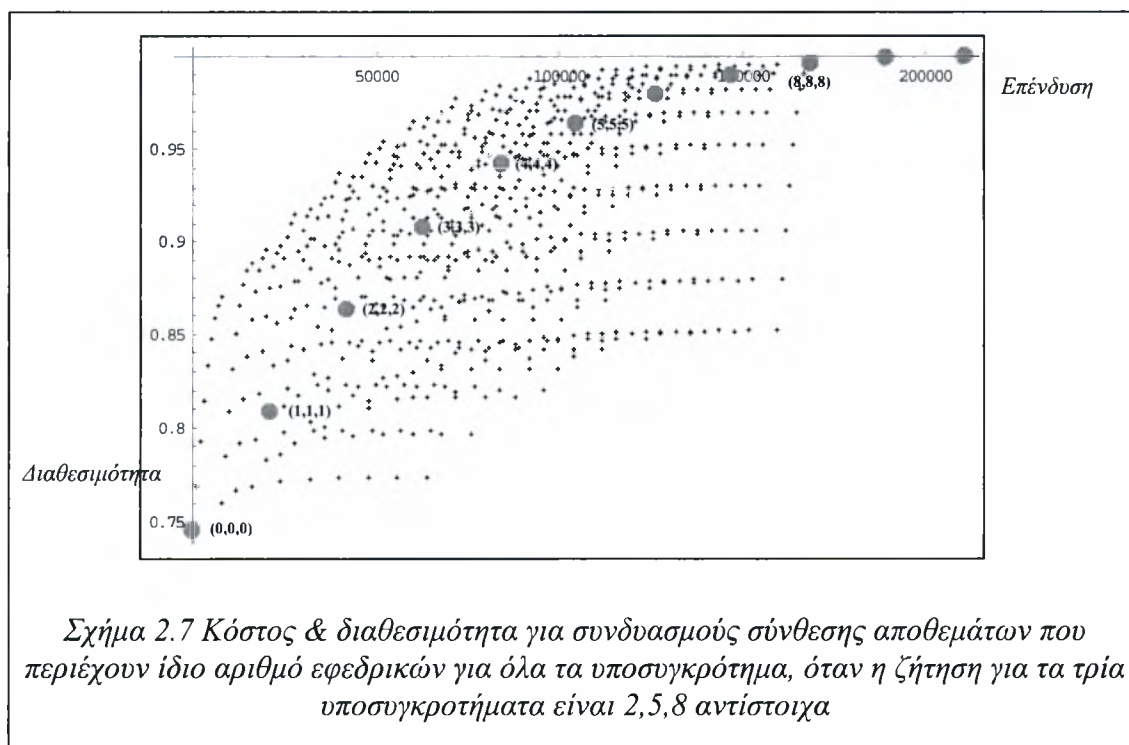
Έστω ότι η ζήτηση των αποθεμάτων μεταβάλλεται από ζήτηση 5-5-5 υλικών ανά έτος, σε ζήτηση 8-5-2. Στην περίπτωση αυτή θα προέκυπτε, ανάλογα με την ανάλυση που έγινε παραπάνω, το Σχήμα 2.6:

$i$	1	2	3	Παρατηρήσεις
$m[i]$	8	5	2	Ζήτηση ανά έτος
$c[i]$	8000	12000	1000	Κόστος (\$)



Επιπλέον στην περίπτωση που η ζήτηση μεταβάλλονταν σε 2-5-8, θα προέκυπτε το Σχήμα 2.7:

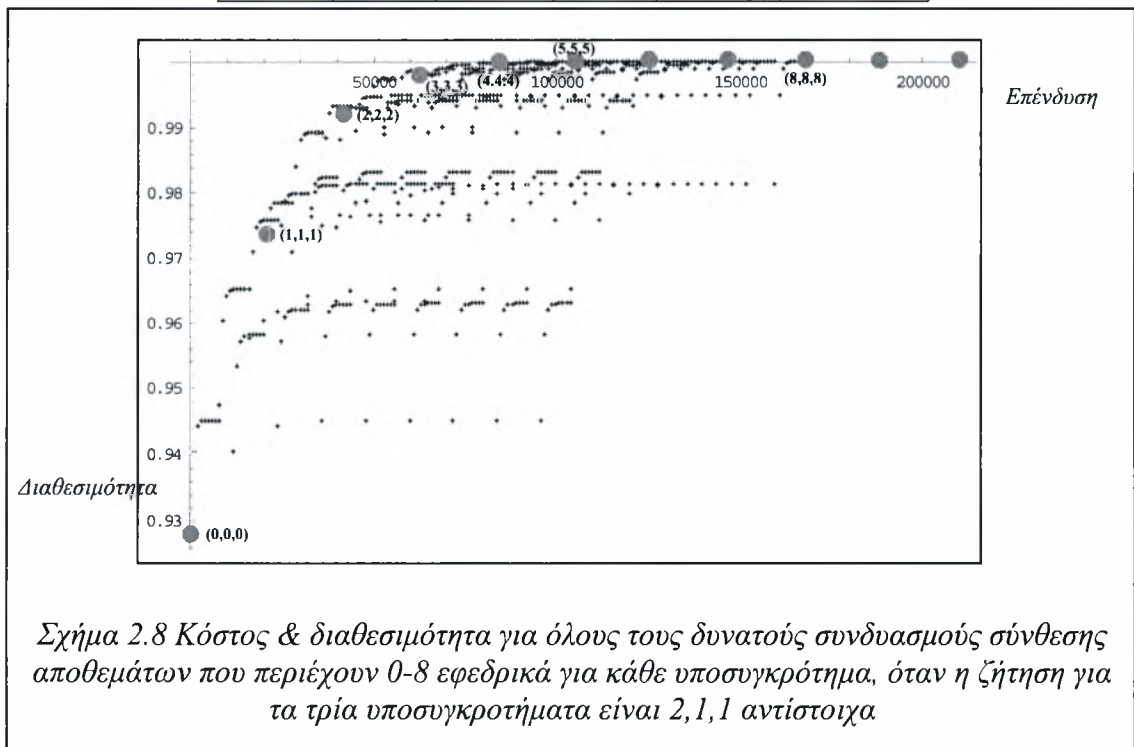
$i$	1	2	3	Παρατηρήσεις
$m[i]$	2	5	8	Ζήτηση ανά έτος
$c[i]$	8000	12000	1000	Κόστος (\$)



Ως συμπεράσματα από την ανάλυση που προηγήθηκε, αναφέρονται τα ακόλουθα:

- Η πολιτική καθορισμού κοινών επιπέδων αποθεμάτων δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, καθώς για κάθε σχεδόν επενδύσιμο κεφάλαιο η επιλεγμένη σύνθεση είναι πάνω από τον μέσο όρο των διαθεσιμότητων που προκύπτουν από τυχαίες επιλογές.
- Το φάσμα που προκύπτει από τους συνδυασμούς των δυνατών επιλογών, είναι μεγαλύτερο στην περίπτωση που το υλικό που παρουσιάζει το μικρότερο κόστος έχει και τον μεγαλύτερο αριθμό ζητήσεων. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του γεγονότος ότι ο αριθμός των αποθεμάτων του συγκεκριμένου υλικού έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες διαφοροποιήσεις στην διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται για συγκεκριμένο κόστος.
- Η συγκεκριμένη πολιτική δεν λαμβάνει υπόψη κανένα δεδομένο του υλικού (ρυθμός ζήτησης, κύκλος επισκευής, κόστος) και σε καμία περίπτωση δεν θα δώσει βέλτιστες λύσεις. Παρέχει ωστόσο πολύ ικανοποιητικές λύσεις στην περίπτωση ιδιαίτερα αξιόπιστων συστημάτων (*Wååk 2000*), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.8:

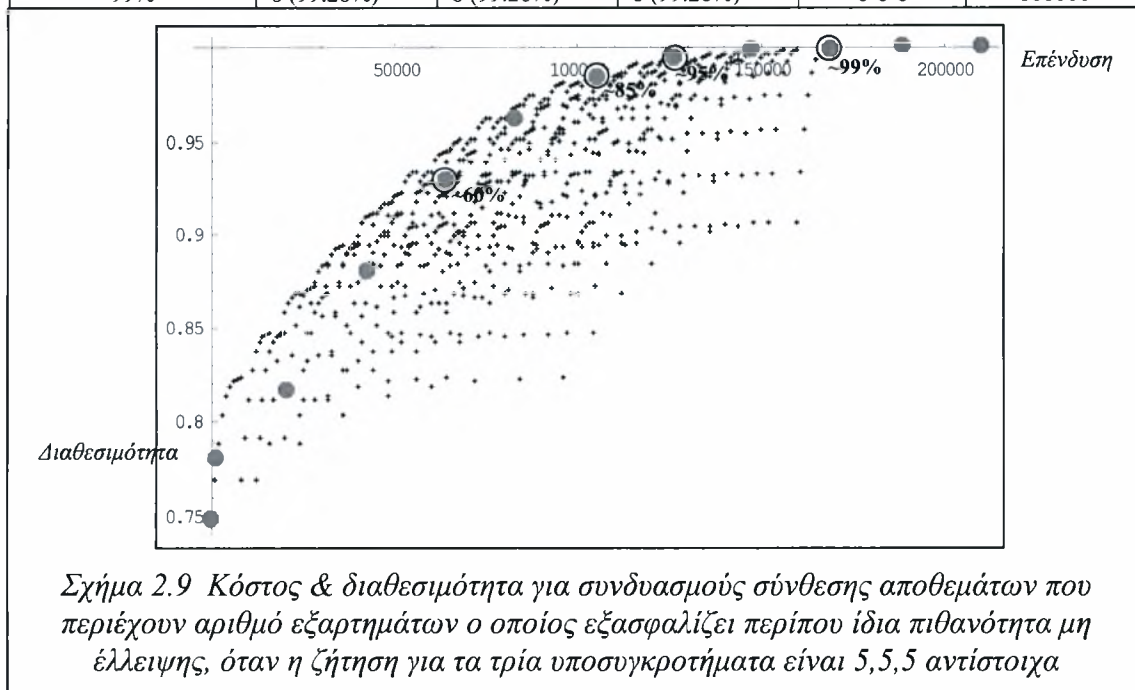
$i$	1	2	3	Παρατηρήσεις
$m[i]$	2	1	1	Ζήτηση ανά έτος
$c[i]$	8000	12000	1000	Κόστος (\$)



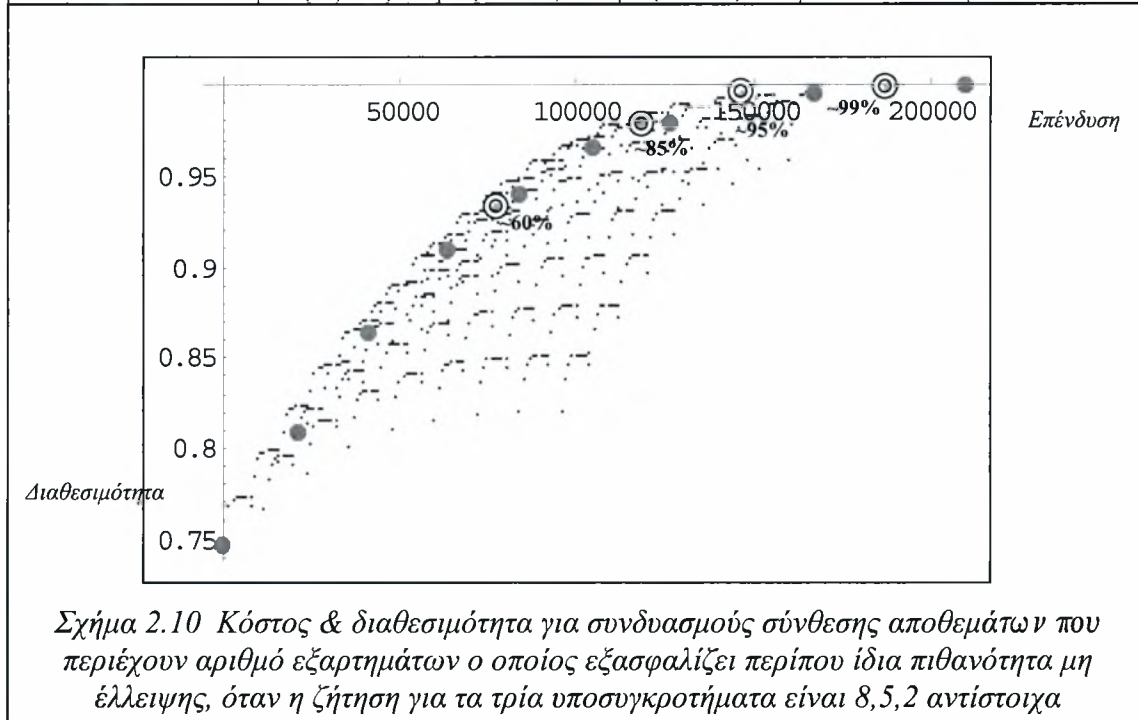
**Μέθοδος επιπέδου αποθεμάτων ανά υλικό που εξασφαλίζει συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης της πιθανότητας μη έλλειψης υλικού (constant confidence against stockout, item-by-item)**

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια κοινή πολιτική διαχείρισης αποθεμάτων. Με βάση την μέθοδο αυτή, όλα τα αποθέματα υπολογίζονται ώστε να εξασφαλίζουν ίδια πιθανότητα μη έλλειψης σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Έτσι π.χ. μπορεί να διατηρούνται τόσα αποθέματα ώστε να εξασφαλίζουν πιθανότητα μη έλλειψης υλικού κατά 60, 85, 95 ή 99% για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (δηλαδή με πιθανότητα αντίστοιχου ποσοστού, θα υπάρχει άμεσα διαθέσιμο υλικό για να καλύψει την ζήτηση). Στις περιπτώσεις αυτές τα αποθέματα επιλέγονται ώστε να ικανοποιούν προσεγγιστικά το ποσοστό μη έλλειψης που έχει καθοριστεί. Δεν επιλέγεται δηλαδή ως απόθεμα αυτό που θα ικανοποιεί τουλάχιστον το καθοριζόμενο ποσοστό, αλλά αυτό που θα είναι πιο κοντά στο ποσοστό αυτό. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή αυτής της μεθόδου για τους συνδυασμούς ζητήσεων 5-5-5, 8-5-2 και 2-5-8 του παραδείγματος που μελετάμε. Σε κάθε περίπτωση αναφέρεται σε παρένθεση και το ακριβές ποσοστό μη έλλειψης υλικού που εξασφαλίζεται.

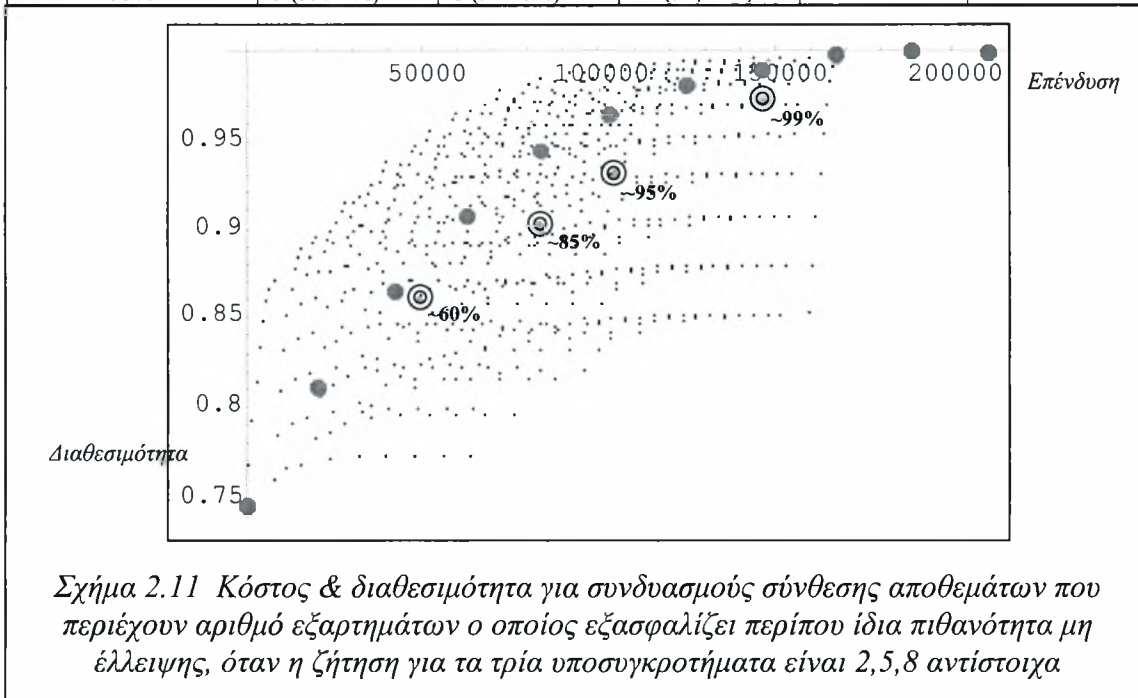
Περίπτωση 5-5-5					
Επίπεδο πιθανότητας μη έλλειψης υλικού	1	2	3	Σύνθεση Αποθεμάτων	Συνολικό Κόστος
60%	3 (57.29%)	3 (57.29%)	3 (57.29%)	3-3-3	63000
85%	5 (87.88%)	5 (87.88%)	5 (87.88%)	5-5-5	105000
95%	6 (94.67%)	6 (94.67%)	6 (94.67%)	6-6-6	126000
99%	8 (99.26%)	8 (99.26%)	8 (99.26%)	8-8-8	168000



Περίπτωση 8-5-2					
Επίπεδο πιθανότητας μη έλλειψης υλικού	1	2	3	Σύνθεση Αποθεμάτων	Συνολικό Κόστος
60%	5 (55.76%)	3 (57.26%)	1 (61.50%)	5-3-1	77000
85%	7 (82.95%)	5 (87.88%)	2 (84.93%)	7-5-2	118000
95%	9 (95.44%)	6 (94.67%)	3 (95.35%)	9-6-3	147000
99%	11 (99,11%)	8 (99.26%)	5 (99.74%)	11-8-5	189000



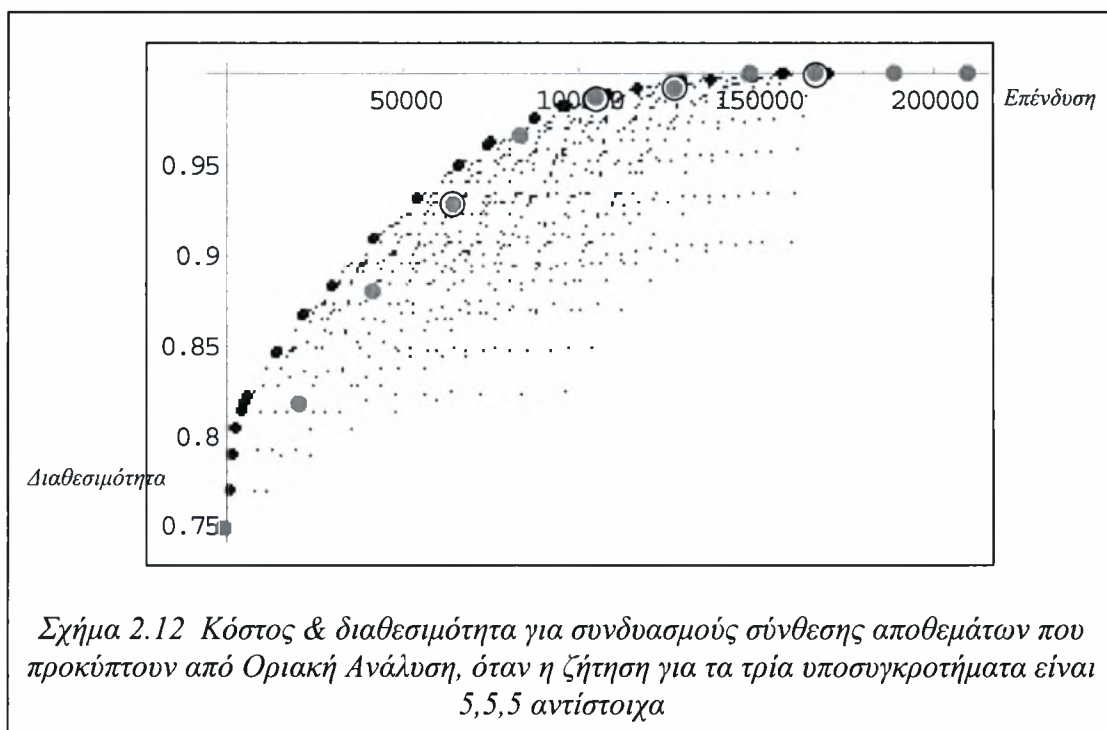
Περίπτωση 2-5-8					
Επίπεδο πιθανότητας μη έλλειψης υλικού	1	2	3	Σύνθεση Αποθεμάτων	Συνολικό Κόστος
60%	1 (61.50%)	3 (57.26%)	5 (55.76%)	1-3-5	49000
85%	2 (84.93%)	5 (87.88%)	7 (82.95%)	2-5-7	83000
95%	3 (95.35%)	6 (94.67%)	9 (95.44%)	3-6-9	105000
99%	5 (99.74%)	8 (99.26%)	11 (99,11%)	5-8-11	147000

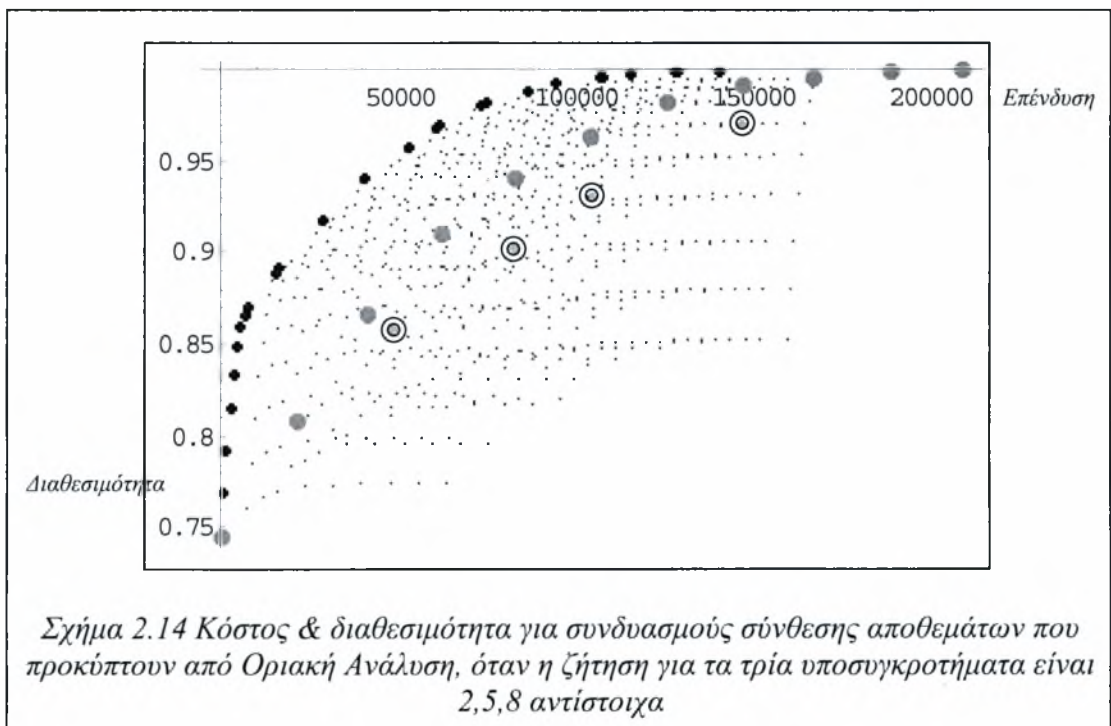
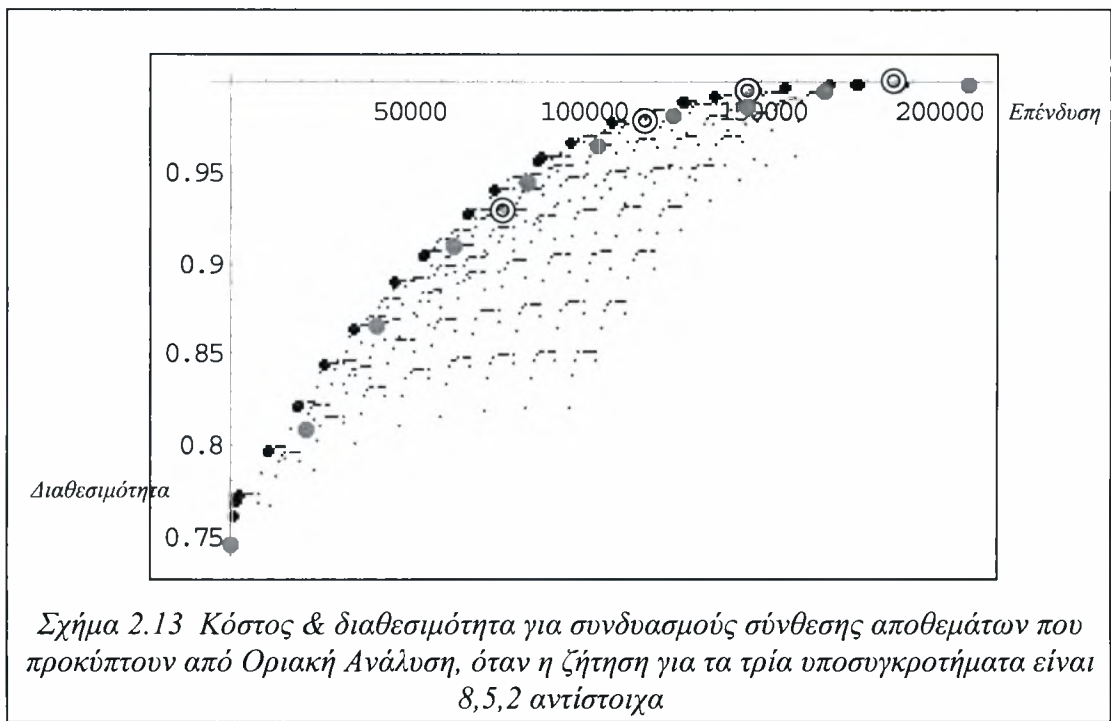


Στην μέθοδο αυτή, λαμβάνεται υπόψη η πληροφορία του ρυθμού ζήτησης και του κύκλου επισκευής του υλικού. Ωστόσο δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος του υλικού και κατά συνέπεια η προτεινόμενη σύνθεση δεν είναι η βέλτιστη. Μπορεί ωστόσο να αποδειχθεί ότι η προτεινόμενη σύνθεση είναι βέλτιστη στην περίπτωση που το κόστος όλων των υλικών είναι το ίδιο. Επιπλέον, οι προτεινόμενες λύσεις είναι πολύ ικανοποιητικές όταν δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ του κόστους των υλικών (Wååk 2000). Τέλος τονίζεται ότι και σε αυτή την μέθοδο, όπως και σε όλες τις προηγούμενες, η βελτιστοποίηση γίνεται σε επίπεδο υλικού και όχι σε επίπεδο συστήματος.

### Μέθοδος βελτιστοποίησης (optimization)

Διαισθητικά, για κάθε επίπεδο επένδυσης - διατιθέμενου κονδυλίου, υπάρχει ένας και μόνο συνδυασμός αποθεμάτων που δίνει την μέγιστη δυνατή διαθεσιμότητα. Όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 4, μέσω της “Οριακής Ανάλυσης” (*Marginal Analysis*), είναι δυνατό με μικρή απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ να κινηθούμε μεταξύ των βέλτιστων αυτών τιμών, επιλέγοντας μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία την αύξηση της ειδικής σύνθεσης, κατά ένα την φορά, εκείνου του υλικού που προσφέρει την μεγαλύτερη αύξηση της διαθεσιμότητας ανά μονάδα επενδύομένου κόστους. Για όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις, μέσω εφαρμογής της διαδικασίας αυτής, προκύπτουν τα ακόλουθα σχήματα:





## 2.3 Βελτιστοποίηση Σύνθεσης Αποθεμάτων

### *Πλεονεκτήματα βελτιστοποίησης σύνθεσης αποθεμάτων*

Ο καθορισμός ενός συστηματικού τρόπου βελτιστοποίησης της σύνθεσης των αποθεμάτων, παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

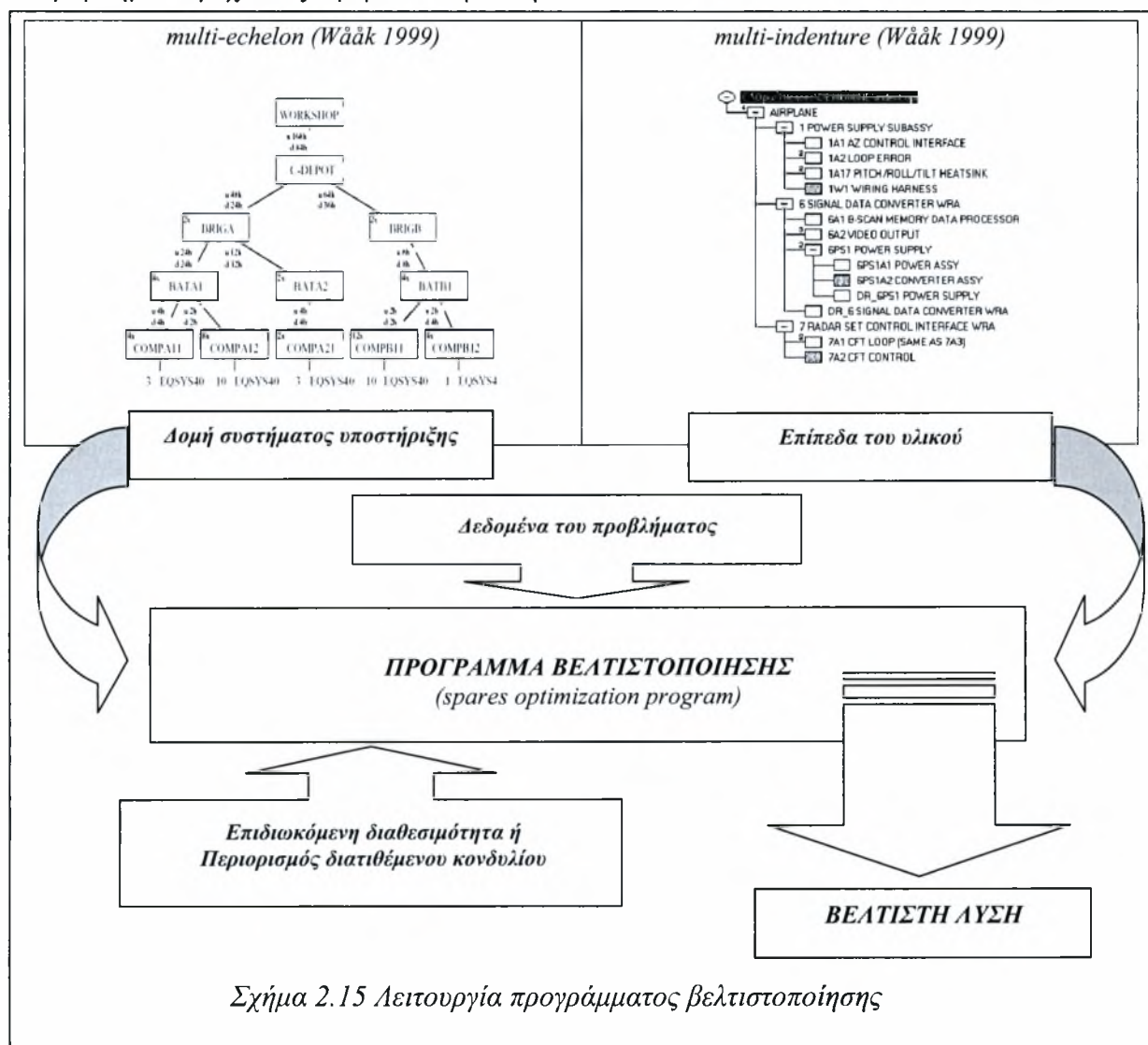
- Συνδέει τα χαρακτηριστικά του συστήματος με το σύστημα τεχνικο-εφοδιαστικής υποστήριξης.



- Παρέχει την δυνατότητα καθορισμού συγκεκριμένου επιπέδου επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας του συστήματος.
- Κατά κανόνα επιτρέπει εξοικονόμηση χρημάτων σε ποσοστά 20-30%.
- Παρέχει συνθέσεις και κατανομές αποθεμάτων που δεν παρουσιάζουν ευαισθησία σε σημαντικές μεταβολές των παραμέτρων.

**Προγράμματα καθορισμού βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων**

Ο τρόπος που δουλεύουν τα προγράμματα καθορισμού βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων (*spares optimization programs*) συνοψίζεται στο Σχήμα 2.15. Αφού εισαχθεί στο πρόγραμμα η δομή του συστήματος υποστήριξης (*echelons*), τα επίπεδα του υλικού που υποστηρίζονται (*indentures*), τα δεδομένα του προβλήματος (*ζήτηση, κόστος υλικών, κύκλος επισκευής*), καθώς και η επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα ή ο περιορισμός του διατιθέμενου κονδυλίου, το μαθηματικό μοντέλο επιλύει το πρόβλημα παρέχοντας την βέλτιστη λύση.



Σχήμα 2.15 Λειτουργία προγράμματος βελτιστοποίησης

## Τύποι Προβλημάτων

Κάθε χρονική στιγμή, εάν γίνει αξιολόγηση της υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων, είναι δυνατόν να διαπιστωθούν τα ακόλουθα:

✓ Μόνο ένα ποσοστό των υπάρχοντων αποθεμάτων έχει παρουσιάσει διακίνηση.

✓ Από την ανάλυση είναι δυνατό να προκύψει απαίτηση απόκτησης αποθεμάτων για κάποια υλικά για τα οποία δεν διατηρούνταν απόθεμα ή / και αύξησης του αριθμού των αποθεμάτων που διατηρούνται για κάποια άλλα υλικά.

✓ Όσον αφορά τα υπάρχοντα υλικά για τα οποία απαιτούνται επιπρόσθετες ποσότητες, το πρόβλημα είναι δυνατόν να επιλυθεί (μερικώς τουλάχιστον) μέσω της βελτιστοποίησης της κατανομής τους στις διάφορες θέσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αμέσως παραπάνω στοιχεία, μπορούμε να προσδιορίσουμε σχετικά με την διαχείριση των αποθεμάτων τους ακόλουθους τύπους προβλημάτων (*Wääk 2000*):

➤ **Καθορισμός αρχικής σύνθεσης αποθεμάτων και τρόπου κατανομής τους (*initial acquisition and distribution*).**

Η περίπτωση αυτή αποτελεί το πλέον κοινό πρόβλημα, όταν καλείται κάποιος να καθορίσει μια αρχική σύνθεση αποθεμάτων και να κατανέμει τα αποθέματα αυτά στην εφοδιαστική αλυσίδα του, ώστε να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα κάτω από το μικρότερο δυνατό κόστος.

➤ **Υπολογισμός του κόστους και της αποτελεσματικότητας ορισμένης σύνθεσης αποθεμάτων στην εφοδιαστική αλυσίδα (*analysis*).**

Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται στις περιπτώσεις που απαιτείται να υπολογιστεί η αποτελεσματικότητα των υπάρχοντων αποθεμάτων ή να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα μιας προτεινόμενης σύνθεσης αποθεμάτων.

➤ **Βελτιστοποίηση της κατανομής στις διάφορες θέσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας συγκεκριμένης σύνθεσης αποθεμάτων (*reallocation*).**

Το πρόβλημα ανάγεται στην απάντηση της ερώτησης εάν είναι δυνατόν να επιτευχθεί βελτίωση της διαθεσιμότητας με την καλύτερη κατανομή των υπάρχοντων αποθεμάτων. Τέτοιου είδους προβλήματα προκύπτουν όταν εφαρμόζονται αλλαγές

στην δομή της υποστήριξης, όταν προστίθενται ή αφαιρούνται επισκευαστικά κέντρα κτλ.

➤ *Βελτιστοποίηση της υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων μέσω επιλεκτικής αύξησης αποθεμάτων (replenishment).*

Πρόκειται για ένα λιγότερο κοινό πρόβλημα, εφόσον φυσιολογικά ακολουθείται η προσέγγιση που περιγράφεται αμέσως παρακάτω.

➤ *Βελτιστοποίηση της κατανομής των αποθεμάτων και στην συνέχεια επιλεκτική αύξηση των υπαρχόντων αποθεμάτων (reallocation followed by replenishment).*

Το πρόβλημα αυτό είναι πιο κοινό σε σχέση με το προηγούμενο, καθώς είναι πιο λογικό αρχικά να γίνει προσπάθεια βελτιστοποίησης της κατανομής των αποθεμάτων και στην συνέχεια, ανάλογα με τα αποτελέσματα της ανακατανομής, να γίνει κατάλληλη αύξηση αποθεμάτων.

### ***Το Πρόβλημα των Δεδομένων***

Το βασικό στοιχείο για την πραγματοποίηση οποιασδήποτε ανάλυσης είναι τα διαθέσιμα δεδομένα και η ποιότητα τους (όσον αφορά την πιστότητά τους). Για προφανείς λόγους αξιόπιστα δεδομένα είναι διαθέσιμα μόνο στα τελευταία στάδια του σχεδιασμού ενός συστήματος ή μετά από κάποιο διάστημα από την έναρξη χρησιμοποίησής του. Το γεγονός αυτό, αποτελεί ένα παράγοντα που αναστέλλει την πραγματοποίηση αναλύσεων με την δικαιολογία ότι τα δεδομένα δεν είναι αξιόπιστα και κατά συνέπεια είναι προτιμότερο η ανάλυση να γίνει αργότερα που θα υπάρχουν διαθέσιμα “καλύτερα” δεδομένα. Ειδικότερα κατά την φάση του σχεδιασμού υπάρχει μια εναντίωση στην παροχή δεδομένων αξιοπιστίας προς αξιολόγηση, καθώς η μεταπήδηση από το “δεν είναι δυνατή η παροχή δεδομένων καθώς ο σχεδιασμός δεν έχει παγιωθεί” στο “ο σχεδιασμός έχει παγιωθεί και κατά συνέπεια δεν υπάρχει πλέον καμιά δυνατότητα αλλαγής”, γίνεται από την μία στιγμή στην άλλη (*Wååk – Sturgess 2000*).

Ως γενικά συμπεράσματα από την ανάλυση πραγματικών περιπτώσεων και την προσομοίωση άλλων, αναφέρονται τα ακόλουθα:

- Ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί και με δεδομένα χαμηλότερης εμπιστοσύνης και είναι προτιμότερο να προχωρήσει μια τέτοια ανάλυση το ταχύτερο δυνατό παρά να αναστέλλεται για αργότερα, όταν θα υπάρχουν πιο αξιόπιστα δεδομένα.

- Η ποιότητα των δεδομένων δεν είναι τόσο “φτωχή” όσο φαντάζεται κάποιος, διότι οι προσεγγίσεις δίνονται από ειδικούς.
- Το λάθος που προέρχεται από τα προσεγγιστικά δεδομένα είναι πολύ μικρό συγκριτικά με άλλους παράγοντες αβεβαιότητας. Επιπλέον πολύτιμα αποτελέσματα είναι δυνατό να εξαχθούν και με προσεγγιστικά δεδομένα καθώς κατά κανόνα ακόμα και μεγάλες διακυμάνσεις το δεδομένων δεν αλλάζουν τα εξαγόμενα αποτελέσματα - συμπεράσματα – υποδείξεις.
- Η τεχνική βελτιστοποίησης έχει χαμηλότερη ευαισθησία ως προς το κόστος και τους ρυθμούς βλαβών όταν χρησιμοποιείται η συστημική προσέγγιση, σε σχέση με την χρησιμοποίηση της τεχνικής ανά υλικό και περιοχή χρησιμοποίησής του. Για το λόγο αυτό, η συστημική προσέγγιση κατά κανόνα θα δώσει καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με τα αποτελέσματα των τεχνικών ανά υλικό, ακόμα και όταν στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιηθούν προσεγγιστικά δεδομένα, ενώ στην δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιηθούν ακριβή δεδομένα (*Isdal - Wååk 2001*).
- Ειδικά στην περίπτωση των υλικών που εξετάζονται στην παρούσα εργασία ισχύει το αξίωμα του *Pareto*, σύμφωνα με το οποίο, όταν εξετάζουμε ένα σύστημα, ουσιαστικά μόνο ένα ποσοστό της τάξης του 10-20% (σε αρκετές περιπτώσεις και αρκετά μικρότερο) των επιμέρους υλικών είναι σημαντικό. Η εστίαση της ανάλυσης πάνω σε αυτά τα υλικά και μόνο, μπορεί να δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

### **Λόγοι μη εφαρμογής συστημικής προσέγγισης**

Σήμερα υπάρχουν αρκετά πακέτα διαθέσιμα που αποδεδειγμένα μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στον συστηματικό καθορισμό της βέλτιστης σύνθεσης των αποθεμάτων και στην ορθολογική κατανομή τους στα διάφορα σημεία της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ωστόσο, τα προγράμματα αυτά, δεν χρησιμοποιούνται ευρέως για τους ακόλουθους λόγους (*Wååk 2000*):

- Δεν είναι γνωστή η αποτελεσματικότητα των μεθόδων και ο τρόπος που μπορούν να υλοποιηθούν στα πλαίσια ενός Οργανισμού.
- Η έλλειψη εμπιστοσύνης στις μεθόδους αποτελεί ένα άλλο ανασταλτικό παράγοντα χρήσης των μεθόδων. Τα μαθηματικά που κρύβονται πίσω από τους αλγόριθμους βελτιστοποίησης είναι σχετικά προχωρημένα και κατά συνέπεια, όπου δεν υπάρχει το απαραίτητο υπόβαθρο γνώσεων, είναι δύσκολο να εμπιστευτεί κάποιος μια διαδικασία που δεν την έχει κατανοήσει πλήρως θεωρητικά.

- Όπου δεν υπάρχει μακροχρόνιος σχεδιασμός, δεν επενδύει κάποιος σε προσπάθεια και χρήμα για κάτι που δεν θα αποδώσει άμεσα.
- Η ανάλυση απαιτεί κάποιο κόστος το οποίο υπάρχει το ρίσκο να μην αποσβεσθεί στα πλαίσια των οφελών που θα προκύψουν από την εφαρμογή της ανάλυσης – βελτιστοποίησης. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί και το φαινόμενο χρησιμοποίησης των μεθόδων αυτών σε στρατιωτικούς κυρίως Οργανισμούς, όπου το κόστος των υλικών είναι πολύ υψηλό και κατά συνέπεια η βελτιστοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα οφέλη σε απόλυτους αριθμούς.
- Ένας επιπλέον ανασταλτικός παράγοντας είναι η έλλειψη των απαιτούμενων δεδομένων η οποία οδηγεί σε αναβολή εφαρμογής της διαδικασίας βελτιστοποίησης. Ωστόσο, όπως έχει αναφερθεί εκτενώς παραπάνω, ο λόγος αυτός δεν θα πρέπει να αποτελεί εμπόδιο για την εφαρμογή της μεθόδου. Από την άλλη πλευρά βέβαια, η τυποποίηση της διαδικασίας συλλογής των επιθυμητών δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση και η δημιουργία μιας συνεχούς ενημερωμένης βάσης δεδομένων, αποτελεί επιθυμητό στοιχείο.
- Τέλος υπάρχει μια επιφυλακτικότητα καθώς γενικά υπάρχει η τάση στην βιβλιογραφία να αναφέρονται περιπτώσεις όπου έχει γίνει επιτυχής εφαρμογή των σχετικών μεθόδων. Περιπτώσεις όπου η εφαρμογή τέτοιων μοντέλων αποδείχθηκε λιγότερο επιτυχής, ή οδήγησε σε μη ικανοποιητικά αποτελέσματα, συνήθως δεν αναφέρονται στην βιβλιογραφία.

### **Θέματα προβληματισμού κατά την σύναψη συμβάσεων**

Ορισμένα θέματα που μπορεί να οδηγήσουν σε προβληματισμό όσον αφορά την εφαρμογή στην πράξη των μεθόδων βελτιστοποίησης και ειδικότερα στα πλαίσια υλοποίησης συμβάσεων μεταξύ προμηθευτή και αγοραστή είναι τα ακόλουθα (*Wååk 2000*):

- Η επιδίωξη εφαρμογής της συστημικής προσέγγισης στην αγορά συστημάτων, είναι πέρα από τον “παραδοσιακό” τρόπο καθορισμού της σύνθεσης αποθεμάτων και απαιτεί κοινή προσπάθεια από πλευρές που έχουν αντικρουόμενα συμφέροντα, καθώς και απευθείας στενή συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων, θίγοντας με αυτόν τον τρόπο τα συμφέροντα των μεσολαβητών.
- Η ενσωμάτωση σε μία σύμβαση όρων εξασφάλισης της επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας για τα συστήματα που αγοράζονται, είναι τις περισσότερες φορές μη εφικτή. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του γεγονότος ότι ακόμα και στην περίπτωση που

κάποιος αγοραστής επιδιώξει να θέσει τέτοιους όρους στην σύμβαση προμήθειας – υποστήριξης, το πιθανότερο είναι ο προμηθευτής να μην το αποδεχτεί, προβάλλοντας την σοβαρή αιτιολογία ότι δεν είναι δυνατόν να ελέγξει πολλές από τις παραμέτρους που μπορεί να αποδειχτούν κρίσιμες στον καθορισμό της διαθεσιμότητας των συστημάτων. Από την άλλη πλευρά, άλλοι δείκτες όπως καθορισμένα επίπεδα διαθεσιμότητας (*fill rate*) ανά επιμέρους υλικό, είναι πιο εύκολα προβλέψιμοι και γίνονται παραδοσιακά αποδεκτοί και από τα δύο συμβαλλόμενα μέρη. Βέβαια τέτοιοι δείκτες, σύμφωνα με όσα έχουμε αναφέρει παραπάνω, δεν σχετίζονται άμεσα με την διαθεσιμότητα των συστημάτων, η οποία είναι τελικά το στοιχείο που ενδιαφέρει τον αγοραστή – χρήστη του συστήματος.

- Ο καθορισμός ρητρών στην σύμβαση, μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα. Στην περίπτωση βέβαια που η ρήτρα είναι αυστηρή, μπορεί να οδηγήσει τον προμηθευτή σε πολύ δυσχερή θέση, χωρίς βέβαια το γεγονός αυτό να αποβαίνει τελικά σε όφελος του αγοραστή του συστήματος. Επιπλέον, μπορεί να αποτελέσει παράγοντα που θα κατευθύνει την ανάθεση της σύμβασης σε κάποιον προμηθευτή απλά και μόνο γιατί δέχεται να αναλάβει το ρίσκο. Από την άλλη πλευρά είναι εφικτό να ενσωματωθεί πρόβλεψη ρήτρας υπό την μορφή κινήτρου, στην περίπτωση που δεν τηρούνται οι προβλεπόμενοι χρόνοι επισκευής των επιμέρους υλικών του συστήματος.

- Η πρόβλεψη ρήτρας σε περίπτωση ασυνέπειας όταν αναφερόμαστε σε στρατιωτικά συστήματα, δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί σε περίπτωση έντασης.

### ***Γιατί αναμένεται να επεκταθεί η χρήση των προγραμμάτων βελτιστοποίησης στο μέλλον***

Η χρησιμοποίηση των μεθόδων και προγραμμάτων βελτιστοποίησης, αναμένεται να επεκταθεί στο μέλλον για τους ακόλουθους λόγους (*Wääk 2000*):

- Υπάρχουν μέθοδοι και ολοκληρωμένα πακέτα, δοκιμασμένα ως προς την αποτελεσματικότητά τους, με την χρήση των οποίων επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση της διαθεσιμότητας ανά μονάδα επενδύμενου κόστους. Τα προγράμματα αυτά εφαρμόζονται ολοένα και σε μεγαλύτερη έκταση, ιδιαίτερα σε στρατιωτικές εφαρμογές.

- Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται ως εποχή της πληροφορίας και της συνεχούς εκπαίδευσης. Η σταδιακή βελτίωση των Οργανισμών σε αυτούς τους

τομείς, μπορεί να αποδειχθεί ενισχυτικός παράγοντας στην εξάπλωση εφαρμογής των μεθόδων βελτιστοποίησης.

- Η επέκταση της χρηματοδοτικής μίσθωσης (*leasing*) μπορεί να λειτουργήσει ως καταλύτης επέκτασης της εφαρμογής αυτών των μεθόδων, καθώς η ανάληψη από μια εταιρεία του κόστους της τεχνικο-εφοδιαστικής υποστήριξης συγκεκριμένου εξοπλισμού που απαιτείται να δουλεύει σε ιδιαίτερα υψηλή διαθεσιμότητα, μπορεί να υλοποιηθεί αποτελεσματικά μόνο με την εφαρμογή των μεθόδων που περιγράψαμε.

## **2.4 Σύνοψη Κεφαλαίου**

Στο Κεφάλαιο αυτό, παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν σε σχέση με τα ηλεκτρονικά συστήματα και τις συνήθεις πρακτικές, η εξέλιξη των εργαλείων και μεθόδων στο πρόβλημα της διαχείρισης αποθεμάτων, καθώς και ορισμένες πολιτικές που ακολουθούνται κατά τον καθορισμό της αρχικής σύνθεσης αποθεμάτων. Η ανάλυση επικεντρώθηκε στην μέθοδο της βελτιστοποίησης και στον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν τα σχετικά προγράμματα. Στην συνέχεια αναφέρθηκαν οι τύποι των προβλημάτων που είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν με βάση τα προγράμματα αυτά, οι λόγοι για τους οποίους δεν χρησιμοποιούνται ευρέως και δεν είναι εφικτό να προβλεφθεί η χρήση τους μέσα από τις συμβάσεις προμήθειας, καθώς και οι λόγοι για τους οποίους αναμένεται να αλλάξει αυτή η κατάσταση στο μέλλον.

*ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:*  
*ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ*  
*ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ F-16 ΣΤΗΝ Π.Α.*



### **3.0 Γενικά**

Η αποστολή του συστήματος συντήρησης της Πολεμικής Αεροπορίας είναι να διατηρεί τα αεροσκάφη και τον συναφή εξοπλισμό σε μέγιστη διαθεσιμότητα. Η διαθεσιμότητα αυτή πρέπει να ξεπερνά συγκεκριμένα επίπεδα που καθορίζονται με σχετικές διαταγές ανά τύπο αεροσκάφους.

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο Κεφάλαιο, ο σχεδιασμός κάθε σύγχρονου μαχητικού είναι προσανατολισμένος στην επίτευξη της μέγιστης διαθεσιμότητας. Για τον σκοπό αυτό, τα συστήματα των αεροσκαφών αποτελούνται από εύκολα αφαιρούμενες ανεξάρτητες μονάδες (*modules*). Η συντήρηση λοιπόν πάνω στο αεροσκάφος είναι ουσιαστικά επισκευή με αντικατάσταση (*repair-by-replacement*) και πραγματοποιείται σε επίπεδο Μοίρας (*flight line*). Για το λόγο αυτό οι αφαιρούμενες μονάδες ονομάζονται *LRUs (Line Replaceable Units)*. Τα *LRUs*, ανήκουν σε συστήματα για τα οποία υπάρχουν διαγνωστικοί έλεγχοι - *Self Tests (ST)* και *Built-In Tests (BIT)* - που επιτρέπουν την απομόνωση της βλάβης του συστήματος σε επίπεδο *LRU*. Στην συνέχεια το *LRU* στο οποίο αποδίδεται η βλάβη, μεταφέρεται στο 2<sup>ο</sup> επίπεδο συντήρησης για την αποκατάσταση της βλάβης.

Μέσω της συντήρησης με τον τρόπο που περιγράψαμε συνοπτικά παραπάνω, επιτυγχάνεται:

- Μείωση του χρόνου αποκατάστασης της βλάβης στο αεροσκάφος.
- Μείωση της εξάρτησης από τα άλλα επίπεδα συντήρησης.
- Κλιμάκωση της πολυπλοκότητας των εργασιών συντήρησης.

### ***Είδη συντήρησης***

Η συντήρηση μπορεί να διακριθεί σε δυο κατηγορίες:

- Στην συντήρηση που πραγματοποιείται απευθείας στο αεροσκάφος ή τον εξοπλισμό υποστήριξης (*on-equipment maintenance*) και
- Στην συντήρηση που πραγματοποιείται σε υλικά που έχουν αφαιρεθεί από το αεροσκάφος ή τον εξοπλισμό υποστήριξης (*off-equipment maintenance*)

Επιπρόσθετα μπορούμε να διαχωρίσουμε την συντήρηση σε:

- Προληπτική συντήρηση (*preventive maintenance*) και
- Συντήρηση αποκατάστασης βλάβης (*corrective maintenance*)

Στην παρούσα εργασία θα επικεντρωθούμε στη συντήρηση που ακολουθείται για τα ηλεκτρονικά συστήματα των αεροσκαφών και ειδικότερα των F-16. Τα συστήματα αυτά από την σύντμηση των λέξεων *AVIation electrONICS*, ονομάζονται συστήματα *AVIONICS*.

Επισημαίνεται ότι για τα συστήματα *Avionics* δεν προβλέπεται περιοδική - προληπτική συντήρηση. Εξαίρεση αποτελεί το βίντεο του αεροσκάφους το οποίο εμπεριέχει μηχανικό τμήμα που υπόκειται σε φθορές. Επίσης, εξαίρεση αποτελεί ένας ασύρματος και ένας σταθμός μετάδοσης σήματος προειδοποίησης που βρίσκονται τοποθετημένα στο κιτ επιβίωσης του χειριστή που χρησιμοποιείται σε περίπτωση εγκατάλειψης και για τα οποία προβλέπεται περιοδική συντήρηση λόγω της κρισιμότητάς τους.

### **3.1 Συντήρηση Τριών Επιπέδων Συστημάτων Avionics στην Π.Α.**

Η συντήρηση των συστημάτων *Avionics* του αεροσκάφους F-16 (όπως και των περισσοτέρων συστημάτων) στην Π.Α. πραγματοποιείται σε 3 επίπεδα ή βαθμούς συντήρησης, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

### **1<sup>ο</sup> Επίπεδο Συντήρησης (USAFs Organizational level) - Συντήρηση στην Πολεμική Μοίρα (on-equipment):**

Στο επίπεδο αυτό πραγματοποιείται μικρής έκτασης συντήρηση η οποία περιορίζεται σε αφαίρο-τοποθετήσεις *LRUs*, λειτουργικούς ελέγχους, επισκευές καλωδιώσεων κτλ.

Μετά από κάθε πτήση, κατά την διαδικασία απενημέρωσης του χειριστή, αναφέρονται πιθανές δυσλειτουργίες που παρατηρήθηκαν. Η ανάλυση των προβλημάτων γίνεται με συστηματικό τρόπο μέσω της χρησιμοποίησης του *FR (Fault Reporting manual)*. Το εγχειρίδιο αυτό, περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται για το κάθε σύστημα για τον εντοπισμό και αναφορά της δυσλειτουργίας που έχει εντοπιστεί (*Pilot Detectable Fault*). Στην συνέχεια ενημερώνεται η ειδικότητα που είναι υπεύθυνη για την αποκατάσταση της βλάβης του συγκεκριμένου συστήματος και οι τεχνικοί, λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία της βλάβης, ακολουθούν μια σειρά από τυποποιημένες διορθωτικές ενέργειες.

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι βλάβες των συστημάτων *Avionics* αποκαθίστανται με την αντικατάσταση ενός *LRU*. Μετά την ολοκλήρωση του λειτουργικού ελέγχου του συστήματος στο οποίο εμφανίστηκε η βλάβη, το αεροσκάφος επανέρχεται σε λειτουργική κατάσταση.

### **2<sup>ο</sup> Επίπεδο Συντήρησης (USAFs Intermediate level) - Συντήρηση στην Μοίρα Συντήρησης Βάσεως (off-equipment):**

Στο επίπεδο αυτό, η βλάβη του *LRU* που έχει αφαιρεθεί από την Πολεμική Μοίρα (1<sup>ο</sup> επίπεδο συντήρησης), απομονώνεται, με την πραγματοποίηση ελέγχου με συσκευές αυτομάτου έλεγχου (*Automatic Test Equipment - ATE*), σε υποσυγκροτήματα *SRUs (Shop Replaceable Units)*. Τα *SRUs*, στα οποία έχει καταλογιστεί η βλάβη, αποστέλλονται στη συνέχεια για επισκευή στο 3<sup>ο</sup> επίπεδο συντήρησης.

Τα *LRUs* τα οποία έχουν αφαιρεθεί από το αεροσκάφος με βλάβη διακινούνται μέσω της Μοίρας Εφοδιασμού στο 2<sup>ο</sup> επίπεδο συντήρησης και συγκεκριμένα στα Συνεργεία *AIS (Avionics Intermediate Shop)* και *IAIS (Improved Avionics Intermediate Shop)*.

Το συνεργείο *AIS* πρωτοχρησιμοποιήθηκε από την *USAF* το 1978, ενώ βελτιωμένη της αρχικής διαμόρφωση του, χρησιμοποιείται από την Π.Α. από το 1989. Το *AIS* αποτελείται από 4 ανεξάρτητους σταθμούς ελέγχου. Αντίστοιχα ο σταθμός *IAIS*, ο οποίος καλύπτει σχεδόν το συνολικό εύρος επισκευαστικής δυνατότητας των τεσσάρων σταθμών *AIS*, πρωτοχρησιμοποιήθηκε το 1993 από την *USAF*, ενώ νεότερη διαμόρφωση του παραλήφθηκε και χρησιμοποιείται από την Π.Α. από το 2000.

Επιπλέον υπάρχει και το συνεργείο που υποστηρίζει την συντήρηση σε 2<sup>ου</sup> βαθμό των 2 ατρακτίδιων (*Target και Navigation Pod*) του συστήματος *LANTIRN* (*Low Altitude Navigation and Targeting Infrared for Night*).

### **3<sup>ο</sup> Επίπεδο Συντήρησης (USAFs Depot level) - Συντήρηση σε Εργοστασιακό Επίπεδο (depot):**

Στο επίπεδο αυτό πραγματοποιείται αποκατάσταση της βλάβης των *SRUs*, μέσω αντικατάστασης εξαρτημάτων που ονομάζονται *Depot Replaceable Units (DRUs)*.

Όσον αφορά την συντήρηση των *F-16* υποστηρίζεται σε 3<sup>ο</sup> βαθμό η συντήρηση μερικών μόνο υποσυγκροτημάτων (*SRUs*) του *RADAR APG-68*. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η συντήρηση δεν καλύπτει όλο το εύρος των απαιτούμενων δραστηριοτήτων, το επίπεδο αυτό αναφέρεται και σαν εκτεταμένος 2<sup>ος</sup> βαθμός συντήρησης (*Extended 2<sup>nd</sup> Level Maintenance*).

## **3.2 Επικρατούσες Τάσεις**

Μέσα από την παγκοσμιοποίηση διαμορφώνεται ένα νέο πλαίσιο λειτουργίας των στρατιωτικών Οργανισμών, οι οποίοι, σύμφωνα με τις νέες απαιτήσεις, πρέπει να είναι ευέλικτοι ώστε σε μικρό χρονικό διάστημα να αναπτύσσονται και να επιχειρούν από οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη. Μέσα από αυτό το πρίσμα, αλλάζει η δομή του συστήματος συντήρησης περνώντας από τα 3 επίπεδα συντήρησης στα 2 ή στην ενεργοποίηση περιφερειακών κέντρων συντήρησης. Η αλλαγή αυτή αναμένεται να επηρεάσει έμμεσα και το πλαίσιο της δομής της συντήρησης της Π.Α., καθώς αυτό θα πρέπει να προσαρμοστεί στα πλαίσια της φιλοσοφίας συντήρησης των νέων συστημάτων.

### **Από τα 3 στα 2 Επίπεδα Συντήρησης**

Κατά την διαδικασία προετοιμασίας της “Καταιγίδας της Ερήμου”, απαιτήθηκε να μετακινηθεί ιδιαίτερα σημαντικός αριθμός προσωπικού, υλικών και μέσων για την υποστήριξη της επιχείρησης. Ως συνέπεια του παραπάνω γεγονότος, αμέσως μετά το πέρας των επιχειρήσεων, εξετάστηκε η εφικτότητα μείωσης ή / και εξάλειψης συγκεκριμένων δραστηριοτήτων της συντήρησης. Όλα αυτά βέβαια υπόκεινται στα πλαίσια του νέου δόγματος ελέγχου σε όλο τον πλανήτη (*Global Reach-Global Power concept*).

Ως αποτέλεσμα η *USAF* ανέπτυξε ένα πρόγραμμα απέριτης διοίκησης (*lean logistics program*), σχεδιασμένο με σκοπό να προάγει την ικανότητα μάχης, την επιβιωσιμότητα, περιορίζοντας ταυτόχρονα την απαιτούμενη υποστήριξη σε μέσα και υποδομές. Παράλληλα, μέσω της υιοθέτησης της συντήρησης 2 επιπέδων, επιδιώκεται και η εξοικονόμηση χρημάτων λόγω της μείωσης του απαιτούμενου προσωπικού - εξοπλισμού - υποδομών κτλ (*Mason 1998*).

Η φιλοσοφία των 2 επιπέδων συντήρησης έχει υιοθετηθεί από την *USAF* για τα υπό ανάπτυξη οπλικά συστήματα, ενώ υπάρχει παράλληλη προσπάθεια εφαρμογής, στο μέτρο του δυνατού, στα υπάρχοντα οπλικά συστήματα.

Ο σκοπός αυτής της αλλαγής είναι η:

- Ελαχιστοποίηση ή εξάλειψη του εξοπλισμού, εγκαταστάσεων και ανθρώπινου δυναμικού που υποστηρίζει τον 2<sup>ο</sup> βαθμό συντήρησης.
- Πραγματοποίηση της συντήρησης σε περιφερειακά κέντρα υποστήριξης ή σε ένα μοναδικό κέντρο υποστήριξης.
- Ευκινησία της Μονάδας καθώς η υποστήριξή της πραγματοποιείται από πόρους εκτός αυτής. Ως συνέπεια περιορίζονται σημαντικά οι αναγκαίοι πόροι (εξοπλισμός και ανθρώπινο δυναμικό) που απαιτούνται να μετακινηθούν, προκειμένου η Μονάδα να αναπτυχθεί και να επιχειρεί από άλλο σημείο.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού (συντήρηση σε 2 επίπεδα) χρησιμοποιούνται:

- *State-of-the-art* επικοινωνίες.
- Σύγχρονες μέθοδοι παρακολούθησης υλικών.
- Ταχύτατα συστήματα μεταφοράς εύχρηστων και επισκευασίμων υλικών για την ικανοποίηση των εκάστοτε αιτήσεων.

- Υλοποίηση συμβάσεων υποστήριξης απευθείας με τους προμηθευτές των συστημάτων.

Επιπλέον, μέσω της φιλοσοφίας αυτής είναι δυνατό να επιτευχθεί:

- Μικρότερο κόστος συντήρησης ανά ώρα πτήσης.
- Μείωση του συνολικού απαιτούμενου προσωπικού.

Σύμφωνα με αυτή την φιλοσοφία συντήρησης, τα συνεργεία *IAIS* τοποθετούνται και αυτά στις Πολεμικές Μοίρες, ωστόσο δεν πραγματοποιούν αποκατάσταση βλαβών στα *LRUs* παρά μόνο λειτουργικό έλεγχο. Λειτουργούν δηλαδή ως φίλτρα για να αποτραπεί η προώθηση για επισκευή τυχόν *LRUs* τα οποία έχουν αφαιρεθεί από το αεροσκάφος χωρίς βλάβη. Επιπλέον οι Μοίρες εξουσιοδοτούνται να συλλέγουν στατιστικά στοιχεία για δική τους χρήση και να παρακολουθούν υλικά στα οποία δεν εντοπίζεται βλάβη στο αμέσως κατώτερο επίπεδο συντήρησης. Τα υλικά αυτά ονομάζονται *CND (Cannot Duplicate Failure)* υλικά.

### **Περιφερειακά Κέντρα Συντήρησης**

Εναλλακτικά με την δομή των 2 επιπέδων συντήρησης που παρουσιάστηκε, εφαρμόζεται η συγκέντρωση του εξοπλισμού 2<sup>ου</sup> επιπέδου συντήρησης σε ένα περιφερειακό κέντρο το οποίο υποστηρίζει κοντινές Μονάδες (*regional repair center*). Η μορφή αυτή αποτελεί ένα υβριδικό σχήμα που τοποθετείται ανάμεσα στα 2 και 3 επίπεδα συντήρησης, καθώς για τις Μονάδες τα επισκευάσιμα υλικά αντιμετωπίζονται όπως ακριβώς και στην περίπτωση των 2 επιπέδων συντήρησης, χωρίς ωστόσο στο περιφερειακό κέντρο επισκευών αλλά και στο *depot* να πραγματοποιείται κάτι διαφορετικό από τα 3 επίπεδα συντήρησης.

Ο τρόπος αυτός παρέχει παρόμοια πλεονεκτήματα με αυτά των 2 επιπέδων συντήρησης και συγκεκριμένα:

- Συνενώνονται παρόμοιες εργασίες συντήρησης σε κοινό χώρο.
- Εξομαλύνεται ο φόρτος εργασίας.
- Συνήθως υπάρχουν περισσότερα από 2 σετ σταθμών με αποτέλεσμα να γίνεται πιο αποτελεσματική η αποκατάσταση των βλαβών των σταθμών.
- Λόγω οικονομίας κλίμακας είναι δυνατό να επιτευχθεί μικρότερο συνολικό κόστος συντήρησης.
- Εξασφαλίζεται ευκολότερα η απαιτούμενη εξειδίκευση του προσωπικού.

## Προβλήματα από την αλλαγή της δομής

Οι σύγχρονοι σταθμοί ελέγχου που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της συντήρησης στα διάφορα επίπεδα, είναι σταθμοί αυτομάτου ελέγχου. Οι σταθμοί αυτοί ελέγχονται κεντρικά από ένα σύστημα υπολογιστή ενώ για τον έλεγχο των διαφόρων επισκευασίμων υλικών σε αυτούς, χρησιμοποιούνται προγράμματα ελέγχου και κατάλληλοι προσαρμογείς (*ITAs – Interface Test Adapters*).

Θεωρητικά το πρόγραμμα ελέγχου που χρησιμοποιείται, καταδεικνύει το ή τα *SRUs* στα οποία καταλογίζεται η βλάβη. Σε ορισμένες ωστόσο περιπτώσεις, δεν επιλύεται το πρόβλημα μετά την αντίστοιχη αντικατάσταση του υλικού. Επιπλέον υπάρχουν περιπτώσεις που το πρόγραμμα ελέγχου δεν εντοπίζει το σφάλμα το οποίο υφίσταται και παρουσιάζεται μόνο στο αεροσκάφος. Όλα τα παραπάνω, οφείλονται στο γεγονός ότι το *LRU* στο συνεργείο συντήρησης ελέγχεται σε πολύ διαφορετικές συνθήκες σε σχέση με αυτές που λειτουργεί στο αεροσκάφος, αλλά και στους ακόλουθους παράγοντες:

- Το πρόγραμμα ελέγχου δεν έχει σχεδιαστεί για 100% ανίχνευση σφαλμάτων.
- Το *LRU* στο συνεργείο ελέγχεται σε πολύ διαφορετικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες (υγρασία, θερμοκρασία, δονήσεις, επιταχύνσεις) σε σχέση με τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.
- Στο συνεργείο το *LRU* συνδέεται στον σταθμό ελέγχου, χωρίς να παρεμβάλλονται τα υπόλοιπα *LRUs* με τα οποία συνδέεται άμεσα ή έμμεσα στο αεροσκάφος.
- Λόγω της αλληλεπίδρασης των μηχανημάτων (προσαρμογή) είναι δυνατό να εμφανίζονται σφάλματα του *LRU* σε ορισμένα μόνο αεροσκάφη.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες μπορεί να οδηγήσουν σε ανωμαλία η οποία δεν είναι δυνατόν να “αναπαραχθεί” στο συνεργείο. Επιπλέον, υπάρχουν και περιπτώσεις που δεν εμφανίζεται σφάλμα, για τον απλό λόγο ότι το *LRU* έχει αφαιρεθεί από το αεροσκάφος λόγω εσφαλμένης διάγνωσης της βλάβης του αντίστοιχου συστήματος..

Τα προβλήματα αυτά τα οποία πηγάζουν από το γεγονός ότι στα Συνεργεία Συντήρησης δεν μπορούν να εξομοιωθούν πλήρως οι πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στο αεροσκάφος, είναι δυνατόν να επιλυθούν μόνο με την επικοινωνία των τεχνικών του 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> επιπέδου συντήρησης. Κατά συνέπεια απομάκρυνση του

2<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης από τον 1<sup>ο</sup> μέσω της εφαρμογής της πολιτικής των 2 επιπέδων συντήρησης ή με την υποστήριξη της συντήρησης από κάποιο Περιφερειακό Κέντρο Συντήρησης, δυσχεραίνει την επικοινωνία μεταξύ των 2 επιπέδων συντήρησης. Ως συνέπεια του γεγονότος αυτού, αμφισβητείται από πολλούς η αποτελεσματικότητα της νέας τάσης πολιτικής συντήρησης.

### **3.3 Σύνοψη Κεφαλαίου**

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η δομή της συντήρησης των ηλεκτρονικών συστημάτων του F-16. Η σημερινή δομή του συστήματος υποστήριξης ακολουθεί τα πρότυπα της USAF. Επιπλέον, εξαιτίας της πολυπλοκότητας των συστημάτων που χρησιμοποιούνται, η δομή του συστήματος συντήρησης είναι καταδικασμένη να προσαρμόζεται στην δομή που ακολουθείται από την USAF, η οποία μεταλλάσσεται για να ικανοποιήσει τις νέες απαιτήσεις στο σύγχρονο περιβάλλον. Το νέο πλαίσιο όπως διαμορφώνεται, δεν περιορίζει αλλά αντίθετα ενισχύει την ανάλυση που θα γίνει στο επόμενο Κεφάλαιο. Λόγω βέβαια της απομάκρυνσης ή / και κατάργησης του 2<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης, είναι πιθανόν να δημιουργηθούν άλλου τύπου προβλήματα, τα οποία είναι πέρα από τον σκοπό της παρούσας εργασίας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:  
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ  
ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΙΜΩΝ

## **4.0 Γενικά**

Το πρόβλημα το οποίο θα μελετήσουμε είναι ο προσδιορισμός της βέλτιστης ως προς το κόστος σύνθεσης αποθεμάτων *SRUs* με την οποία είναι δυνατό να επιτευχθούν συγκεκριμένα επίπεδα διαθεσιμότητας στην υποστήριξη *N LRUs* που χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχο αριθμό αεροσκαφών. Το πλαίσιο που θα δημιουργηθεί για την μελέτη του προβλήματος, είναι βασισμένο στο μοντέλο *METRIC*.

Στο Κεφάλαιο αυτό, αρχικά αναφέρονται οι υποθέσεις που γίνονται από το *METRIC* με παράλληλο σχολιασμό τους σε σχέση με τα υλικά *Anionics*. Ακολουθεί η περιγραφή του μοντέλου που δημιουργείται με σκοπό την μοντελοποίηση του συστήματος συντήρησης που ακολουθείται από την Π.Α. για την πλειονότητα των υλικών *Anionics* και παράλληλα αναφέρονται οι παραδοχές που γίνονται κατά την μοντελοποίηση. Στην συνέχεια ορίζονται οι δείκτες μέτρησης της αποτελεσματικότητας μιας σύνθεσης αποθεμάτων και τέλος περιγράφεται η διαδικασία προσδιορισμού της διαθεσιμότητας κάτω από τον περιορισμό του κόστους ή αντίστροφα ο προσδιορισμός του κόστους που απαιτείται για να επιτευχθούν συγκεκριμένα επίπεδα διαθεσιμότητας.

Η ανάλυση που ακολουθεί είναι ενός επιπέδου υποστήριξης και γίνεται σε βάθος ενός επίπεδου του υλικού (*single echelon – single indenture*). Η ανάλυση στην απλή δομή που εξετάζεται, παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι ανεξαρτητοποιεί το πρόβλημα από πολλές άλλες παραμέτρους που θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη στην περίπτωση που θα χρησιμοποιούνταν μια πιο σύνθετη δομή, η οποία θα οδηγούσε και σε περισσότερες παραδοχές που δεν θα ήταν αποδεκτές στην πράξη. Τέλος, επισημαίνεται ότι η αλλαγή της δομής υποστήριξης από τα 3 σε 2 επίπεδα υποστήριξης που επικρατεί σαν σύγχρονη τάση, δεν περιορίζει την χρησιμότητα της ανάλυσης που πραγματοποιείται, αλλά αντίθετα την ενισχύει.

#### **4.1 Υποθέσεις METRIC**

Οι υποθέσεις που γίνονται στην διαδικασία επισκευής και διανομής ενός επισκευασίμου υλικού κατά την εφαρμογή του *METRIC* ισχύουν σε γενικές γραμμές για την περίπτωση των υλικών που εξετάζουμε στην παρούσα εργασία. Οι υποθέσεις αυτές αναφέρονται και σχολιάζονται σε σχέση με τα υλικά *Anionics* στην συνέχεια:

##### ***Υπόθεση 1: Οι ζητήσεις πραγματοποιούνται σύμφωνα με διαδικασία Poisson***

Κατά την ανάλυση με το μοντέλο *METRIC*, θεωρείται ότι οι ζητήσεις λαμβάνουν χώρα σύμφωνα με μια διαδικασία *Poisson*. Το γεγονός αυτό πολύ απλά σημαίνει ότι ο λόγος  $V$  της διακύμανσης (*variance*) ως προς την μέση τιμή (*mean*) της ζήτησης ισούται με την μονάδα ( $CV=1$ ). Από τα στατιστικά στοιχεία που υπάρχουν για τα συστήματα *Anionics* προκύπτει ότι ο ρυθμός βλαβών (ζήτησης) που παρουσιάζουν τα υλικά αυτά διακρίνεται από μεγάλη σταθερότητα και κατά συνέπεια η υπόθεση αυτή ικανοποιείται κατά κανόνα. Η θεώρηση αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι για τα υλικά *Anionics* δεν προβλέπεται προληπτική συντήρηση και επιπλέον για τα ηλεκτρονικά συστήματα γενικότερα, ισχύει η θεώρηση ότι, μετά από επισκευή έχουν την ίδια πιθανότητα αστοχίας όπως και ένα καινούργιο υλικό (δηλ. τα επισκευασμένα υλικά είναι “*As Good As New*”) (Μπακούρος 1998). Εξαιρέση αποτελούν οι λυχνίες οι οποίες χρησιμοποιούνται σε κάποια μηχανήματα και οι οποίες υπόκεινται σε γήρανση ενώ επιπλέον είναι και ευαίσθητες σε συνθήκες περιβάλλοντος, καθώς και ο μηχανισμός του *Video* του αεροσκάφους ο οποίος υπόκειται σε περιοδική συντήρηση.

**Υπόθεση 2: Δεν επιτρέπεται διακίνηση υλικών μεταξύ του ίδιου επιπέδου - echelon για να εξυπηρετούνται οι εκάστοτε απαιτήσεις (lateral supply)**

Όσον αφορά την υπόθεση αυτή, ο *Sherbrooke (1992b)* έχει δείξει ότι η δυνατότητα διακίνησης υλικών μεταξύ του ίδιου επιπέδου υποστήριξης αποκτά ιδιαίτερη σημασία στην περίπτωση που η ζήτηση είναι μικρή, ενώ οι χρόνοι διακίνησης των υλικών στο ίδιο επίπεδο είναι μικροί συγκριτικά με τους χρόνους επισκευής των υλικών. Επιπλέον ο *Verrijdt (1997)* αναφέρει χαρακτηριστικά την ύπαρξη τέτοιας δυνατότητας διακίνησης υλικών ως “pooling flexibility” και έχει αποδείξει ότι η “ευελιξία” αυτή είναι ιδιαίτερα αποδοτική όταν υπάρχει χαμηλό fill rate (< 70%). Η υπόθεση αυτή έχει γίνει κατά την προσέγγιση του αρχικού προβλήματος που διατυπώθηκε από το *METRIC* των 2 echelons και κατά συνέπεια δεν αποτελεί περιορισμό στο πρόβλημα που θα εξεταστεί στην παρούσα εργασία καθώς αυτό αφορά μόνο 1 echelon. Πέρα από τα πλαίσια της παρούσας εφαρμογής, αναφέρεται γενικά ότι η μετακίνηση υλικών μεταξύ δύο Μονάδων πραγματοποιείται στην πράξη σε ειδικές μόνο περιπτώσεις.

**Υπόθεση 3: Δεν γίνεται καταδίκη υλικών (condemnation)**

Ο *Sherbrooke (1968)* αναφέρει ότι οι υπολογισμοί του *METRIC* είναι ακριβείς όταν τα υλικά καταδικάζονται (δηλ. όταν είναι αδύνατη ή κρίνεται ασύμφορη η επισκευή τους) σε ποσοστό μικρότερο από 5%. Όσον αφορά τα υλικά *Anionics* κατά κανόνα είναι δυνατή η επισκευή τους και το παραπάνω ποσοστό είναι αμελητέο. Η υπόθεση αυτή λοιπόν, δεν αποτελεί περιορισμό για τα συγκεκριμένα υλικά που εξετάζουμε.

**Υπόθεση 4: Οι χρόνοι επισκευής είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους**

Η παραδοχή αυτή συναντάται γενικά στην βιβλιογραφία εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν υπάρχει πρακτικά άλλη εναλλακτική θεώρηση. Η εν λόγω υπόθεση σημαίνει ότι δεν εφαρμόζονται κανόνες καθορισμού προτεραιοτήτων κατά την διαδικασία διανομής και επισκευής. Στην πράξη εφαρμόζονται κανόνες προτεραιοτήτων καθώς στα υλικά που αποτελούν καθηλωτικό παράγοντα για το αμέσως μεγαλύτερο συγκρότημα (*Next Higher Assembly*) δίνεται μεγαλύτερη προτεραιότητα σε σχέση με τα υλικά τα οποία αφορούν αναπλήρωση αποθέματος. Ωστόσο αν λάβουμε υπόψη ότι ο χρόνος επισκευής των υλικών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τον εκάστοτε φόρτο στο επισκευαστικό κέντρο, την

διαφορετική δυσκολία απομόνωσης και αποκατάστασης της βλάβης, την ύπαρξη των αναγκαίων υλικών και μέσων για την επισκευή της βλάβης κτλ. ουσιαστικά η υπόθεση αυτή είναι ρεαλιστική.

***Υπόθεση 5: Σε κάθε επίπεδο – echelon ακολουθείται πολιτική (S-1,S)***

Η πολιτική αυτή είναι απολύτως δικαιολογημένη και ακολουθείται στην πράξη για υλικά υψηλού κόστους και χαμηλής ζήτησης όπως είναι τα υλικά *Anionics*.

***Υπόθεση 6: Οι ελλείψεις όλων των υλικών που εξετάζονται είναι εξίσου σημαντικές***

Κατά κανόνα δεν μπορούμε να χαρακτηρίσουμε κάποια από τα υλικά *Anionics* ως κρίσιμα και κάποια άλλα λιγότερο κρίσιμα, καθώς η αστοχία οποιουδήποτε υλικού έχει άμεση επίδραση στην λειτουργία του συστήματος και δημιουργεί απαίτηση για άμεση αντικατάσταση του.

***Υπόθεση 7: Οι χρόνοι προβολής της απαίτησης για εύχρηστο υλικό και της διακίνησης του υλικού για επισκευή είναι καθορισμένοι (deterministic)***

Οι χρόνοι διακίνησης των υλικών προς τα επισκευαστικά κέντρα είναι μικροί συγκριτικά με τους χρόνους επισκευής. Επιπλέον αναφέρεται ότι γενικά οι χρόνοι αυτοί μπορούν να θεωρηθούν ως εύκολα “ελεγχόμενες” μεταβλητές του προβλήματος και κατά συνέπεια η παραπάνω υπόθεση ουσιαστικά δεν αποτελεί περιορισμό.

***Υπόθεση 8: Ο αριθμός των ελλείψεων (backorders) δεν επηρεάζει την ζήτηση (infinite source)***

Διαισθητικά και μόνο είναι προφανές ότι ο αριθμός των ελλείψεων ενός υλικού επηρεάζει την ζήτησή του. Ωστόσο στην περίπτωση που εξετάζουμε η απαίτηση λειτουργίας των συστημάτων σε ιδιαίτερα υψηλή διαθεσιμότητα συνεπάγεται ότι ο αριθμός των αναμενόμενων ελλείψεων θα είναι πολύ μικρός συγκριτικά με το συνολικό αριθμό των συστημάτων. Κατά συνέπεια η υπόθεση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι ικανοποιείται στην πράξη.

## **4.2 Περιγραφή του Μοντέλου – Παραδοχές**

Το πρόβλημα που εξετάζουμε είναι ο προσδιορισμός της βέλτιστης ως προς το κόστος σύνθεσης αποθεμάτων που απαιτείται, ώστε να επιτευχθούν συγκεκριμένα

επίπεδα διαθεσιμότητας στην υποστήριξη  $N$  συνολικά  $LRUs$ , τα οποία βρίσκονται τοποθετημένα στα αεροσκάφη.

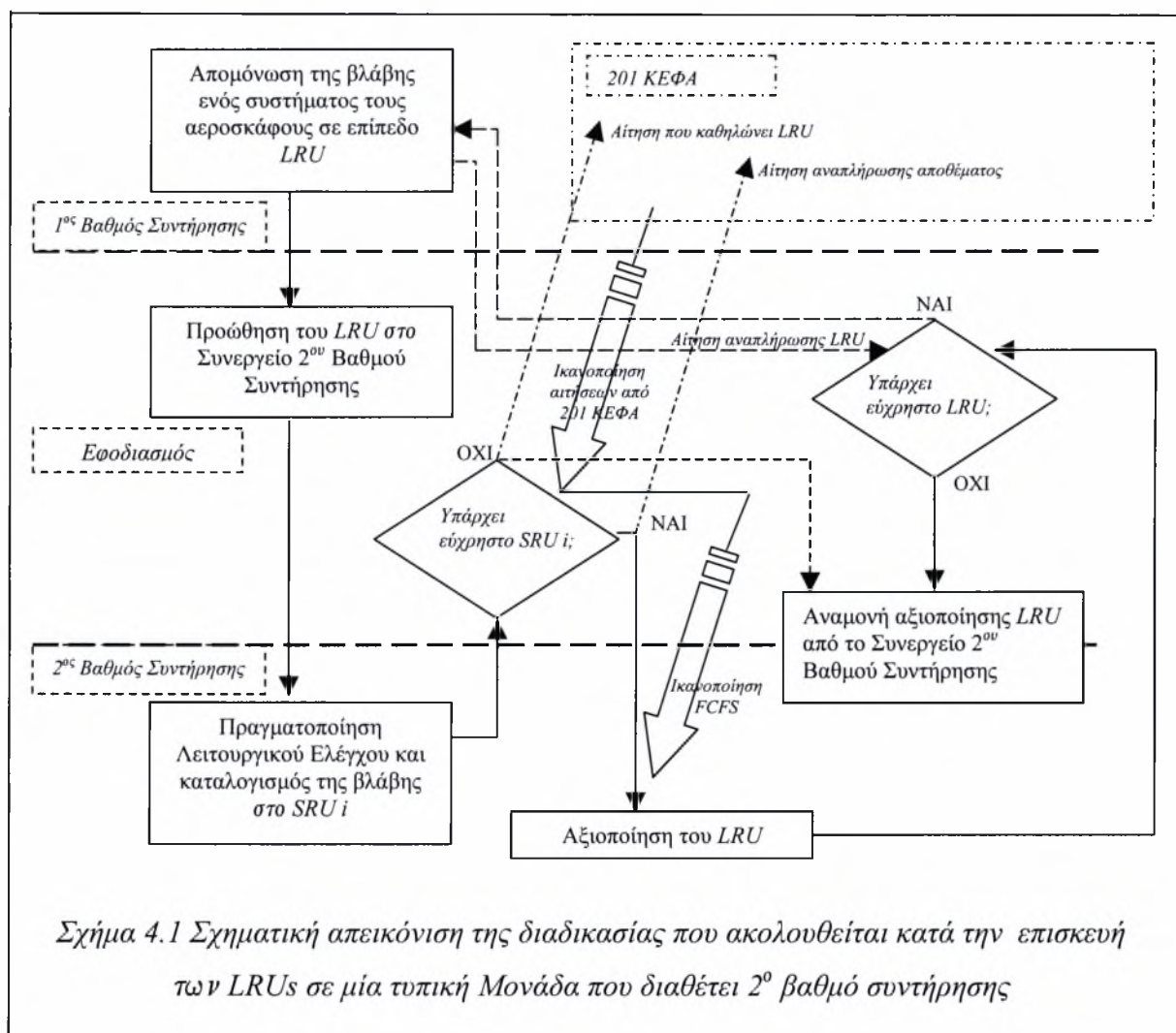
Το κάθε  $LRU$  θεωρείται ότι αποτελείται από  $I$  διαφορετικού τύπου  $SRUs$ , τα οποία και αριθμούμε από  $1, \dots, I$ . Το  $LRU$  έχει συνολικά  $Z_i$  ( $Z_i \in \mathbb{N}$ )  $SRUs$  τύπου  $i$ . Στην περίπτωση που παρουσιαστεί βλάβη σε κάποιο από τα  $SRUs$ , θεωρούμε ότι το  $LRU$  τίθεται σε μη λειτουργική κατάσταση. Για την αποφυγή μακροχρόνιων καθηλώσεων, υπάρχουν διαθέσιμα εφεδρικά υλικά. Για το  $SRU$   $i$  υπάρχουν  $S_i$  εφεδρικά,  $c_i$  κόστους ανά υλικό.

### Διαδικασία επισκευής

Η διαδικασία επισκευής παρουσιάζεται παραστατικά στο Σχήμα 4.1 και αναλύεται αμέσως παρακάτω:

Σε κάθε  $LRU$  που βρίσκεται σε λειτουργία, συμβαίνουν βλάβες σύμφωνα με μια διαδικασία *Poisson*. Η κάθε βλάβη που παρουσιάζεται, γεννά την απαίτηση για ένα εύχρηστο (*serviceable*)  $LRU$ . Η απαίτηση αυτή ικανοποιείται άμεσα από τον Εφοδιασμό της Μονάδας στην περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμα  $LRUs$ , διαφορετικά δημιουργείται έλλειψη μέχρι να αξιοποιηθεί κάποιο  $LRU$  από το συνεργείο του 2<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης.

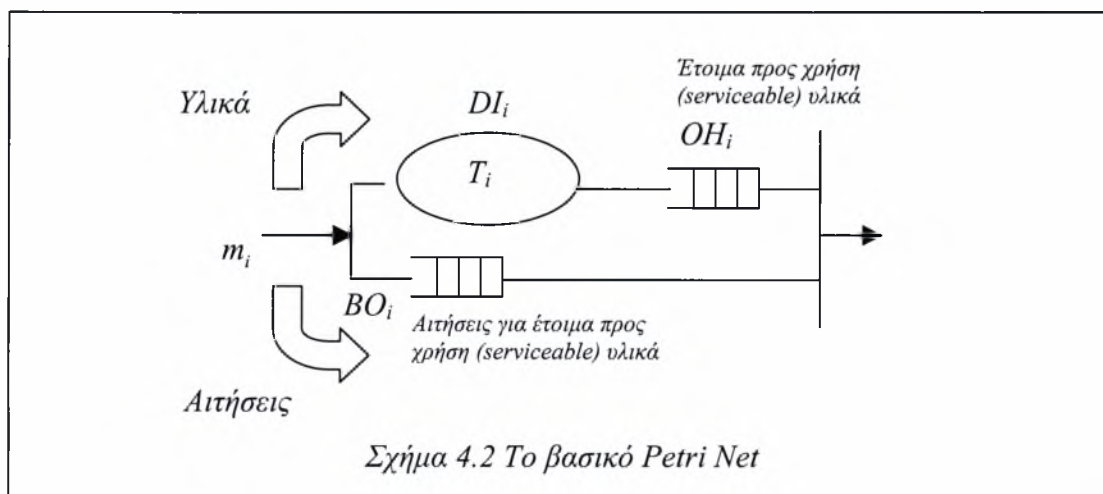
Σε κάθε περίπτωση το επισκευάσιμο  $LRU$  προωθείται στο συνεργείο του 2<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης όπου πραγματοποιείται λειτουργικός έλεγχος. Θεωρούμε ότι ο έλεγχος αυτός απομονώνει την βλάβη σε ένα μόνο  $SRU$ . Κατά συνέπεια εάν δούμε το πρόβλημα από το επίπεδο των ζητήσεων σε  $SRUs$ , τότε θεωρούμε ότι για κάθε  $SRU$  τύπου  $i$ , συμβαίνουν βλάβες σύμφωνα με μια διαδικασία *Poisson* με ρυθμό  $m_i$ . Όταν υπάρχει άμεσα διαθέσιμο στον Εφοδιασμό εύχρηστο  $SRU$ , τότε αυτό δίνεται για χρήση και θεωρούμε ότι η βλάβη αποκαθίσταται σε αμελητέο χρόνο. Διαφορετικά η βλάβη καθλώνει το  $LRU$ . Το επισκευάσιμο  $SRU$  προωθείται για επισκευή μέσω του 201 ΚΕΦΑ (Κέντρο Εφοδιασμού Αεροπορίας) σε επισκευαστικά κέντρα του εξωτερικού και παράλληλα τοποθετείται αίτηση έλλειψης υλικού ή αναπλήρωσης αποθέματος.



Επιπλέον αυτών που αναφέραμε παραπάνω, θεωρούμε ότι είναι δυνατή η αποκατάσταση όλων των βλαβών και ότι οι χρόνοι επισκευής  $T_i$  είναι ανεξάρτητες και ομοιόμορφα κατανομημένες μεταβλητές (*i.i.d.*). Η τελευταία αυτή παραδοχή συχνά αναφέρεται και ως απεριόριστη παραγωγική δυνατότητα του συνεργείου αποκατάστασης βλαβών. Η αίτηση που τοποθετείται για ένα εύχρηστο υλικό παράλληλα με την αποστολή του υλικού για επισκευή, είτε πρόκειται για LRU είτε για SRU, ικανοποιείται με προτεραιότητα FCFS (*First Come First Serve*). Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία επισκευής, το LRU προωθείται στα έτοιμα προς χρήση. Στην διαδικασία διανομής και επισκευής υπονοείται η χρησιμοποίηση πολιτικής αντικατάστασης ένα προς ένα ( $S_i - 1, S_i$ ), όπου  $S_i$  είναι ο μέγιστος αριθμός των διαθέσιμων αποθεμάτων του SRU  $i$  που μπορούμε να έχουμε έτοιμα για χρήση. Τέλος επισημαίνεται ότι θεωρείται πως όλα τα αποθέματα διατηρούνται στην Μονάδα.

### Ανάλυση του προβλήματος με την χρησιμοποίηση των *Petri Nets*

Η διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω, μπορεί να απεικονιστεί παραστατικά με την χρησιμοποίηση των δικτύων του *Petri* (*Petri Nets*). Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται το βασικό *Petri Net*.

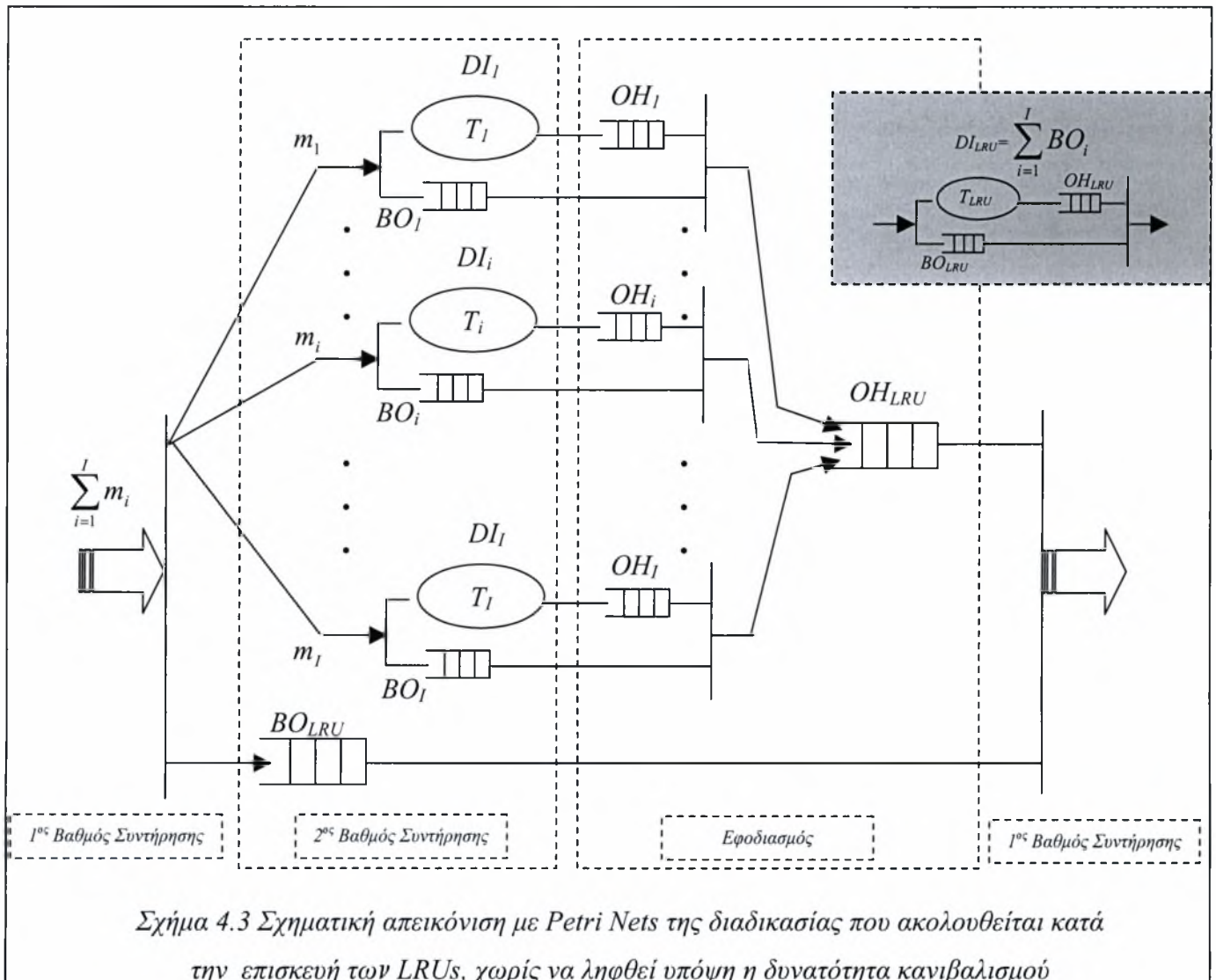


Όπως φαίνεται στο σχήμα αυτό, τα υλικά που έχουν παρουσιάσει βλάβη εισέρχονται συνοδευόμενα με αίτηση για κάποιο εύχρηστο υλικό με ρυθμό  $m_i$ . Τα υλικά ακολουθούν το πάνω κλάδο του σχήματος και αφού επισκευαστούν μετά από χρόνο  $T_i$ , αποθηκεύονται στα έτοιμα προς χρήση υλικά. Οι αιτήσεις ακολουθούν τον κάτω κλάδο και ικανοποιούνται άμεσα εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα αντίστοιχα με τις αιτήσεις εύχρηστα υλικά. Σε διαφορετική περίπτωση καθυστερούν και ικανοποιούνται με προτεραιότητα *FCFS*. Η ουρά του πάνω κλάδου αντιπροσωπεύει τα έτοιμα προς χρήση υλικά τύπου  $i$  και υποδηλώνεται με  $OH_i$  (*On Hand*), ενώ η ουρά του κάτω κλάδου αντιπροσωπεύει τις καθυστερημένες  $BO_i$  (*BackOrdered*) αιτήσεις. Σημειώνεται ότι μια από τις δυο ουρές του Σχήματος 4.2 είναι πάντα άδεια καθώς όσο υπάρχουν έτοιμα προς χρήση υλικά, θα ικανοποιούν άμεσα τις τυχόν αιτήσεις. Αντίστροφα, εφόσον υπάρχουν στην ουρά του κάτω κλάδου ανικανοποίητες αιτήσεις, δεν υπάρχουν στην ουρά του πάνω κλάδου έτοιμα προς χρήση υλικά.

Επιστρέφοντας στο πρόβλημα που εξετάζουμε, θεωρούμε, όπως έχει αναφερθεί, ότι η βλάβη ενός *LRU* ανάγεται σε ζήτηση ενός μόνο από τα  $i$  *SRUs*. Ταυτόχρονα με την βλάβη του *LRU*, υποβάλλεται αίτηση για την αναπλήρωσή του. Εάν δούμε το πρόβλημα από την πλευρά των ζητήσεων του *SRU*  $i$  στο οποίο οφείλεται η βλάβη, το *SRU*  $i$  συνοδευόμενο με αίτηση για εύχρηστο υλικό, φτάνει στο συνεργείο με ρυθμό  $m_i$ . Η αίτηση αναπλήρωσης του *SRU* που έχει προωθηθεί για

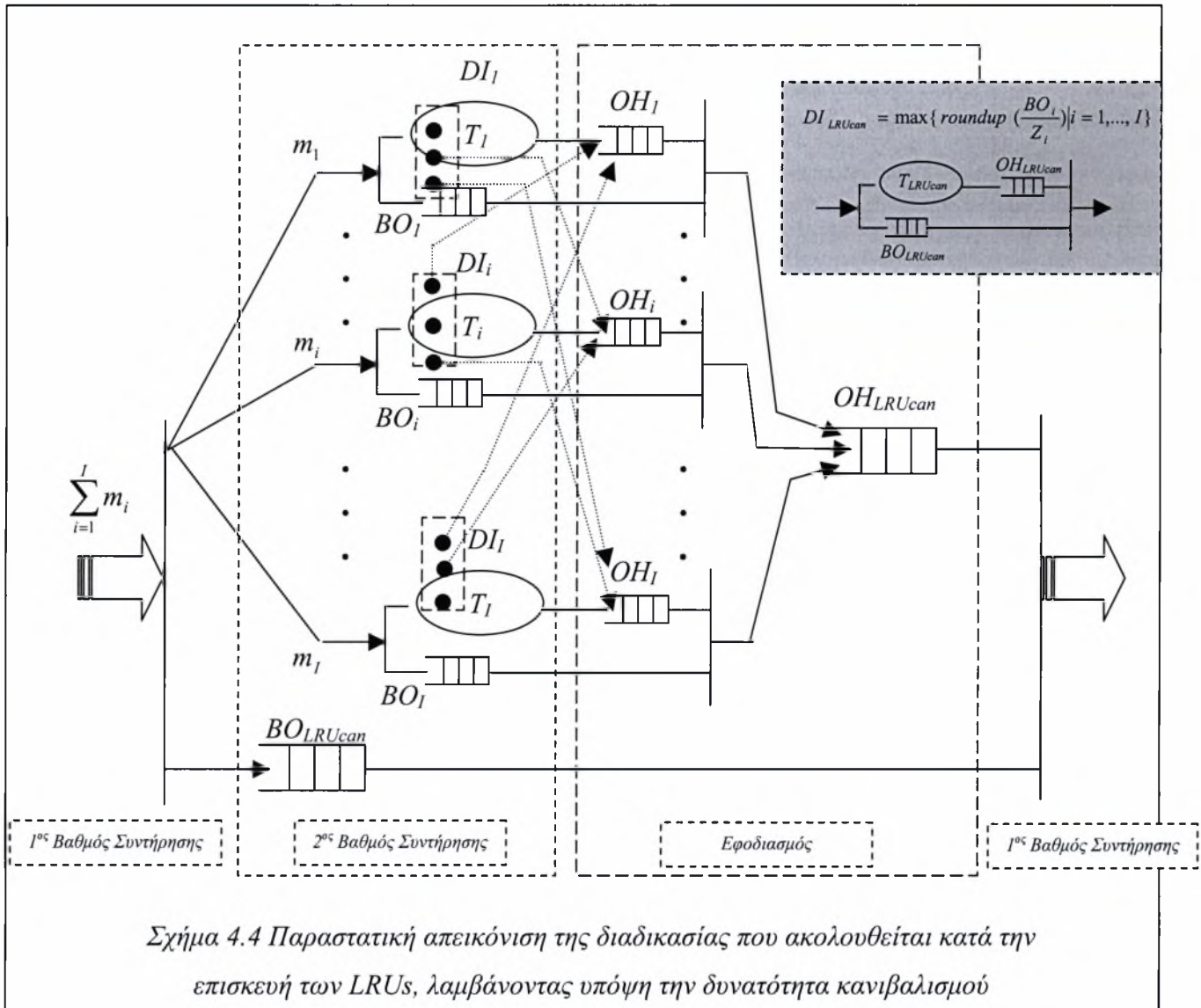


επισκευή, ανάλογα με όσα αναφέρθηκαν κατά την ανάλυση του βασικού *Petri Net*, ακολουθεί τον κάτω κλάδο του Σχήματος 4.3. Η αίτηση ικανοποιείται άμεσα όσο υπάρχουν εύχρηστα *SRUs*  $i$  και στην περίπτωση αυτή το *LRU* αξιοποιείται άμεσα. Σε διαφορετική περίπτωση το *LRU* θα αξιοποιηθεί μετά από χρόνο  $T_i$ , ο οποίος είναι ο χρόνος που χρειάζεται για την επισκευή του *SRU*  $i$ . Μόλις ικανοποιηθεί η αίτηση, θεωρούμε ότι αξιοποιείται άμεσα το αντίστοιχο καθηλωμένο *LRU*.



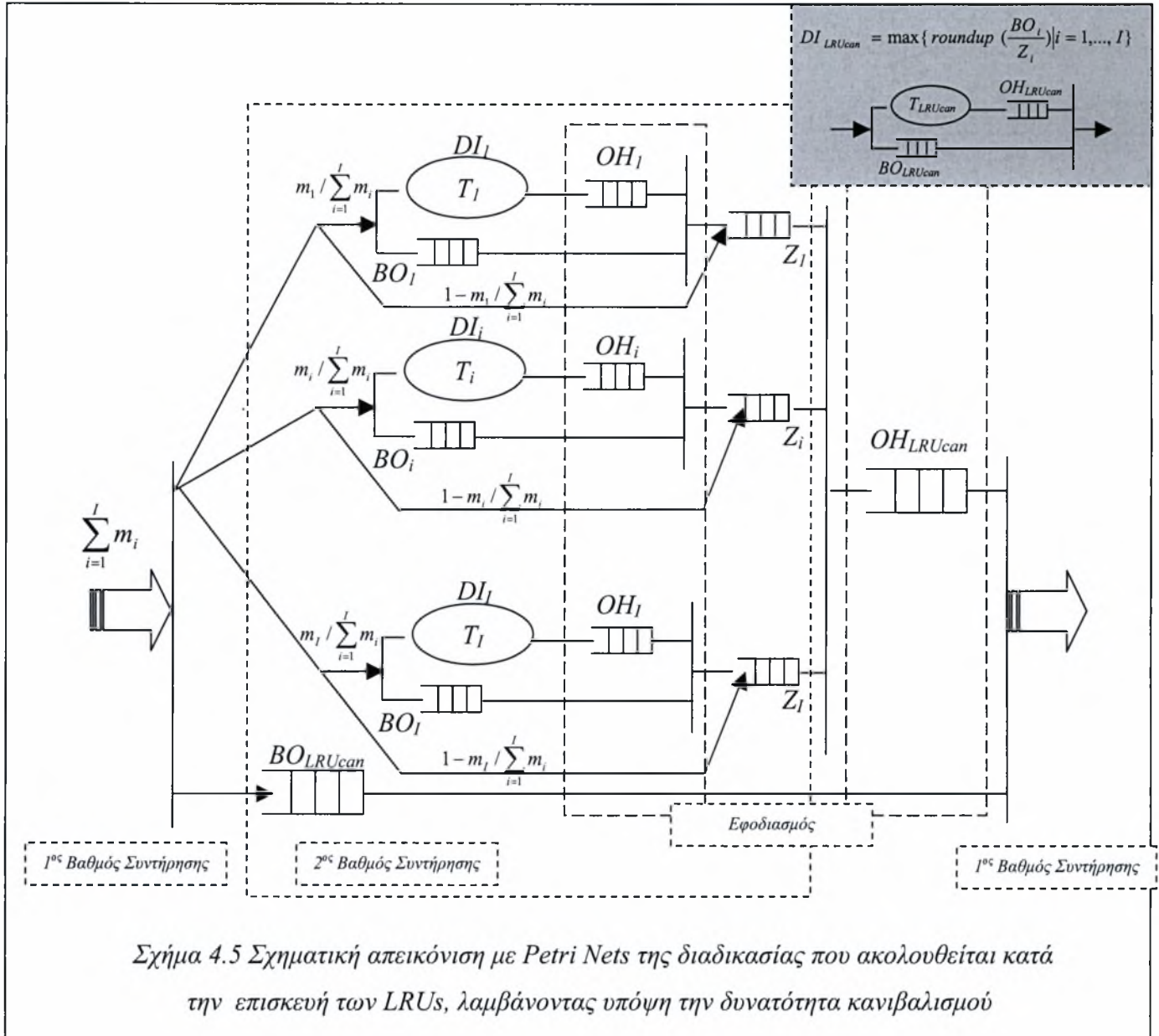
Εάν θεωρήσουμε ότι υπάρχει δυνατότητα χρησιμοποίησης (μέσω αποψίλωσης) υλικών από τα *LRUs* που είναι καθηλωμένα στο συνεργείο λόγω αναμονής υλικών (*AWP - Awaiting Parts LRUs*), τότε τα πράγματα διαφοροποιούνται σημαντικά. Στην περίπτωση αυτή, τα *LRUs* που είναι καθηλωμένα λόγω έλλειψης του *SRU*  $i$ , αποτελούν κατά κάποιο τρόπο μια “αποθήκη υλικών” από την οποία μπορεί κάποιος να πάρει κάποιο υλικό για να αξιοποιήσει άμεσα κάποιο *LRU* που έχει

εισέλθει στο συνεργείο με βλάβη που οφείλεται σε κάποιο άλλο  $SRU$  πλην του  $i$ . Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται παραστατικά στο Σχήμα 4.4.



Για να μοντελοποιήσουμε την διαδικασία που πραγματοποιείται κατά τον κανιβαλισμό, θεωρούμε ότι με την είσοδο του  $LRU$  στο συνεργείο του 2<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης το  $LRU$  “αποσυναρμολογείται” στα επιμέρους  $SRU$  από τα οποία αποτελείται. Η πιθανότητα η βλάβη να οφείλεται στο  $SRU$   $i$  ισούται με  $m_i / \sum_{i=1}^I m_i$ .

Στην περίπτωση αυτή το  $SRU$  “περνά” από το βασικό *Petri Net*, ενώ σε διαφορετική περίπτωση το  $SRU$  “προωθείται” στο τελικό στάδιο συναρμολόγησης όπου και όταν συγκεντρωθούν  $Z_i$   $SRU$  από κάθε τύπο  $i$ , τότε το  $LRU$  “επανασυναρμολογείται” και προωθείται στα έτοιμα προς χρήση υλικά.



### Παραδοχές

Συνοψίζοντας αναφέρουμε τις παραδοχές που έχουν γίνει:

1. Οι ζητήσεις των διαφόρων SRUs ενός συστήματος εμφανίζονται με σταθερό ρυθμό σύμφωνα με ανεξάρτητες διαδικασίες *Poisson* (Υπόθεση 1 METRIC).
2. Έχουμε μόνο ένα *echelon* και κατά συνέπεια δεν τίθεται θέμα *lateral supply* (Υπόθεση 2 METRIC).
3. Είναι δυνατή η επισκευή του συνόλου των εμφανιζόμενων βλαβών (Υπόθεση 3 METRIC).
4. Οι χρόνοι επισκευής των διαφόρων SRUs είναι ανεξάρτητες και ομοιόμορφα κατανομημένες μεταβλητές (Υπόθεση 4 METRIC).

5. Για κάθε  $SRU$  ακολουθείται πολιτική αντικατάστασης ένα προς ένα  $(S_i - 1, S_i)$ , όπου  $S_i$  είναι ο μέγιστος αριθμός διαθέσιμων αποθεμάτων του  $SRU$   $i$  (Υπόθεση 5 *METRIC*).

6. Όλα τα υλικά αντιμετωπίζονται ισοδύναμα όσον αφορά την κρισιμότητά τους (Υπόθεση 6 *METRIC*).

7. Δεν λαμβάνονται υπόψη οι χρόνοι διακίνησης των υλικών και οι χρόνοι τοποθέτησης αίτησης για επισκευή, καθώς είναι αμελητέοι συγκριτικά με τον χρόνο επισκευής (Υπόθεση 7 *METRIC*).

8. Ο αριθμός των ελλείψεων δεν επηρεάζει την ζήτηση (Υπόθεση 8 *METRIC*).

Επιπλέον θεωρούμε ότι υπάρχει διαθέσιμο περιορισμένο κονδύλιο  $C$  για τον καθορισμό της σύνθεσης των αποθεμάτων. Ο αντικειμενικός σκοπός είναι η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του διαθέσιμου κονδυλίου ώστε να καθοριστεί η βέλτιστη σύνθεση των αποθεμάτων  $S_1, S_2, \dots, S_I$  που θα μεγιστοποιεί την διαθεσιμότητα  $A$  του συστήματος. Επισημαίνεται ότι το πλαίσιο που δημιουργείται μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην περίπτωση που έχει καθοριστεί η επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα του συστήματος και ζητείται να προσδιοριστεί η βέλτιστη ως προς το κόστος σύνθεση των αποθεμάτων. Η διαθεσιμότητα σε κάθε περίπτωση, ορίζεται ως το ποσοστό των εύχρηστων  $LRUs$  προς το σύνολο των  $LRUs$  που χρησιμοποιούνται.

### **Η εξίσωση ισορροπίας αποθέματος**

Αρχικά υπάρχουν διαθέσιμα  $S_i$  εφεδρικά  $SRUs$   $i$ . Τα  $LRUs$  που έχουν αφαιρεθεί από το αεροσκάφος εξαιτίας βλάβης, εισέρχονται στον 2<sup>ο</sup> βαθμό συντήρησης. Μετά από έλεγχο στον αντίστοιχο σταθμό ελέγχου, θεωρούμε ότι η βλάβη απομονώνεται σε ένα μόνο  $SRU$   $i$ . Ο αριθμός των  $SRUs$   $i$  που βρίσκονται ανά πάσα στιγμή για επισκευή σε φορέα του εξωτερικού, αναφέρεται ως  $DI_i$  (*Due In*). Ο αριθμός των έτοιμων για χρήση  $SRUs$   $i$  αναφέρεται ως  $OH_i$  (*On Hand*), ενώ ο αριθμός των αιτήσεων που δεν ικανοποιούνται άμεσα λόγω έλλειψης υλικών, αναφέρεται ως  $BO_i$  (*BackOrders*).

Όταν δεν υπάρχουν ανικανοποίητες αιτήσεις τότε τα εφεδρικά  $SRUs$  είτε είναι έτοιμα προς χρήση, είτε βρίσκονται για επισκευή. Κατά συνέπεια στην περίπτωση αυτή ισχύει:

$$OH_i + DI_i = S_i \quad (4.1)$$

Επιπλέον, όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα εύχρηστα  $SRUs$ , ο αριθμός των  $SRUs$  που βρίσκονται για επισκευή ισούται με τον αριθμό των εφεδρικών υλικών προστιθέμενο στον αριθμό των καθυστερημένων αιτήσεων, δηλ:

$$DI_i = S_i + BO_i \quad (4.2)$$

Κατά συνέπεια γενικά ισχύει:

$$S_i = OH_i + DI_i - BO_i \quad (4.3)$$

Η παραπάνω εξίσωση υποδηλώνει ότι στους πάνω κλάδους του Σχήματος 4.2 θα έχουμε  $S_i$  περισσότερα  $SRU i$  σε σχέση με τις αιτήσεις στους κάτω κλάδους και αναφέρεται ως εξίσωση ισορροπίας αποθέματος (*stock balance equation*).

Θεωρώντας ότι δεν υπάρχει απόθεμα σε  $LRUs$ , ο αριθμός των  $LRUs$  που δεν αξιοποιούνται άμεσα λόγω έλλειψης υλικών, μπορεί να εκφραστεί από τον ακόλουθο τύπο:

$$DI_{LRU} = BO_{LRU} = \sum_{i=1}^I BO_i \quad (4.4)$$

Η εξίσωση ισορροπίας αποθέματος εξακολουθεί να ισχύει και για την περίπτωση εφαρμογής του κανιβαλισμού. Αυτό συμβαίνει διότι ο κανιβαλισμός δεν αλλάζει κάτι σε επίπεδο  $SRU$  αυτό που αλλάζει είναι η κατανομή των ελλείψεων (τρύπες - *holes*) των  $SRUs$  μεταξύ των διαφόρων  $LRUs$  έτσι ώστε να αξιοποιηθεί ο μέγιστος δυνατός αριθμός  $LRUs$ . Με τον τρόπο αυτό βέβαια, επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας των  $LRUs$  που υποστηρίζονται.

Στην περίπτωση που επιτρέπεται ο κανιβαλισμός, ο αριθμός των  $LRUs$  που δεν αξιοποιούνται άμεσα λόγω έλλειψης υλικών, καθορίζεται από το  $SRU$  εκείνο το οποίο “λείπει” από τα όλα τα καθηλωμένα  $LRUs$ . Δεν αποκλείεται η περίπτωση ο αριθμός των καθηλωμένων  $LRUs$  να καθορίζεται από περισσότερα από ένα  $SRUs$ . Κατά συνέπεια, ο τύπος (4.4), στην περίπτωση που θεωρείται ότι υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής κανιβαλισμού, αντικαθίστανται από τον τύπο:

$$DI_{LRUcan} = BO_{LRUcan} = \max \left\{ \text{roundup} \left( \frac{BO_i}{Z_i} \right) \middle| i = 1, \dots, I \right\} \quad (4.5)$$

### 4.3 Δείκτες Μέτρησης Αποτελεσματικότητας Σύνθεσης Αποθεμάτων & Προσδιορισμός της Διαθεσιμότητας

#### *Δείκτες μέτρησης αποτελεσματικότητας σύνθεσης αποθεμάτων*

Για την μέτρηση της αποτελεσματικότητας μιας ορισμένης σύνθεσης αποθεμάτων συγκριτικά με μια άλλη σύνθεση, είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση κατάλληλων δεικτών. Οι δείκτες αυτοί ονομάζονται δείκτες *MoEs (Measure of Effectiveness)* και είναι οι ακόλουθοι:

- Η πιθανότητα έλλειψης (*Risk Of Shortage - ROS*)
- Ο αναμενόμενος αριθμός των ελλείψεων (*Expected BackOrders - EBO*)
- Η διακύμανση του αναμενόμενου αριθμού των ελλείψεων (*Variance of expected BackOrders - VBO*)
- Ο μέσος χρόνος αναμονής (*Mean Supply Delay - MSD*)

Στο μοντέλο που εξετάζουμε, ο ρυθμός των βλαβών εμφανίζεται σύμφωνα με διαδικασία *Poisson*. Επίσης, έχει θεωρηθεί ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί χωρητικότητας (*capacity*) στο συνεργείο που πραγματοποιεί τις επισκευές (*infinite server*). Οι παραδοχές αυτές μας επιτρέπουν να χρησιμοποιήσουμε το θεώρημα του *Palm (1938)* το οποίο αναφέρει:

*Εάν η διαδικασία αφίξεων ενός συγκεκριμένου προϊόντος είναι Poisson με μέσο ρυθμό  $m$  και εάν οι χρόνοι επισκευής είναι ανεξάρτητες και ομοιόμορφα κατανομημένες τυχαίες μεταβλητές με μέσο χρόνο  $T$ , τότε η κατανομή της πιθανότητας στην μόνιμη κατάσταση (steady state) θα είναι Poisson με μέσο  $mT$ .*

#### **Πιθανότητα έλλειψης**

Χρησιμοποιώντας το θεώρημα του *Palm*, μπορούμε να εξάγουμε την κατανομή των *SRUs* που βρίσκονται για επισκευή και στην συνέχεια την πιθανότητα να υπάρχει θετικός αριθμός  $BO_i$  για το *SRU*  $i$ . Ο αριθμός των *BackOrders*, θα προκαλέσει καθυστέρηση στην αξιοποίηση των *LRUs* που βρίσκονται καθηλωμένα λόγω αναμονής *SRU*  $i$ . Προφανώς η κατάσταση αυτή είναι ανεπιθύμητη και στην πιθανότητα να συμβεί μια τέτοια κατάσταση αντιστοιχίζεται μια πιθανότητα η οποία εξαρτάται από το ύψος του αποθέματος  $S_i$  που διατηρείται για το *SRU*  $i$ . Στην πιθανότητα αυτή, δίνεται το όνομα  $PBO_i(S_i)$  (*Probability of BackOrder*) ή

$ROS_i(S_i)$  (*Risk Of Shortage*). Στην ανάλυση που ακολουθεί θα χρησιμοποιηθεί σαν συμβολογία η  $ROS_i(S_i)$  διότι υποδηλώνει σαφέστερα ότι η πιθανότητα απλώς αντικατοπτρίζει το γεγονός να συμβεί έστω και μία έλλειψη, χωρίς ωστόσο να προσδιορίζει τον αριθμό των ελλείψεων που αποτελεί την πληροφορία μέσω της οποίας μπορούμε να προσδιορίσουμε την διαθεσιμότητα του συστήματος.

$$ROS_i(S_i) = P(BO_i > 0) = P(DI_i > S_i) = \sum_{x=S_i+1}^{\infty} P(DI_i = x) = 1 - \sum_{x=0}^{S_i} P(DI_i = x)$$

και χρησιμοποιώντας το θεώρημα του *Palm*

$$ROS_i(S_i) = 1 - \sum_{x=0}^{S_i} \frac{(m_i T_i)^x}{x!} e^{-m_i T_i} \quad (4.6)$$

### Αναμενόμενος αριθμός ελλείψεων

Για τον προσδιορισμό της διαθεσιμότητας, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι ο αναμενόμενος αριθμός των ελλείψεων για το  $SRU_i$ , δεδομένου ότι για το υλικό αυτό διατηρούνται αποθέματα ύψους  $S_i$ . Ο αριθμός αυτός  $EBO_i(S_i)$  (*Expected BackOrders*) υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} EBO_i(S_i) &= \sum_{x=0}^{\infty} (x - S_i) P(DI_i = x) - \sum_{x=0}^{S_i} (x - S_i) P(DI_i = x) \\ &= m_i T_i - S_i + \sum_{x=0}^{S_i} (S_i - x) P(DI_i = x) \end{aligned}$$

και χρησιμοποιώντας το θεώρημα του *Palm*

$$EBO_i(S_i) = m_i T_i - S_i + \sum_{x=0}^{S_i} (S_i - x) \frac{(m_i T_i)^x}{x!} e^{-m_i T_i} \quad (4.7)$$

### Διακύμανση αναμενόμενου αριθμού ελλείψεων

Ένα επιπλέον στοιχείο που είναι σημαντικό για την αξιολόγηση του αναμενόμενου αριθμού των ελλείψεων, είναι η διακύμανση που παρουσιάζει ο αριθμός αυτός. Η διακύμανση του αναμενόμενου αριθμού των  $BO_i$  ονομάζεται  $VBO_i(S_i)$  (*Variance of BackOrders*) και μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$VBO_i(S_i) = \sum_{x=S_i+1}^{\infty} (x - s)^2 P(DI_i = x) - (EBO_i(S_i))^2 \quad (4.8)$$

### Μέσος χρόνος αναμονής

Ο μέσος χρόνος αναμονής  $MWT_i(S_i)$  (*Mean Waiting Time*), μπορεί να προσδιοριστεί διαιρώντας τον αριθμό των αναμενόμενων ελλείψεων με το ρυθμό ζήτησης, δηλ:

$$MWT_i(S_i) = EBO_i(S_i)/m_i \quad (4.9)$$

Η τιμή αυτού του δείκτη αντιπροσωπεύει τον μέσο χρόνο που καθυστερεί η αξιοποίηση ενός  $LRU$ , λόγω αναμονής του  $SRU i$ .

### Προσδιορισμός της Διαθεσιμότητας

Καθώς ένα  $LRU$  αποτελείται από  $I$   $SRUs$  με  $Z_i$   $SRUs$  τύπου  $i$  και υπάρχουν  $N$  συνολικά  $LRUs$  τα οποία πρέπει να λειτουργούν, ο συνολικός αριθμός των θέσεων που βρίσκεται τοποθετημένο το  $SRU i$  είναι ίσος με  $NZ_i$ . Εξαιτίας του γεγονότος ότι ο αναμενόμενος αριθμός των ελλείψεων μπορεί να προέρχεται ισοπίθانا από οποιαδήποτε από τις παραπάνω θέσεις, σε κάθε θέση αντιστοιχεί πιθανότητα να υπάρχει έλλειψη υλικού ίση με  $EBO_i(S_i)/NZ_i$ .

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η πιθανότητα ένα συγκεκριμένο  $LRU$  να μην παρουσιάζει έλλειψη του  $SRU i$  σε καμία από τις  $Z_i$  θέσεις, στην περίπτωση που στο σύνολο των  $N$   $LRUs$  υπάρχουν  $k$  ελλείψεις, προσδιορίζεται από μια υπεργεωμετρική συνάρτηση (*hypergeometric distribution function*) ως εξής:

$$\frac{\binom{(N-1)Z_i}{k}}{\binom{NZ_i}{k}} = \left(1 - \frac{k}{NZ_i}\right) \cdots \left(1 - \frac{k}{(N-1)Z_i + 1}\right) \approx \left(1 - \frac{k}{NZ_i}\right)^{Z_i} \approx \left(1 - \frac{EBO_i(S_i)}{NZ_i}\right)^{Z_i}$$

Αντικαθιστώντας το  $k$  με τον αναμενόμενο αριθμό των ελλείψεων  $EBO_i(S_i)$  του  $SRU i$ , μπορούμε στην συνέχεια να υπολογίσουμε την διαθεσιμότητα των  $N$   $LRUs$  από το γινόμενο των διαθεσιμότητων του καθενός από τα  $N$  αυτά  $LRUs$ :

$$A = \prod_{i=1}^N \left(1 - \frac{EBO_i(S_i)}{NZ_i}\right)^{Z_i} \quad (4.10)$$

Στην παραπάνω ανάλυση ο *Sherbrooke (1992a)* έχει αποδείξει ότι η συνάρτηση των  $EBO_i(S_i)$ , όπως και της διαθεσιμότητας  $A$ , είναι κυρτή σε όλο το πεδίο ορισμού της.



### **Προσδιορισμός της Διαθεσιμότητας λαμβάνοντας υπόψη την δυνατότητα κανιβαλισμού**

Στην περίπτωση που επιτρέπεται ο κανιβαλισμός, η διαθεσιμότητα μακροχρόνια καθορίζεται ουσιαστικά μόνο από το ένα  $SRU$  το οποίο “λείπει” από όλα τα  $LRUs$ . Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι μπορεί να “λείπουν” και περισσότερα από ένα  $SRUs$  ωστόσο, αφενός στην πράξη η κατάσταση αυτή είναι σπάνια, αφετέρου η κατάσταση αυτή δεν διαφοροποιεί τον ορισμό της διαθεσιμότητας. Το  $SRU$  το οποίο καθορίζει ουσιαστικά την διαθεσιμότητα των  $LRUs$  το ονομάζουμε  $HFI$  (*Highest Failure Item*). Η διαθεσιμότητα στην περίπτωση αυτή αναφέρεται ως  $A_{can}$  (από το *cannibalization*) και ορίζεται ως εξής:

$$A_{can} = \left( 1 - \frac{EBO_{HFI}(S_{HFI})}{NZ_{HFI}} \right) \quad (4.11)$$

Όπως αναλύεται εκτενώς στο *Παράρτημα Δ*, η διαδικασία αφαίρεσης υλικών (αποψίλωση υλικών) από ένα ήδη καθηλωμένο  $LRU$  για να αξιοποιηθεί κάποιο άλλο  $LRU$ , αποτελεί κοινή πρακτική για τα συστήματα *Anionics* και προφανώς μέσω της διαδικασίας αυτής επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή διαθεσιμότητα των  $LRUs$ .

### **4.4 Καθορισμός Βέλτιστης Σύνθεσης Αποθεμάτων μέσω της “Οριακής Ανάλυσης” (Marginal Analysis)**

Ο τελικός σκοπός της ανάλυσης, είναι ο καθορισμός του διανύσματος  $S=(S_1, S_1, \dots, S_l)$  που μεγιστοποιεί την διαθεσιμότητα  $A(S)$  δεδομένου ενός διαθέσιμου κονδυλίου  $C$ . Με την μεθοδολογία της επαναληπτικής διαδικασίας που αναλύεται αμέσως παρακάτω, επιλέγεται το κατάλληλο σετ αποθεμάτων που βελτιστοποιεί την αναμενόμενη διαθεσιμότητα ως προς το κόστος βηματικά, δηλ. αυξάνοντας την σύνθεση των αποθεμάτων κατά ένα υλικό κάθε φορά. Το υλικό που επιλέγεται κάθε φορά είναι αυτό που προκαλεί την μεγαλύτερη δυνατή αύξηση της διαθεσιμότητας ανά μονάδα επενδύόμενου κόστους. Μέσω της επαναληπτικής αυτής διαδικασίας καθορίζεται η βέλτιστη, ως προς το κόστος, σύνθεση των αποθεμάτων με την οποία είναι δυνατό να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα. Διαφορετικά, με τον τρόπο αυτό, γίνεται επένδυση ενός συγκεκριμένου κονδυλίου (*budget*) με βέλτιστο τρόπο όσον αφορά την διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται. Το πρόβλημα αυτό, είναι ένα μη γραμμικό πρόβλημα ακέραιο προγραμματισμού (*Non-Linear Integer Programming - NLIP*) που διατυπώνεται ως εξής:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Max} A(\underline{S}) \\ \text{υπό την συνθήκη} \\ \sum_{i=1}^I c_i S_i \leq C \\ \text{όπου } S_i \in N_0 \text{ για κάθε } i=1, \dots, I \text{ και } N_0 = \{0, 1, 2, \dots\} \end{array} \right\}$$

Το πρόβλημα της μεγιστοποίησης της διαθεσιμότητας  $A(\underline{S})$ , είναι ισοδύναμο με την μεγιστοποίηση του λογαρίθμου της διαθεσιμότητας, ο οποίος μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\log(A(\underline{S})) = \sum_{i=1}^I Z_i \log\left(1 - \frac{EBO_i(S_i)}{NZ_i}\right) \approx -\sum_{i=1}^I Z_i \frac{EBO_i(S_i)}{NZ_i} = -\sum_{i=1}^I \frac{EBO_i(S_i)}{N}$$

όπως προκύπτει με την εφαρμογή της σειράς *Taylor*

$$\log(1-a) = -a - \frac{1}{2}a^2 - \dots \approx -a$$

Η αμέσως παραπάνω προσέγγιση, ισχύει με μεγάλη ακρίβεια όταν το  $a$  είναι πολύ μικρό. Στην περίπτωση που εξετάζουμε, θεωρείται ότι τα  $N$  συστήματα θα λειτουργούν σε υψηλή διαθεσιμότητα. Κατά συνέπεια, η τιμή  $a = \frac{EBO_i(S_i)}{NZ_i}$  είναι πολύ μικρή και το πρόβλημα σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Min} \sum_{i=1}^I EBO(S_i) \\ \text{υπό την συνθήκη} \\ \sum_{i=1}^I c_i S_i \leq C \\ \text{όπου } S_i \in N_0 \text{ για κάθε } i=1, \dots, I \text{ και } N_0 = \{0, 1, 2, \dots\} \end{array} \right\}$$

Το πλεονέκτημα της τελευταίας διατύπωσης, είναι ότι η αντικειμενική συνάρτηση που βελτιστοποιείται, αποτελείται τώρα από  $I$  ανεξάρτητες συνιστώσες με την  $i$ -οστή να εξαρτάται αποκλειστικά από το  $S_i$ . Όπως έχουμε αναφέρει, ο *Sherbrooke (1992a)* έχει αποδείξει ότι η συνάρτηση  $EBO(S_i)$  είναι κυρτή και φθίνουσα σε όλο το πεδίο ορισμού της. Κατά συνέπεια και η κάθε συνιστώσα του παραπάνω αθροίσματος είναι κυρτή και φθίνουσα. Το παραπάνω πρόβλημα, λαμβάνοντας υπόψη ότι (i) η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να διαχωριστεί σε επιμέρους συνιστώσες (ii) είναι κυρτή σε όλο το πεδίο ορισμού της και (iii) ο περιορισμός του κόστους είναι γραμμική συνάρτηση, μπορεί να επιλυθεί με την μέθοδο του *Lagrange*.

Το πρόβλημα ωστόσο, μπορεί να επιλυθεί και με την επαναληπτική διαδικασία της “Οριακής Ανάλυσης” που περιγράψαμε αμέσως παραπάνω. Στην αρχή θέτουμε τα επίπεδα αποθεμάτων  $S_i$  στην τιμή 0 για κάθε  $i=1, \dots, I$ . Η αρχική αυτή σύνθεση αποθεμάτων, αντιστοιχεί σε αρχικό κονδύλιο ύψους 0 (ύψους  $\sum_{i=1}^I c_i S_i$  γενικότερα). Στην συνέχεια εφαρμόζουμε την συνθήκη της Οριακής Ανάλυσης ανάλογα με την εφαρμοζόμενη στρατηγική. Έτσι π.χ. για την στρατηγική 1 που ορίζουμε αμέσως παρακάτω και για κάθε  $SRU i$ , υπολογίζουμε την μείωση της πιθανότητας  $EBO_i$  ανά μονάδα επενδύμενου ποσού, εάν το απόθεμα  $S_i$  αυξηθεί κατά ένα (λαμβάνοντας υπόψη και το πλήθος  $Z_i$  των  $SRU i$  ανά  $LRU$ . Το  $SRU$  που παρουσιάζει την μέγιστη μείωση των  $EBO_i$  ανά επενδύμενο ποσό, επιλέγεται ως αυτό που θα αυξηθεί το απόθεμά του κατά ένα. Για την αύξηση του αποθέματος του  $SRU i$ , θα επενδυθεί ποσό  $c_i$ . Η διαδικασία αυτή, επαναλαμβάνεται μέχρι να εξαντληθεί το διατιθέμενο κονδύλιο  $C$  ή μέχρι να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα.

Ο αλγόριθμος που μόλις περιγράψαμε, μπορεί να υλοποιηθεί με μορφή κώδικα στα παρακάτω βήματα (*Steps*):

**Step 1: Αρχικοποίηση Μεταβλητών**

$$S_i = 0 \quad \forall i = 1, \dots, I$$

$$C = \sum_{i=1}^I c_i S_i$$

$$C_{budget}$$

**Step 2: Συνθήκη Οριακής Ανάλυσης (ανάλογα με την στρατηγική)**

$$\Delta_i := \frac{(EBO_i(S_i) - EBO_i(S_i + 1))}{c_i Z_i} \quad \forall i = 1, \dots, I$$

$$k := \text{arg max} \{ \Delta_i \mid i = 1, \dots, I \}$$

**Step 3: Συνθήκη Τερματισμού Διαδικασίας**

$$\text{If } C + c_k \leq C_{budget}$$

then

$$C := C + c_k; S_k = S_k + 1$$

goto step 2

else stop and calculate achieved Availability

$$A = \prod_{i=1}^N \left( 1 - \frac{EBO_i(S_i)}{NZ_i} \right)^{Z_i} \quad \Bigg| \quad \text{or } A_{can} = \left( 1 - \frac{EBO_{HFI}(S_{HFI})}{NZ_{HFI}} \right)$$

Αλγόριθμος 4.1 Προσδιορισμός σύνθεσης αποθεμάτων με βάση περιορισμό στο διατιθέμενο κονδύλιο (για την Στρατηγική 1)

Στην περίπτωση που ο περιορισμός είναι η επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα, τότε ο παραπάνω αλγόριθμος τροποποιείται ως εξής:

**Step 1: Αρχικοποίηση Μεταβλητών**

$$S_i = 0 \quad \forall i = 1, \dots, I$$

$$C = \sum_{i=1}^I c_i S_i$$

$$A = \prod_{i=1}^N \left( 1 - \frac{EBO_i(S_i)}{NZ_i} \right)^{Z_i} \quad \text{or } A_{can} = \left( 1 - \frac{EBO_{HFI}(S_{HFI})}{NZ_{HFI}} \right)$$

$$A_{target} \quad \text{or } A_{can\_target}$$

**Step 2: Συνθήκη Οριακής Ανάλυσης (ανάλογα με την στρατηγική)**

$$\Delta_i := \frac{(EBO_i(S_i) - EBO_i(S_i + 1))}{c_i Z_i} \quad \forall i = 1, \dots, I$$

$$k := \text{arg max } \{\Delta_i | i = 1, \dots, I\}$$

**Step 3: Συνθήκη Τερματισμού Διαδικασίας**

If  $A < A_{target}$  or  $A < A_{can\_target}$   
 then  
 $C := C + c_k; S_k = S_k + 1$   
 goto step 2  
 else stop and calculate required Cost  $C$

*Αλγόριθμος 4.2 Προσδιορισμός σύνθεσης αποθεμάτων με βάση περιορισμό στην επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα (για την Στρατηγική 1)*

### Οι τέσσερις στρατηγικές

Στο Κεφάλαιο αυτό, ορίσαμε την διαθεσιμότητα με δυο διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με εάν επιτρέπεται ή όχι ο κανιβαλισμός. Ο αναμενόμενος αριθμός των ελλείψεων για το  $SRU$   $i$ , προφανώς είναι ανεξάρτητος από τον ορισμό της διαθεσιμότητας. Αυτό που αλλάζει ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο τύπο (4.10) ή (4.11), είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η διαχείριση των ελλείψεων σε επίπεδο  $SRU$ . Η δυνατότητα του κανιβαλισμού, δηλ. η δυνατότητα αποψίλωσης  $SRUs$  μεταξύ των εκάστοτε  $LRUs$  που βρίσκονται λόγω βλάβης στο συνεργείο 2<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης, δημιουργεί ουσιαστικά ένα “επιπρόσθετο εικονικό απόθεμα” σε σχέση με την περίπτωση που δεν επιτρέπεται ο κανιβαλισμός. Το “επιπρόσθετο εικονικό απόθεμα”, εξαρτάται από τον αναμενόμενο αριθμό των ελλείψεων του  $SRU$   $i$  σε

σχέση με τον αριθμό των ελλείψεων του  $HFI$   $SRU$  το οποίο καθορίζει την διαθεσιμότητα των υποστηριζόμενων  $LRUs$ . Το “επιπρόσθετο εικονικό απόθεμα” μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με βάση τον τύπο:

$$\left( Z_i * \max \left\{ \text{roundup} \left( \frac{BO_{HFI}}{Z_{HFI}} \right) \right\} - BO_i \right) \Big|_{\text{if } \left( \frac{BO_i}{Z_i} \right) < \max \left\{ \text{roundup} \left( \frac{BO_i}{Z_i} \right) \mid i=1, \dots, I \right\}}$$

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη ότι, ανάλογα με την θεώρηση της δυνατότητας κανιβαλισμού ή όχι, η διαθεσιμότητα υποστήριξης  $N$  συστημάτων ορίζεται με δυο διαφορετικούς τρόπους, αμέσως παρακάτω δημιουργούμε τέσσερις στρατηγικές καθορισμού της αρχικής σύνθεσης αποθεμάτων. Οι στρατηγικές αυτές, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στην μελέτη περιπτώσεων που θα ακολουθήσει, είναι οι εξής:

**Στρατηγική 1:** Με αρχικές τιμές των αποθεμάτων  $\theta$ , επιλέγεται μέσα από επαναληπτική διαδικασία η αύξηση κατά ένα, του  $SRU$  εκείνου το οποίο προκαλεί την μέγιστη διαφοροποίηση των  $EBO$  ανά μονάδα επενδυόμενου κόστους, λαμβάνοντας υπόψη και την πληροφορία του αριθμού  $Z_i$  που το  $SRU$   $i$  συναντάται στο κάθε  $LRU$ :

$$\Delta_i := \frac{(EBO_i(S_i) - EBO_i(S_i + 1))}{c_i Z_i} \quad \forall \quad i = 1, \dots, I$$

$$k := \text{arg max} \{ \Delta_i \mid i = 1, \dots, I \}$$

**Στρατηγική 1a:** Ακολουθείται η παραπάνω διαδικασία με αρχικές τιμές:

$$S_i = \max \{ [m_i T_i - 2], 0 \}$$

Οι αρχικές αυτές τιμές, όπως αναλύεται από τον *Rustenburg (2000)*, κάνουν την συνάρτηση  $ROS$  κυρτή και φθίνουσα στο υπόλοιπο πεδίο ορισμού της. Η ανάλυση γίνεται με σκοπό να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα αυτού του “σετ” αρχικών αποθεμάτων.

**Στρατηγική 2:** Με αρχικές τιμές των αποθεμάτων  $\theta$ , επιλέγεται μέσα από επαναληπτική διαδικασία η αύξηση κατά ένα, του  $SRU$  εκείνου που μεγιστοποιεί την παρακάτω συνθήκη:

$$\Delta_i := \frac{EBO_i(S_i)}{c_i Z_i} \quad \forall \quad i = 1, \dots, I$$

$$k := \text{arg max} \{ \Delta_i \mid i = 1, \dots, I \}$$

Η επιλογή του  $SRU$  σύμφωνα με την στρατηγική αυτή, πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη το κόστος του  $SRU$ . Ωστόσο η στρατηγική αυτή θα δώσει μια σύνθεση αποθεμάτων που θα λειτουργεί πιο αποτελεσματικά στην περίπτωση που επιτρέπεται ο κανιβαλισμός, καθώς στην επιλογή της σύνθεσης λαμβάνεται υπόψη ο μεγαλύτερος αριθμός των  $EBO$  και όχι η μεγαλύτερη διαφοροποίηση των  $EBO$ .

**Στρατηγική 3:** Με αρχικές τιμές των αποθεμάτων  $\theta$ , επιλέγεται μέσα από επαναληπτική διαδικασία η αύξηση κατά ένα, του  $SRU$  εκείνου το οποίο προκαλεί την μέγιστη διαφοροποίηση των  $EBO$  ανεξάρτητα από το κόστος. Επομένως στην περίπτωση αυτή στο *Step 2* του παραπάνω αλγόριθμου θα έχουμε:

$$\Delta_i := \frac{(EBO_i(S_i) - EBO_i(S_i + 1))}{Z_i} \quad \forall i = 1, \dots, I$$

$$k := \text{arg max} \{ \Delta_i | i = 1, \dots, I \}$$

Η επιλογή του υλικού σύμφωνα με την στρατηγική αυτή, πραγματοποιείται ανεξάρτητα του κόστους του υλικού. Η στρατηγική αυτή θα δώσει μια σύνθεση αποθεμάτων που θα λειτουργεί πιο αποτελεσματικά στην περίπτωση που επιτρέπεται ο κανιβαλισμός, ενώ παράλληλα η σύνθεση που θα προκύψει, θα επιτυγχάνει ικανοποιητικά αποτελέσματα και στην περίπτωση που δεν επιτρέπεται ο κανιβαλισμός.

**Στρατηγική 4:** Με αρχικές τιμές των αποθεμάτων  $\theta$ , επιλέγεται μέσα από επαναληπτική διαδικασία η αύξηση κατά ένα, του  $SRU$  εκείνου το οποίο παρουσιάζει τον μεγαλύτερο αριθμό  $EBO$  χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το κόστος του υλικού. Στην περίπτωση αυτή, στο *Step 2* του παραπάνω αλγόριθμου θα έχουμε:

$$\Delta_i := \frac{EBO_i(S_i)}{Z_i} \quad \forall i = 1, \dots, I$$

$$k := \text{arg max} \{ \Delta_i | i = 1, \dots, I \}$$

Η στρατηγική αυτή είναι η πλέον επιθετική καθώς επικεντρώνεται στο κύριο αίτιο που καθορίζει την διαθεσιμότητα του συστήματος όταν λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα του κανιβαλισμού. Στην περίπτωση που ο αριθμός των  $EBO/Z_i$  είναι ίδιος για 2 ή περισσότερα  $SRUs$ , τότε μπορούμε να ορίσουμε επιπλέον κριτήρια επιλογής όπως π.χ την επιλογή αυτού που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ζήτηση.

#### **4.5 Σύνοψη Κεφαλαίου**

Στο Κεφάλαιο αυτό, έγινε η διατύπωση και η επίλυση του προβλήματος προσδιορισμού της βέλτιστης, σε σχέση με το επενδύσιμο κόστος, σύνθεσης αποθεμάτων επισκευασίμων *SRUs* που απαιτούνται για την υποστήριξη *N LRU*s. Για την ανάλυση του προβλήματος, χρησιμοποιήθηκε ένα πλαίσιο που είναι βασισμένο στο *METRIC*. Η χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου πλαισίου, έχει το πλεονέκτημα ότι το σύνολο των υποθέσεων που γίνονται κατά την μοντελοποίηση, δεν αποτελεί περιορισμό στην πράξη για τα επισκευάσιμα ηλεκτρονικά συστήματα που εξετάζουμε στην παρούσα εργασία.

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε είναι *single-echelon single-indenture* και αντικατοπτρίζει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η υποστήριξη των συστημάτων *Anionics*. Επιπλέον οι λύσεις που προτείνονται από την ανάλυση σε επίπεδο *LRU-SRUs* είναι ανεξάρτητες από τα τυχόν προβλήματα υποστήριξης του επίγειου εξοπλισμού που θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη στην περίπτωση που η ανάλυση γινόταν σε επίπεδο *SYSTEM-LRUs-SRUs*. Επομένως, με την μοντελοποίηση που έγινε, έχει απομονωθεί το εφοδιαστικό σύστημα από την συντήρηση και κατά συνέπεια οι λύσεις που προτείνονται είναι βέλτιστες, ανεξάρτητα από την κατάσταση του επίγειου εξοπλισμού υποστήριξης.

Το πρόβλημα που διατυπώθηκε στο Κεφάλαιο αυτό, επιλύεται με την χρησιμοποίηση της επαναληπτικής διαδικασίας της “Οριακής Ανάλυσης”. Για την επίλυσή του προβλήματος διαμορφώθηκαν τέσσερις διαφορετικές στρατηγικές, η απόδοση των οποίων θα εξεταστεί συστηματικά στο επόμενο Κεφάλαιο. Τέλος, επισημαίνεται ότι τα διαλαμβανόμενα στο Κεφάλαιο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κατά την αναθεώρηση μιας υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων καθώς ο αλγόριθμος της επαναληπτικής διαδικασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την επίλυση του προβλήματος αυτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:  
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ &  
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



## 5.0 Γενικά

Στο Κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται αξιολόγηση της υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων επτά αντιπροσωπευτικών *LRUs*, με βάση το μοντέλο που έχει διαμορφωθεί στο *Κεφάλαιο 4*. Τα κριτήρια επιλογής των *LRUs*, καθώς και τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στο *Παράρτημα Ε*. Σκοπός της ανάλυσης περιπτώσεων, πέρα από την αξιολόγηση των συνθέσεων αποθεμάτων που διατηρούνται, είναι η εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων από την εφαρμογή του μοντέλου και των 4<sup>ων</sup> στρατηγικών στα συστήματα *Anionics*.

Η εξαγωγή των στοιχείων των *case studies* έγινε με την χρησιμοποίηση του προγράμματος του *Παραρτήματος ΣΤ*. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα, υλοποιεί σε κώδικα του *Mathematica* το μοντέλο και τις στρατηγικές που έχουν αναπτυχθεί στο προηγούμενο Κεφάλαιο. Σκοπός της ανάλυσης των *case studies* είναι να γίνει μια αρχική αξιολόγηση της σύνθεσης των αποθεμάτων που θα προέκυπτε από την εφαρμογή ενός συστηματικού και συστημικού τρόπου προσέγγισης του προβλήματος της αρχικής σύνθεσης αποθεμάτων.

Ακολούθως, παρατίθενται γενικά συμπεράσματα που αφορούν την αρχική προμήθεια και διαχείριση των συστημάτων *Anionics* και κατ' επέκταση των ηλεκτρονικών συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στοιχεία που έχουν αναλυθεί

στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία. Τέλος, γίνονται προτάσεις για εκμετάλλευση της παρούσας εργασίας και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Επισημαίνεται ότι η ανάλυση και οι παρακάτω τοποθετήσεις αποτελούν προσωπική γνώμη του συντάκτη της μεταπτυχιακής εργασίας και σε καμία περίπτωση δεν αντικατοπτρίζουν την εφαρμοζόμενη τάση ή πολιτική.

### **5.1 Μελέτη Περιπτώσεων (Case Studies)**

Η σύνθεση των αποθεμάτων αξιολογείται λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία ζήτησης και το κόστος των *SRUs*. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται, είναι πραγματικά στοιχεία και έχουν εξαχθεί από τις λεγόμενες “καταστάσεις διοίκησης υλικού” και από το *FED LOG* αντίστοιχα. Επίσης λαμβάνεται υπόψη η υπάρχουσα σύνθεση αποθεμάτων, ενώ ο κύκλος επισκευής των *SRUs* έχει θεωρηθεί ότι είναι 8 μήνες για όλα τα *SRUs* (με εξαίρεση ενός *SRU* για το οποίο ο κύκλος επισκευής θεωρήθηκε 18 μήνες). Η θεώρηση αυτή κρίθηκε απαραίτητο να γίνει, διότι η εξαγωγή του μέσου κύκλου επισκευής απαιτούσε ανάλυση στοιχείων στα οποία δεν υπήρχε άμεση πρόσβαση. Τα αποτελέσματα θα είναι ακόμη πιο εντυπωσιακά εάν θεωρηθούν οι πραγματικοί χρόνοι επισκευής που κατά κανόνα είναι μικρότεροι από τους 8 μήνες που έχουν θεωρηθεί για τα *SRUs* στην παρούσα ανάλυση.

Ο τρόπος παρουσίασης της κάθε μελέτης περίπτωσης (*case study*) είναι ο εξής:

✓ Αρχικά παρουσιάζονται με μορφή ραβδοδιαγράμματος τα στοιχεία ζήτησης (αριθμός βλαβών) των *SRUs*, η υπάρχουσα σύνθεση αποθεμάτων (εφεδρικές κάρτες), καθώς και το κόστος των *SRUs*. Τα στοιχεία της ζήτησης αντιστοιχούν σε βλάβες περίπου ζετίας (32 μήνες) και η τιμή των *SRUs* δίνεται σε δολάρια (\$).

✓ Στην ίδια σελίδα παρουσιάζονται οι καμπύλες προσδιορισμού της διαθεσιμότητας συναρτήσεως του κόστους, της στρατηγικής και της θεωρούμενης ή μη δυνατότητας κανιβαλισμού. Έτσι, στο αριστερό διάγραμμα παρουσιάζονται οι καμπύλες που προκύπτουν χωρίς να έχει θεωρηθεί δυνατότητα κανιβαλισμού, ενώ στο δεξί διάγραμμα παρουσιάζονται επιπρόσθετα οι καμπύλες που προκύπτουν με την εφαρμογή της δυνατότητας κανιβαλισμού (προφανώς με την εφαρμογή του κανιβαλισμού επιτυγχάνεται υψηλότερη διαθεσιμότητα για το ίδιο κόστος). Οι καμπύλες που απεικονίζονται, προκύπτουν από το “τρέξιμο” του μοντέλου και των στρατηγικών που έχουν αναπτυχθεί στο *Κεφάλαιο 4*. Όπως έχει αναφερθεί σε

προηγούμενο Κεφάλαιο, οι καμπύλες αυτές είναι το σημαντικότερο αποτέλεσμα που εξάγεται από την εφαρμογή ενός προγράμματος βελτιστοποίησης και βοηθούν σημαντικά στην λήψη αποφάσεων.

✓ (Περίπτωση A1) Στην συνέχεια υπολογίζεται η διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται με την υπάρχουσα σύνθεση αποθεμάτων (*current situation*), λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των *LRUs* που υποστηρίζονται (*# Systems*) και με την θεώρηση ή όχι της δυνατότητας κανιβαλισμού (*Availability* και *AvailabilityCan* αντίστοιχα). Η “απόδοση” της υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων με ή χωρίς να ληφθεί υπόψη η δυνατότητα κανιβαλισμού, επισημαίνεται με το σύμβολο “⊙” στα προηγούμενα διαγράμματα.

✓ (Περίπτωση A2) Ακολούθως, θεωρείται ως διαθεσιμότητα στόχος (*Target Availability*) η διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται με την υπάρχουσα σύνθεση αποθεμάτων (χωρίς να ληφθεί υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού) και υπολογίζεται, ανάλογα με την ακολουθούμενη στρατηγική, η σύνθεση των αποθεμάτων (*Spare Allocation*) με την οποία θα επιτυγχάνονταν παρόμοια επίπεδα διαθεσιμότητας σε σχέση με αυτά που επιτυγχάνονται με την παρούσα σύνθεση. Παράλληλα υπολογίζεται και η ποσοστιαία μείωση του κόστους (*% Cost Reduction*) που θα επιτυγχάνονταν με την εφαρμογή της καθεμιάς στρατηγικής. Η ποσοστιαία μείωση εκφράζεται ως το ποσοστό της μείωσης του κόστους ως προς το κόστος της υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων.

✓ (Περίπτωση A3) Στην συνέχεια, επαναλαμβάνεται η αμέσως παραπάνω διαδικασία, θεωρώντας αυτή την φορά ως διαθεσιμότητα στόχο, την διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται με την παρούσα σύνθεση αποθεμάτων λαμβάνοντας υπόψη την δυνατότητα κανιβαλισμού (*Target Availability with Cannibalization*).

✓ (Περίπτωση B1,2 & Γ1,2) Τέλος, καθορίζεται ως διαθεσιμότητα στόχος (*Target Availability*) να έχουμε 1 ή 2 καθηλωμένα *LRUs* επί του συνόλου των *LRUs* που υποστηρίζονται (*# Systems*). Η θεώρηση αυτή έχει γίνει λαμβάνοντας υπόψη την καμπύλη του κόστους – διαθεσιμότητας, από την οποία συμπεραίνεται ότι δεν είναι “φρόνιμο” να επιδιώκουμε 100% διαθεσιμότητα, καθώς αυτή κοστίζει δυσανάλογα ως προς την επένδυση που απαιτεί. Ο στόχος λοιπόν του ενός ή δύο καθηλωμένων *LRUs*, αντιστοιχεί σε διαθεσιμότητα 98.68% και 97.36% αντίστοιχα στην περίπτωση υποστήριξης 76 συστημάτων, σε διαθεσιμότητα 97.5% και 95% στην περίπτωση υποστήριξης 40 συστημάτων και σε διαθεσιμότητα 97.22% και 94.44% στην περίπτωση υποστήριξης 36 συστημάτων. Αφού τεθεί ανάλογα με τον αριθμό των

*LRUs* που υποστηρίζονται η αντίστοιχη διαθεσιμότητα στόχος, υπολογίζεται η σύνθεση των αποθεμάτων που είναι ικανή να μας οδηγήσει στα επιδιωκόμενα επίπεδα διαθεσιμότητας χωρίς να λάβουμε υπόψη την δυνατότητα κανιβαλισμού (*Περίπτωση Β1,2*) και στην συνέχεια λαμβάνοντας υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (*Περίπτωση Γ1,2*). Και στις περιπτώσεις αυτές, υπολογίζεται το κόστος ως ποσοστό μείωσης σε σχέση με το κόστος της υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων για αναφορά.

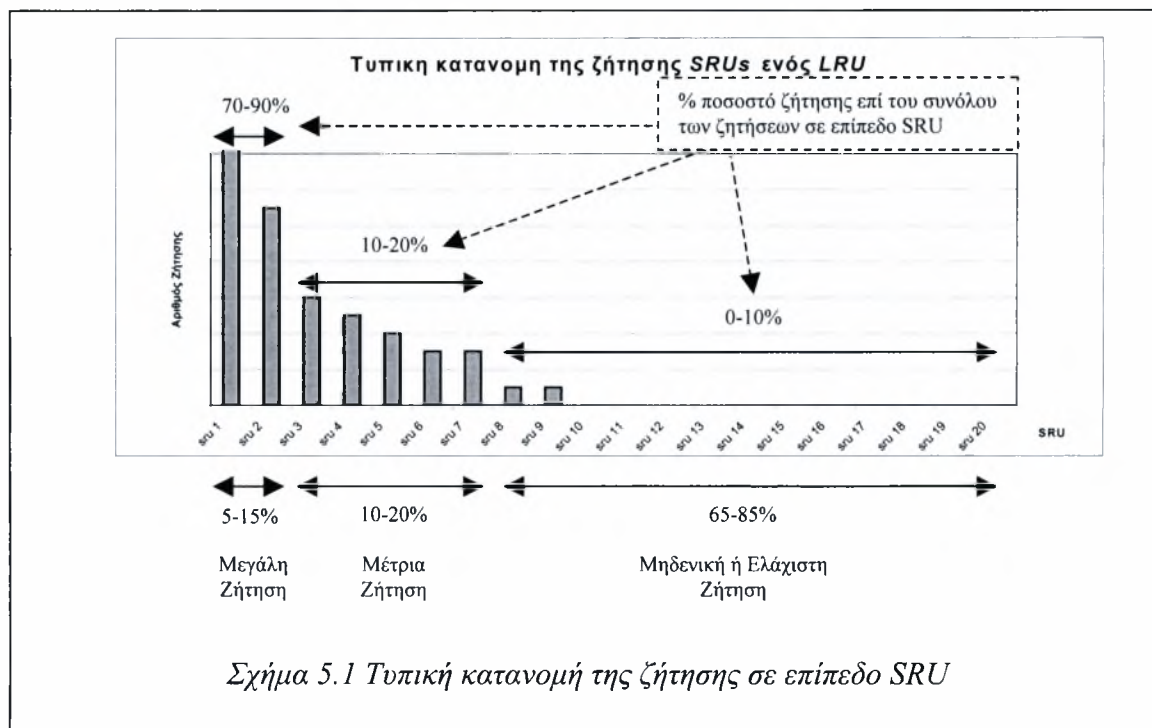
## **5.2 Συμπεράσματα από την Μελέτη Περιπτώσεων**

### ***Αξιολόγηση υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων***

Με την σύνθεση αποθεμάτων που διατηρείται, επιτυγχάνονται υψηλά επίπεδα διαθεσιμότητας, όχι όμως με τον πλέον αποδοτικό ως προς το κόστος τρόπο (*cost effective*). Η ίδια διαθεσιμότητα, ανεξάρτητα με το εάν λαμβάνεται υπόψη ή όχι η δυνατότητα κανιβαλισμού, θα μπορούσε να επιτευχθεί με πολύ μικρότερο κόστος. Τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά για όλα τα *case studies*.

Επιπλέον, υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στην διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται σε κάθε περίπτωση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στις επτά μελέτες περιπτώσεων που εξετάζουμε, η διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται κυμαίνεται από 88.10% για την περίπτωση του *LRU SINU* έως και 99.98% για την περίπτωση του *LRU DED*. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι με τις υπάρχουσες συνθέσεις αποθεμάτων δεν διασφαλίζονται παρόμοια επίπεδα διαθεσιμότητας για όλα τα *LRUs*.

Από την πρώτη αξιολόγηση των δεδομένων της ζήτησης σε σχέση με τα αποθέματα που διατηρούνται, δηλ. από τα στοιχεία που παρατίθενται με την μορφή ραβδοδιαγραμμάτων, είναι προφανές ότι η υψηλή διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται με την υπάρχουσα σύνθεση αποθεμάτων, θα μπορούσε να επιτευχθεί με πολύ χαμηλότερο κόστος εάν κατά την προμήθεια των αποθεμάτων υπήρχαν και αξιοποιούνταν ανάλογα στοιχεία ζήτησης σε επίπεδο *SRU*. Η εφαρμογή της πολιτικής κοινού επιπέδου αποθεμάτων για όλα τα *SRUs*, μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια ενστικτώδης πολιτική όταν δεν υπάρχουν ή δεν έχουν αξιολογηθεί τα διαθέσιμα δεδομένα ζήτησης. Ωστόσο, σε μια τυπική κατανομή της ζήτησης όπως αυτή που παρουσιάζεται στο *Σχήμα 5.1*, η ενστικτώδης αυτή πολιτική, προφανώς δίνει πολύ κακά αποτελέσματα.



Η διατήρηση υψηλών αποθεμάτων σε *SRUs* με πολύ χαμηλή ή και μηδενική διακίνηση, συνεισφέρει ελάχιστα ή ακόμα και καθόλου στην επίτευξη της υψηλής διαθεσιμότητας του αντίστοιχου *LRU*. Κατά συνέπεια είναι πολύ σημαντικό κατά τον καθορισμό της αρχικής σύνθεσης των αποθεμάτων να αναμένεται μια σχετική κατανομή της ζήτησης των *SRUs* όπως αυτή του Σχήματος 5.1. Προφανώς η επικέντρωση και μόνο στα υλικά που παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη ή / και μέτρια ζήτηση, θα δώσει πολύ καλά αποτελέσματα ως προς τις βέλτιστες επιλογές.

Επισημαίνεται επίσης, ότι η διαθεσιμότητα που εξάγεται από την μελέτη περιπτώσεων (*case studies*), είτε λαμβάνεται υπόψη ο κανιβαλισμός είτε όχι, είναι, λαμβάνοντας υπόψη την μοντελοποίηση του προβλήματος, η διαθεσιμότητα εφοδιαστικής υποστήριξης (*Logistics Availability*). Τα προβλήματα που προέρχονται από την συντήρηση ή / και την υποστήριξη των σταθμών ελέγχου, μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο με την διατήρηση κατάλληλων αποθεμάτων σε επίπεδο *LRUs* και όχι *SRUs*. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του γεγονότος ότι η μη επιθυμητή κατάσταση ο σταθμός ελέγχου ο οποίος χρησιμοποιείται για την απομόνωση της βλάβης ενός *LRU* σε επίπεδο *SRU* να είναι εκτός ενεργείας λόγω βλάβης, είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί μόνο με την διατήρηση κατάλληλων αποθεμάτων *LRUs*, αφού όσα *SRUs* και να είχαμε διαθέσιμα, δεν θα άλλαζαν τίποτα στην κατάσταση αυτή.

### **Δυνατότητα περιοδικής επιλεκτικής αναθεώρησης υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων**

Η απόδοση μιας υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την επιλεκτική αναθεώρηση της. Οι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 4, συγκλίνουν πολύ γρήγορα στις βέλτιστες τιμές από οποιοδήποτε σετ αρχικών τιμών. Για την επιλεκτική αύξηση αποθεμάτων, είναι απαραίτητη η συλλογή και εκμετάλλευση αξιόπιστων στοιχείων ζήτησης, κύκλου επισκευής και η αξιολόγηση οποιασδήποτε άλλης πληροφορίας (π.χ. πρόκληση βλάβης σε κάποιο *SRU* από μη φυσιολογικό αίτιο που έχει απομονωθεί). Η θεσμοθέτηση και τυποποίηση του τρόπου συλλογής και αξιοποίησης όλων των παραπάνω δεδομένων μπορεί να είναι μια επίπονη διαδικασία, παρέχει ωστόσο την δυνατότητα συνεχούς αξιολόγησης της σύνθεσης αποθεμάτων αλλά και τεκμηρίωσης οποιασδήποτε προτεινόμενης αλλαγής.

### **Σχολιασμός απόδοσης των 4<sup>ων</sup> στρατηγικών**

Όλες οι στρατηγικές δίνουν προτεινόμενες συνθέσεις αποθεμάτων με τις οποίες επιτυγχάνονται τα επιδιωκόμενα επίπεδα διαθεσιμότητας με εξίσου αποτελεσματικό ως προς το κόστος τρόπο, ιδιαίτερα στην περίπτωση που η διαθεσιμότητα είναι σε υψηλά επίπεδα. Η *strategy 1* έχει την τάση να διαμορφώσει, ανάλογα βέβαια με τα στοιχεία κόστους των *SRUs* και την ζήτηση που παρουσιάζουν, μια “ομοιόμορφη” κατανομή των αποθεμάτων. Από την άλλη πλευρά, η *strategy 4* είναι η πιο “επιθετική” καθώς εστιάζει στα *SRUs* εκείνα που αποτελούν την βασική αιτία του προβλήματος. Μέσω αυτού του τρόπου επιτυγχάνει την μέγιστη δυνατή διαθεσιμότητα στην περίπτωση του κανιβαλισμού. Τέλος, οι *strategy 2* και *3* αποτελούν μια καλή “μέση λύση” στις δυο ακραίες στρατηγικές, αφού εστιάζουν μεν στο *SRU* που θα καθορίσει την διαθεσιμότητα όταν θεωρηθεί η δυνατότητα του κανιβαλισμού, όχι όμως με την ένταση της *strategy 4*. Οι συνθέσεις αποθεμάτων που προτείνονται από τις *strategy 2* και *3* λοιπόν, δίνουν ενδιάμεσες τιμές τόσο για την διαθεσιμότητα χωρίς κανιβαλισμό όσο και για την διαθεσιμότητα με κανιβαλισμό.

### **Εκμετάλλευση αποτελεσμάτων διαθεσιμότητας με ή χωρίς κανιβαλισμό**

Κατά βάση, η διαθεσιμότητα η οποία μας ενδιαφέρει κατά την ανάλυση των συστημάτων *Anionics* με βάση το πλαίσιο που έχουμε δημιουργήσει, είναι η

διαθεσιμότητα λαμβάνοντας υπόψη την δυνατότητα κανιβαλισμού καθώς, όπως έχουμε αναφέρει, ο κανιβαλισμός είναι μια κοινή πρακτική.

Η διαθεσιμότητα χωρίς να ληφθεί υπόψη η δυνατότητα κανιβαλισμού, αποτελεί μια ένδειξη της επίδρασης που θα είχε η πραγματοποίηση της συντήρησης όχι μόνο σε ένα κεντρικό σημείο αλλά σε 2 ή περισσότερα σημεία. Η ύπαρξη περισσοτέρων του ενός επισκευαστικών κέντρων, ακόμα και όταν θεωρήσουμε ότι υπάρχει κοινή πρόσβαση στα ανταλλακτικά (*pooling*), στερεί την δυνατότητα κανιβαλισμού *SRUs* μεταξύ των καθηλωμένων *LRUs*. Βλέποντας συνολικά τις ζητήσεις *SRUs*, μπορεί να θεωρηθεί ότι η διαθεσιμότητα χωρίς να ληφθεί υπόψη η δυνατότητα κανιβαλισμού, δίνει ένα κάτω όριο της διαθεσιμότητας, λειτουργώντας ως “*worst case scenario*” όσον αφορά την κατανομή των καθηλωμένων *LRUs* ανάμεσα στα διάφορα επισκευαστικά κέντρα.

Αντιστρόφως, στην περίπτωση που έχουμε 2 ή περισσότερα επισκευαστικά κέντρα, η διαθεσιμότητα με δυνατότητα κανιβαλισμού λειτουργεί ως “*best case scenario*”, παρέχοντας ένα άνω όριο της διαθεσιμότητας που μπορεί να επιτευχθεί. Αναδεικνύει επίσης την επίπτωση στην διαθεσιμότητα που θα μπορούσε να έχει η εφαρμογή μιας ευέλικτης πολιτικής ικανοποίησης απαιτήσεων σε *SRUs* μεταξύ των επισκευαστικών κέντρων (*lateral supply*). Το κύριο στοιχείο που απαιτείται για την εφαρμογή μιας τέτοιου είδους ευέλικτης πολιτικής, είναι ο κεντρικός έλεγχος, η συνεχής παρακολούθηση και η ανάλογη κάθε φορά παρέμβαση.

### **Η προσωπική κρίση του μηχανικού**

Όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στην πρώτη και πλέον απλή μελέτη περίπτωσης του *DED LRU*, το οποίο αποτελείται από δύο μόνο *SRUs*, χωρίς συστηματικό τρόπο προσέγγισης του προβλήματος, η επιλογή της βέλτιστης λύσης δεν είναι καθόλου εύκολη υπόθεση ακόμα και σε απλές περιπτώσεις. Η προσωπική κρίση του μηχανικού είναι απαραίτητη για να αντισταθμίσει (μετά και από πιθανή εφαρμογή *what-if* σεναρίων) οποιαδήποτε πληροφορία που μπορεί να συνοδεύει ή να δικαιολογεί τις πιθανές μεταβολές της ζήτησης, η οποία προφανώς δεν είναι δυνατό να αξιοποιηθεί από το πρόγραμμα βελτιστοποίησης. Κατά συνέπεια η κρίση του μηχανικού είναι απαραίτητη. Σε καμία περίπτωση ωστόσο δεν πρέπει να βασίζεται κάποιος και να δομεί το σύστημα αξιολόγησης αποκλειστικά σε αυτή. Διαφορετικά, η κρίση του μηχανικού πρέπει να αξιοποιείται παράλληλα ή να έπεται της

συστηματικής αξιολόγησης που πραγματοποιείται με την χρησιμοποίηση ενός προγράμματος βελτιστοποίησης. Η κρίση αυτή, πρέπει να λειτουργεί ως φίλτρο που αντισταθμίζει και αξιοποιεί δεδομένα και πληροφορίες που δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν από το πρόγραμμα βελτιστοποίησης.

### **Γενικοί κανόνες**

Από τα στοιχεία των *case studies* και από την ανάλυση που προηγήθηκε, προκύπτουν κάποιοι γενικοί κανόνες που πρέπει να έχει κατά νου όποιος εμπλέκεται με την αρχική προμήθεια και διαχείριση των συστημάτων *Avionics* και κατ' επέκταση των ηλεκτρονικών συστημάτων:

✓ Η μελέτη του προβλήματος *LRU-SRUs* είναι εξ' ορισμού ένα πρόβλημα εφοδιαστικής υποστήριξης. Οι χρόνοι αξιοποίησης του *LRU* στον 2<sup>ο</sup> βαθμό συντήρησης, ο φόρτος στους σταθμούς ελέγχου (*workload*), οι βλάβες των σταθμών ελέγχου ή οι καθυλώσεις τους λόγω περιοδικής συντήρησης, είναι παράγοντες που μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο με την διατήρηση κατάλληλων αποθεμάτων *LRUs*.

✓ Ο κανιβαλισμός είναι μια συνήθης πρακτική και κατά συνέπεια πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον καθορισμό των συνθέσεων των αποθεμάτων.

✓ Η πληροφορία του αριθμού  $Z_i$  που αντιπροσωπεύει το πλήθος των *SRUs* τύπου  $i$  που συναντώνται σε ένα *LRU*, αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο όταν λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα κανιβαλισμού.

✓ Η κατανομή της ζήτησης σε επίπεδο *SRU* παρουσιάζει την τυπική κατανομή του Σχήματος 5.1.

✓ Οι 4ς στρατηγικές δίνουν συνθέσεις αποθεμάτων οι οποίες είναι πολύ κοντά στις βέλτιστες λύσεις.

✓ Οι *strategy 2* και *3* δίνουν συνθέσεις αποθεμάτων που θα αποδώσουν ικανοποιητικότερα από την *strategy 4* στην περίπτωση δημιουργίας και άλλων επισκευαστικών κέντρων.

✓ Η προσωπική κρίση του μηχανικού είναι απαραίτητη για να αντισταθμίσει παράγοντες, πληροφορία, πλεονεκτήματα της μίας ή της άλλης λύσης κτλ. Δεν αρκεί ωστόσο μόνο αυτή, αλλά πρέπει να λειτουργεί ως συμπλήρωμα στην χρήση εργαλείων καθορισμού αποφάσεων. Η προσωπική κρίση του μηχανικού μπορεί να αξιοποιηθεί με την καθιέρωση και χρησιμοποίηση κατάλληλων δεικτών μέτρησης της αποτελεσματικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας επισκευασίμων.



✓ Δεν είναι φρόνιμο να επιδιώκουμε 100% διαθεσιμότητα διότι η αύξηση της διαθεσιμότητας ανά μονάδα κόστους γίνεται ολοένα και πιο “ακριβή” όσο κινούμαστε σε υψηλότερα επίπεδα διαθεσιμότητας. Μια καλή λύση είναι να επιδιώκουμε επίπεδα διαθεσιμότητας που αντιστοιχούν σε ποσοστό εύχρηστων συστημάτων επί των συστημάτων που υποστηρίζονται. Επίσης, είναι προτιμότερο να αντισταθμίζεται η χαμηλότερη διαθεσιμότητα με αγορά επιπλέον *LRUs*, καθώς με αυτά είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν κρισιμότητες σε σταθμούς ελέγχου ενώ παράλληλα καλύπτουν απαιτήσεις σε απαραίτητα υλικά μεταστάθμευσης, πολεμικά αποθέματα κτλ. Κατά συνέπεια η ύπαρξη εφεδρικών *LRUs* παρέχει την απαιτούμενη ευελιξία.

✓ Λυχνίες ή μηχανικά μέρη υπόκεινται σε σταδιακή γήρανση και ως συνέπεια η διατήρηση μεγαλύτερων αποθεμάτων από αυτά που καθορίζονται από την χρησιμοποίηση του προγράμματος βελτιστοποίησης, είναι απαραίτητη για να αντισταθμιστεί πιθανή έξαρση της ζήτησης λόγω περιβαλλοντολογικών παραγόντων ή της παράλληλης γήρανσης των υλικών. Επιπλέον, σε περίπτωση που τα υλικά καταδικάζονται σε μεγάλο ποσοστό, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο χρόνος παράδοσης καινούργιων υλικών.

✓ Οι ίδιοι κανόνες έχουν εφαρμογή και κατά την αναθεώρηση μιας υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων, καθώς η διαδικασία είναι ανεξάρτητη από την επιλογή των αρχικών συνθέσεων και οδηγεί πολύ γρήγορα στην βέλτιστη σύνθεση.

✓ Ο διαχωρισμός εξέτασης του προβλήματος “βλάβες *LRU* – ζήτηση *SRUs*” και “βλάβες συστήματος – ζήτηση *LRUs*” για τα υλικά που εξετάζουμε στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, πρέπει να αποτελεί δύο τελείως ξεχωριστά προβλήματα, καθώς στην προσπάθεια ανάλυσης του προβλήματος “βλάβες συστήματος – ζήτηση *LRUs* – ζήτηση *SRUs*” θα έπρεπε να γίνουν τέτοιες θεωρήσεις που δεν θα έκαναν ρεαλιστική την ανάλυση. Η καθιέρωση και χρησιμοποίηση δεικτών αξιολόγησης του συνολικού προβλήματος υποστήριξης και η βελτιστοποίηση των επιμέρους τμημάτων του, εκτιμάται ότι αποτελεί τον βέλτιστο τρόπο προσέγγισης του προβλήματος της διαχείρισης επισκευασίμων υλικών. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό οι θεωρήσεις που γίνονται κατά την μοντελοποίηση, να μην είναι περιοριστικές στην πράξη, ενώ παράλληλα είναι δυνατή η αξιολόγηση και αξιοποίηση πληροφοριών – δεδομένων που είναι περισσότερο δύσκολο να ληφθούν υπόψη στην βελτιστοποίηση του συνολικού προβλήματος. Υπό την λογική αυτή, το ύψος των αποθεμάτων σε *LRUs* που απαιτείται για την επίτευξη συγκεκριμένων επιπέδων διαθεσιμότητας, μπορεί να

υπολογιστεί με την χρησιμοποίηση του ίδιου πλαισίου, αναλύοντας στην περίπτωση αυτή την ζήτηση σε *LRUs* ως συνέπεια των βλαβών του συστήματος που εξετάζεται.

### **5.3 Γενικά Συμπεράσματα**

Ο παραδοσιακός τρόπος χειρισμού των αποθεμάτων από τους στρατιωτικούς Οργανισμούς, ακόμα και σήμερα, δεν είναι αποτελεσματικός. Οι ποσότητες και το εύρος των υλικών που αποθηκεύονται αντιστοιχούν σε τεράστιο κόστος. Επιπλέον μεγάλο ποσοστό των αποθεμάτων που διατηρούνται δεν παρουσιάζουν καμία διακίνηση και το γεγονός αυτό μπορεί μόνο μερικώς να δικαιολογηθεί από την ύπαρξη στρατηγικών αποθεμάτων. Επιπλέον, δεν ακολουθείται κάποιος συστηματικός τρόπος καθορισμού της σύνθεσης των αποθεμάτων κατά την αγορά ενός οπλικού συστήματος, καθώς οι συνθέσεις των αποθεμάτων καθορίζονται με βάση τις προτεινόμενες ποσότητες από τον προμηθευτή του συστήματος και την εξάντληση του κονδυλίου που διατίθεται για τον σκοπό αυτό. Υπάρχουν επομένως σημαντικά περιθώρια βελτίωσης, κυρίως μέσω της τυποποίησης του τρόπου επιλογής των ανταλλακτικών υποστήριξης.

***Μέσω της συστημικής προσέγγισης είναι δυνατόν να επιτευχθούν τα επιδιωκόμενα επίπεδα διαθεσιμότητας κάτω από περιορισμένα κονδύλια***

Κατά τον καθορισμό της αρχικής ή την αναθεώρηση μιας σύνθεσης αποθεμάτων, είναι αναγκαία η εκμετάλλευση οποιονδήποτε στοιχείων ζήτησης - βλαβών. Η συστηματική και συστημική ανάλυση του καθορισμού μιας σύνθεσης αποθεμάτων, θα οδηγήσει σε μια ορθολογική - και πιθανότατα πολύ κοντά στην “βέλτιστη” - σύνθεση αποθεμάτων, ακόμα και όταν στηριχθεί σε προσεγγιστικά δεδομένα. Αυτό συμβαίνει λόγω του γεγονότος ότι το λάθος που προέρχεται από τα προσεγγιστικά δεδομένα είναι πολύ μικρό συγκριτικά με άλλους παράγοντες αβεβαιότητας. Επιπλέον κατά κανόνα, ακόμα και μεγάλες διακυμάνσεις των δεδομένων δεν αλλάζουν τα εξαγόμενα αποτελέσματα - συμπεράσματα - υποδείξεις. Το γεγονός αυτό βέβαια σημαίνει ότι πολύτιμα αποτελέσματα είναι δυνατό να εξαχθούν και με προσεγγιστικά δεδομένα.

Η τεχνική βελτιστοποίησης έχει χαμηλότερη ευαισθησία ως προς το κόστος και τους ρυθμούς βλαβών όταν χρησιμοποιείται η συστημική προσέγγιση, σε σχέση με την χρησιμοποίηση της τεχνικής ανά υλικό και περιοχή χρησιμοποίησής του. Για

το λόγο αυτό, η συστημική προσέγγιση κατά κανόνα θα δώσει καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με τα αποτελέσματα τεχνικών ανά υλικό, ακόμα και όταν στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιηθούν προσεγγιστικά δεδομένα ενώ στην δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιηθούν ακριβή δεδομένα (Isdal - Wååk 2001).

Μεγάλο ποσοστό των υλικών ενός ηλεκτρονικού συστήματος παρουσιάζει ελάχιστη ή και μηδενική ζήτηση. Το στοιχείο αυτό αποτελεί έναν γενικό κανόνα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον καθορισμό της αρχικής σύνθεσης: η πολιτική προσδιορισμού κοινού επιπέδου αποθεμάτων για όλα τα υλικά, η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ενστικτώδης επιλογή, αποτελεί μια κακή πολιτική και οδηγεί σε δέσμευση σημαντικού μέρους του διατιθέμενου για το σκοπό αυτό κονδυλίου, σε υλικά τα οποία συνεισφέρουν ελάχιστα ή και καθόλου στην επίτευξη της επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας. Κατά συνέπεια, κατά τον καθορισμό των συνθέσεων αποθεμάτων των ηλεκτρονικών συστημάτων θα πρέπει να έχει κάποιος κατά νου το αξίωμα του *Pareto* και να εστιάσει την προσοχή του στην επιλογή των κατάλληλων ποσοτήτων σε εκείνα τα υλικά που θα παίξουν και τον κύριο λόγο στον καθορισμό της επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας.

Επιπλέον, η δυνατότητα του κανιβαλισμού συνεισφέρει σημαντικά στην υψηλή διαθεσιμότητα των ηλεκτρονικών συστημάτων. Η επίδρασή της είναι μεγαλύτερη όταν διατηρούνται συνθέσεις αποθεμάτων χαμηλού κόστους. Επομένως ακόμα και κάτω από αυστηρά περιορισμένα κονδύλια, η επιλογή της κατάλληλης σύνθεσης, μπορεί να δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την διαθεσιμότητα των συστημάτων που υποστηρίζονται.

Τέλος, είναι δυνατό να συνεχίσουν να επιτυγχάνονται υψηλά ποσοστά διαθεσιμότητας των συστημάτων κατά την φάση χρησιμοποίησής του, ακόμα και κάτω από αυστηρούς περιορισμούς των διατιθέμενων κονδυλίων, όταν οι προτεραιότητες των υλικών που θα προωθηθούν για επισκευή καθορίζονται με βάση την συστημική προσέγγιση του πλαισίου που έχει διαμορφωθεί στο *Παράρτημα Δ*.

***Η προσπάθεια πρέπει να εστιαστεί στην αποτελεσματική διαχείριση των υλικών και όχι σε τεχνικο-οικονομικές μελέτες ανάπτυξης 3<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης***

Η μικρή ζήτηση που κατά κανόνα παρουσιάζουν τα *SRUs*, δικαιολογεί σε ελάχιστες εξαιρέσεις την ανάπτυξη 3<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης για την υποστήριξη των

συστημάτων σε εγχώριο επίπεδο. Επιπλέον, τα ηλεκτρονικά συστήματα γίνονται ολοένα και πιο αξιόπιστα αλλά παράλληλα και πιο πολύπλοκα. Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη 3<sup>ου</sup> βαθμού, παρόλο που όλοι αρέσκονται στην ιδέα των “τεχνολογικών προκλήσεων”, στην “μεταφορά τεχνογνωσίας”, στην “ανεξαρτητοποίηση από τους επισκευαστικούς φορείς του εξωτερικού” κτλ, αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα για τους ακόλουθους λόγους:

- Προϋποθέτει την ύπαρξη και συντήρηση πανάκριβου εξοπλισμού, ικανού αριθμού αποθεμάτων σε υποσυγκροτήματα των σταθμών ελέγχου που θα εξασφαλίζουν υψηλή διαθεσιμότητα του συναφούς εξοπλισμού και αποτελεσματική τεχνική υποστήριξη.
- Δεν ανεξαρτητοποιεί ουσιαστικά την συντήρηση από τους φορείς του εξωτερικού καθώς μεγάλο πλήθος των μικρο-υλικών (*Depot Replaceable Units - DRUs*) που χρησιμοποιούνται, είναι ειδικά σχεδιασμένα υβριδικά κυκλώματα εξειδικευμένων εφαρμογών. Κατά συνέπεια, εξάρτηση εξακολουθεί να υφίσταται λόγω του αποκλειστικού σχεδιαστή ή / και προμηθευτή του μικρο-υλικού.
- Απαιτεί σύνθετους μηχανισμούς για την εξάλειψη των λαθών που εντοπίζονται και την διαρκή βελτίωση των διαδικασιών, προγραμμάτων ελέγχου κτλ.
- Απαιτεί στελέχωση με υψηλά καταρτισμένο προσωπικό, εκπαίδευση σε ειδικές δεξιότητες και ύπαρξη μηχανισμών εξασφάλισης της μετάδοσης της τεχνογνωσίας.
- Οποιαδήποτε αλλαγή στην διαμόρφωση του υλικού (*configuration*) είναι δυνατό να οδηγήσει σε μείωση της επισκευαστικής ικανότητας και σε αχρηστία κάποιου εξοπλισμού.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω στοιχεία, γίνεται περισσότερο προφανές ότι μέσα από την αποτελεσματική διαχείριση των υλικών είναι δυνατόν να εξασφαλιστούν περισσότερα οφέλη και κατά συνέπεια εκεί πρέπει να εστιαστεί η προσπάθεια.

### **Η μελέτη των υλικών στον κύκλο ζωής τους είναι δυνατόν να φανερώσει νέες δυνατότητες**

Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών συστημάτων, έχει ως αποτέλεσμα να αναπτύσσονται συστήματα ολοένα και πιο αξιόπιστα, αλλά παράλληλα και σημαντικά οικονομικότερα. Κατά συνέπεια είναι δυνατό η ολική ή

σταδιακή αντικατάσταση κάποιων συστημάτων, να έχει ως αποτέλεσμα οικονομικά οφέλη. Για τον προσδιορισμό των οικονομικών οφελών, είναι απαραίτητη η εκπόνηση τεχνικο-οικονομικών μελετών.

Βασικό στοιχείο σε μελέτες αυτού του είδους, είναι ο προσδιορισμός της απόσβεσης του κόστους της επένδυσης στο κύκλο ζωής του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος που συνεπάγεται η υποστήριξη των συστημάτων που αντικαθίστανται. Η νέα τάση που παρουσιάζεται, είναι η αντικατάσταση στρατιωτικών προδιαγραφών (*military standards*) υλικών από υλικά που συναντώνται στο εμπόριο - υλικά *COTS (Commercial Off the Shelf)*. Προγράμματα όπως το *Falcon Flex* για τους χρήστες του *F-16*, έχουν ως σκοπό τον προσδιορισμό εκείνων των υλικών που κάνουν ακριβή ή μη αποτελεσματική την υποστήριξη των συστημάτων. Μέσα από τέτοια προγράμματα, επιδιώκεται με την εκμετάλλευση των νέων δυνατοτήτων, η εξεύρεση λύσεων για την:

- Μείωση του κόστους των επισκευών.
- Αύξηση της αξιοπιστίας και της διαθεσιμότητας των συστημάτων.
- Μείωση των προβλημάτων υποστήριξης των επιμέρους υλικών (*DMS – Diminished Manufacturing Source Problems*).

### ***Η καθιέρωση και η αξιοποίηση κατάλληλων δεικτών μέτρησης της εφοδιαστικής αλυσίδας επισκευασίμων μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στον εντοπισμό προβλημάτων***

Εμπλουτίζοντας τον ορισμό που δώσαμε στο *Κεφάλαιο 1*, μπορούμε να ορίσουμε την εφοδιαστική αλυσίδα επισκευασίμου υλικού, ως την αλυσίδα των διαδικασιών, δραστηριοτήτων και υπηρεσιών που ξεκινούν από την στιγμή που κάποιο υλικό αφαιρείται από το συγκρότημα στο οποίο ανήκει και τελειώνουν με την ικανοποίηση της αντίστοιχης αίτησης που έχει υποβληθεί και την επιστροφή του υλικού στην αποθήκη των ετοιμών για χρήση υλικών. Η αλυσίδα αυτή περιλαμβάνει την επισκευαστική δυνατότητα σε επίπεδο Μονάδας, την μεταφορά μέσω του Εφοδιασμού στο *Depot* ή σε άλλο επισκευαστικό κέντρο, τις ενέργειες επισκευής που πραγματοποιούνται και τελικά την επιστροφή του υλικού στην αποθήκη των ετοιμών προς χρήση υλικών (*AFPD 20-3, 1 Jun 1998*).

Ο καθορισμός των κατάλληλων δεικτών μέτρησης αποτελεί ένα βασικό στοιχείο για την παρακολούθηση και εντοπισμό-απομόνωση προβλημάτων που

παρακωλύουν την ομαλή ροή στην εφοδιαστική αλυσίδα επισκευασίμων. Οι δείκτες αυτοί περιλαμβάνουν (AFPD 20-3, 1 Jun 1998):

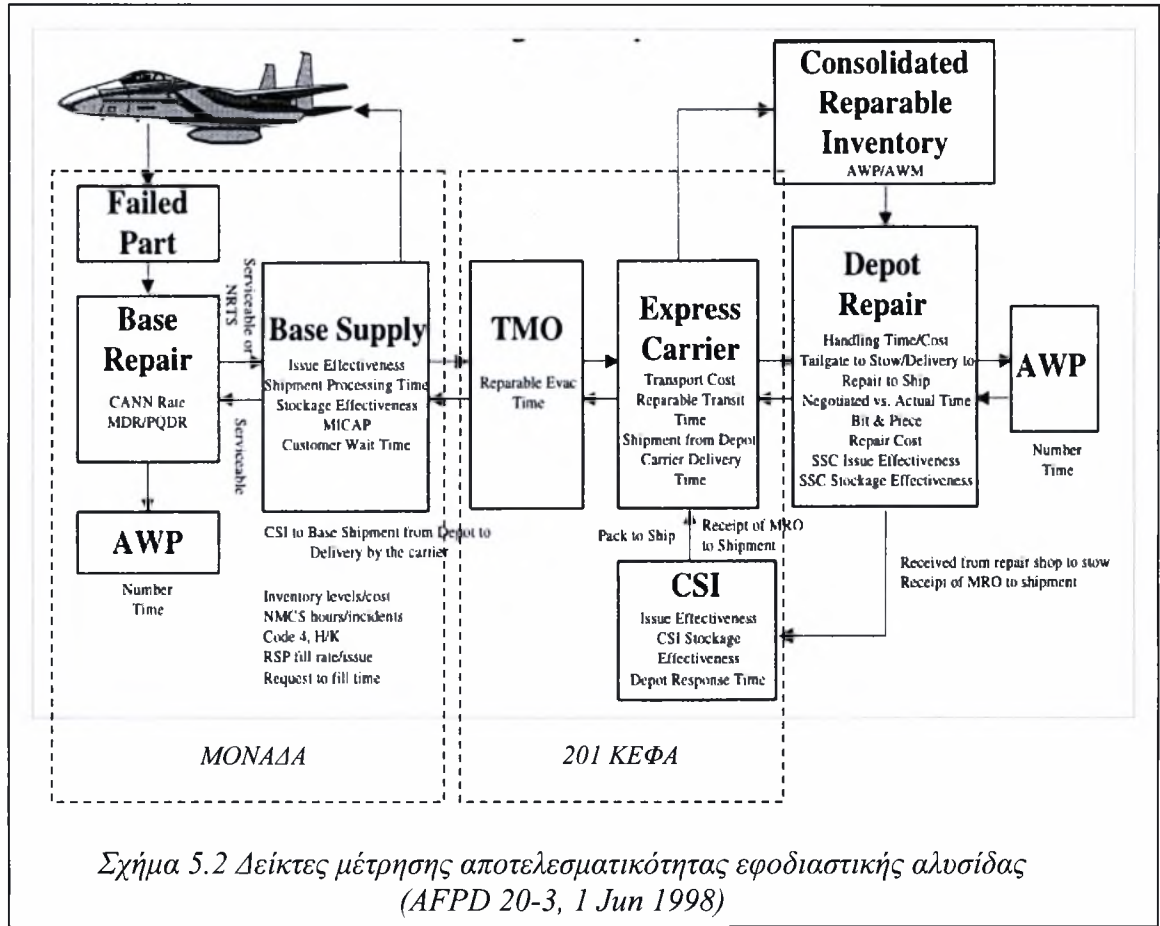
- Χρόνους ροής μεταξύ διακριτών σημείων της εφοδιαστικής αλυσίδας (*Pipeline segment flow times*)
- Μέτρηση των αποθεμάτων σύμφωνα π.χ. με την κατάσταση των υλικών που διατηρούνται (*Stock measure - by condition code, etc.*)
- Κόστη διαχείρισης, μεταφοράς κτλ. (*Costs - handling, transportation, etc.*)
- Ποσοστά κάλυψης επί των προβλεπομένων υλικών (*Rate measures - RSP fill, issue effectiveness, etc.*)

Οι δείκτες αυτοί, μπορεί να διακριθούν σε ποσοτικούς (*quantitative*) ή ποιοτικούς (*qualitative*), ενώ ανάλογα με το εάν χρησιμοποιούν τις μετρήσεις με σκοπό να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα σε ένα χρονικό διάστημα του παρελθόντος ή να προβλέψουν την μελλοντική απόδοση, διακρίνονται σε δείκτες υστέρησης (*lagging metrics*) και δείκτες πρόβλεψης (*leading metrics*) αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση, αυτό που έχει σημασία είναι η αξιοποίηση των στοιχείων, με σκοπό τον εντοπισμό των περιορισμών που παρακωλύουν την ομαλή ροή της εφοδιαστικής αλυσίδας, έτσι ώστε στην συνέχεια να γίνουν οι αναγκαίες ενέργειες για την μείωση ή εξάλειψή τους. Εξάλλου, σύμφωνα με την θεωρία των περιορισμών (*Theory Of Constrains*), είναι δυνατή η βελτίωση της απόδοσης μιας εφοδιαστικής αλυσίδας επισκευασίμων, μέσα από μια συνεχή επαναληπτική διαδικασία εντοπισμού και εξάλειψης αυτών των περιορισμών (*Chakravorty, Satya, Verhoeven 1996*).

Οι μετρήσεις και οι μέθοδοι, “ωριμάζουν” και προσαρμόζονται παράλληλα με την χρησιμοποίησή τους, ώστε να ανταποκρίνονται στην αποτελεσματικότερη παρακολούθηση της συγκεκριμένης εφοδιαστικής αλυσίδας, λαμβάνοντας υπόψη τις τυχόν ιδιαιτερότητες που μπορεί αυτή να παρουσιάζει, ανάλογα με τις εφαρμοζόμενες διαδικασίες.

Το Σχήμα 5.2 παρουσιάζει την ροή μιας τυπικής εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και τους δείκτες οι οποίοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε σημείο της. Σύμφωνα με την δομή που ακολουθείται από την Π.Α., το 201 ΚΕΦΑ (Κέντρο Εφοδιασμού Αεροπορίας) υποστηρίζει εφοδιαστικά τις απαιτήσεις των Μονάδων οι οποίες κατά κανόνα υποστηρίζουν 2 επίπεδα συντήρησης. Οι δείκτες οι οποίοι θα μπορούσαν να καθιερωθούν για τα επισκευάσιμα υλικά και ειδικότερα για τα υλικά

Avionics, τόσο σε επίπεδο Μονάδας, όσο και σε επίπεδο του 201 ΚΕΦΑ, αναφέρονται επιγραμματικά αμέσως παρακάτω.



⇒ Δείκτες σε επίπεδο Μονάδας

Οι δείκτες σε επίπεδο Μονάδας πρέπει να έχουν ως σκοπό την παρακολούθηση και απομόνωση των παραγόντων εκείνων που δημιουργούν προβλήματα στην απρόσκοπτη εκτέλεση του έργου της συντήρησης.

Η ζήτηση των ηλεκτρονικών συστημάτων είναι κατά κανόνα σταθερή. Η παρακολούθηση των τάσεων της ζήτησης ωστόσο, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που μπορεί να χρησιμοποιείται με σκοπό να αξιολογείται η αποτελεσματικότητα της υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων, η πιθανότητα η Μονάδα στο τέλος του χρονικού ορίζοντα που μελετάται να επιτύχει τον επιδιωκόμενο δείκτη διαθεσιμότητας κ.ά. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται και για τον εντοπισμό - αξιολόγηση των παραγόντων στους οποίους οφείλεται η μη αναμενόμενη ζήτηση.

Αύξηση της ζήτησης μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες όπως:

- ✓ Ύπαρξη περιοδικού προβλήματος (*intermittent failure*) το οποίο δεν είναι δυνατόν να απομονωθεί σε περιβάλλον εργαστηρίου και “επιβαρύνει” τον ρυθμό ζήτησης του υλικού.

- ✓ Εσφαλμένη διάγνωση από τον σταθμό ελέγχου λόγω ύπαρξης προβλήματος στο πρόγραμμα ελέγχου που χρησιμοποιείται, προβλημάτων με την διακρίβωση των συσκευών κτλ.

- ✓ Κακό χειρισμό του υλικού, μη τήρηση των προβλεπόμενων διαδικασιών κτλ.

Δείκτες που είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται σε επίπεδο Μονάδας, είναι οι ακόλουθοι:

- *AWP (Number – Time)*: υποδεικνύει τον μέσο αριθμό και χρόνο των καθηλωμένων *LRUs* λόγω αναμονής υλικών (*SRUs*).

- *CANN Rate*: είναι ο αριθμός των αποψιλώσεων που έχουν γίνει σε επίπεδο Πολεμικής Μοίρας (δηλ. αεροσκάφους) εξαιτίας του γεγονότος ότι ο Εφοδιασμός δεν διέθετε όταν του ζητήθηκε έτοιμο προς χρήση *LRU*.

- *CND (Cannot Duplicate Failure) Rate*: είναι ο αριθμός των φορών που κάποιο *LRU* εισήλθε με βλάβη στο συνεργείο 2<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης, χωρίς ωστόσο να έχει γίνει δυνατή η απομόνωση της βλάβης σε επίπεδο *SRU*. Μια τέτοια κατάσταση είναι δυνατό να συμβαίνει στην περίπτωση που το *LRU* έχει αφαιρεθεί από τον 1<sup>ο</sup> βαθμό συντήρησης προληπτικά ή λόγω εσφαλμένης απομόνωσης της βλάβης, υφίσταται βλάβη η οποία παρουσιάζεται στιγμιαία (*intermittent failure*) και δεν είναι δυνατό να απομονωθεί στον 2<sup>ο</sup> βαθμό συντήρησης κ.ά.

- *PQDR (Product Quality Deficiency Report)*: είναι ο αριθμός των ποιοτικών αναφορών που έχουν γίνει για την μη συμμόρφωση του υλικού (*LRU* ή *SRU*) με τις προδιαγραφές (*specifications*) ή την διαμόρφωση (*configuration*) του συστήματος.

- *Issue effectiveness*: είναι το ποσοστό των φορών που ο Εφοδιασμός διέθετε σε απόθεμα το υλικό που του ζητήθηκε.

- *Stockage effectiveness*: είναι το ποσοστό των φορών που ο Εφοδιασμός διέθετε απόθεμα σε προκαθορισμένα υλικά για τα οποία έχει αποφασιστεί η διατήρηση αποθέματος.



- *Shipment Processing Time*: είναι ο μέσος χρόνος που μεσολαβεί μέχρι την αποστολή του υλικού εκτός Μονάδας.
- *NMCS (Not Mission Capable due to Supply) hours/incidents*: υποδηλώνει τον αριθμό των μη ετοιμοπόλεμων αεροσκαφών λόγω έλλειψης υλικών, υπό την μορφή του μέσου χρόνου ανά περιστατικό.
- *RSP (Readiness Spares Packages) fill rates*: υποδηλώνει την διαθεσιμότητα των πολεμικών αποθεμάτων.
- *Request to fill time*: είναι ο μέσος χρόνος ικανοποίησης των αιτήσεων.

### ⇒ Δείκτες σε επίπεδο 201 ΚΕΦΑ

Οι δείκτες στο επίπεδο του Εφοδιαστικού Κέντρου πρέπει να έχουν ως σκοπό την παρακολούθηση και έλεγχο της ροής των επισκευασίμων. Τέτοιοι δείκτες μπορεί να είναι οι ακόλουθοι:

- *Reparable evacuation Time, Reparable Transit Time, Shipment from Depot*: είναι οι χρόνοι αποστολής των SRUs από την Μονάδα μέσω του 201 ΚΕΦΑ για επισκευή σε φορείς του εξωτερικού. Στους χρόνους αυτούς υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης με την χρησιμοποίηση ταχύτερων μέσων μεταφοράς.
- *Transport Cost*: είναι το κόστος που αντιστοιχεί στην επιλογή του μέσου μεταφοράς που χρησιμοποιείται.
- *Depot Response Time*: είναι ο μέσος χρόνος επισκευής του υλικού από την στιγμή της παραλαβής του από το Depot.

## **5.4 Προτάσεις για Εκμετάλλευση της Μεταπτυχιακής**

### **Εργασίας - Προτάσεις για περαιτέρω Έρευνα**

#### ***Προτάσεις για εκμετάλλευση της μεταπτυχιακής εργασίας***

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί άμεσα στην πράξη για την αναθεώρηση των υπαρχόντων συνθέσεων αποθεμάτων σε επίπεδο SRUs. Για το σκοπό αυτό, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ακριβή στοιχεία όσον αφορά τον κύκλο επισκευής των υλικών. Επίσης, το ίδιο πλαίσιο ανάπτυξης προσαρμοσμένο στην επίλυση του προβλήματος “βλάβες συστήματος – ζήτηση LRUs”, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αναθεώρηση των υπαρχόντων συνθέσεων αποθεμάτων σε επίπεδο LRUs.

### Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

➤ Η ανάλυση που έγινε στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, βασίστηκε στο μοντέλο *METRIC*. Ο προσδιορισμός της διαθεσιμότητας με και χωρίς την δυνατότητα κανιβαλισμού δόθηκε με προσεγγιστικές λύσεις. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι οι προσεγγίσεις αυτές δουλεύουν πολύ ικανοποιητικά στην πράξη, ιδιαίτερα όταν η διαθεσιμότητα κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα. Ένα ενδιαφέρον πεδίο για περαιτέρω έρευνα, θα ήταν η πιστοποίηση με την χρησιμοποίηση προγραμμάτων προσομοίωσης όπως το *Arena*, ότι τα προσεγγιστικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τους τύπους (4.10) και (4.11) είναι πολύ κοντά στα πραγματικά. Επίσης ενδιαφέρον θα ήταν να ερευνηθεί κατά πόσο είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθεί η διαφοροποίηση των πραγματικών από τα προσεγγιστικά αποτελέσματα ανάλογα με τα επίπεδα της διαθεσιμότητας που επιτυγχάνονται.

➤ Ο σκοπός των μαθηματικών μοντέλων που κρύβονται πίσω από οποιαδήποτε πρόγραμμα βελτιστοποίησης, είναι να περιγράψουν με μαθηματικές σχέσεις αυτό που συμβαίνει στον πραγματικό κόσμο. Από τον τρόπο που μεταφράζεται με βάση το μοντέλο ο πραγματικός κόσμος, υπεισέρχεται κάποιο σφάλμα στα αποτελέσματα. Ωστόσο, το λάθος που εμπεριέχεται στα αποτελέσματα λόγω της μοντελοποίησης, είναι πολύ μικρό σε σχέση με άλλες πηγές αβεβαιότητας. Για τον λόγο αυτό, είναι αμφισβητούμενο να επενδύονται χρήματα και προσπάθεια στην μείωση των λαθών που μπορεί να εμπεριέχει το μοντέλο, θεωρώντας μια διαδικασία ζήτησης άλλη από την *Poisson*. Ωστόσο, θα ήταν ενδιαφέρον να μελετήσει κάποιος την διαφοροποίηση που προκύπτει στα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας την αρνητική διωνυμική κατανομή (*negative binomial distribution*), η οποία αντιπροσωπεύει με πιο ακριβή τρόπο την διαδικασία ζητήσεων.

➤ Η εκπόνηση σεναρίων για την μελέτη της επίδρασης που έχει η διακύμανση της ζήτησης ή του κύκλου επισκευής των επισκευασίμων υλικών στην διαθεσιμότητα του συστήματος και η εξαγωγή συμπερασμάτων, αποτελεί ένα άλλο ενδιαφέρον πεδίο.

➤ Η προσαρμογή στα δεδομένα της Π.Α., η θεσμοθέτηση, ολοκλήρωση και τυποποίηση δεικτών μέτρησης της συντήρησης και της αποτελεσματικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και του τρόπου αξιολόγησης των δεικτών αυτών, εκτιμάται ότι μπορεί να συνεισφέρει στον εντοπισμό προβλημάτων και στην βελτιστοποίηση των σχετικών διαδικασιών.

➤ Το σύστημα εφοδιαστικής υποστήριξης είναι δομημένο στην θεώρηση ότι οι ποσότητες μπορούν να αναπληρωθούν και να διατηρούνται στα προκαθορισμένα επίπεδα, ανεξάρτητα από τα διατιθέμενα κονδύλια. Ο μόνος τρόπος καθορισμού προτεραιοτήτων που ακολουθείται από την Π.Α. είναι ο χαρακτηρισμός με διαφορετική προτεραιότητα των αιτήσεων ανάλογα με το εάν η έλλειψη του υλικού καθλώνει το αμέσως μεγαλύτερο συγκρότημα (*NHA - Next Higher Assembly*) ή υποβάλλεται για την αναπλήρωση του αποθέματος. Η μελέτη και θεσμοθέτηση μιας συστημικής προσέγγισης στον καθορισμό προτεραιοτήτων στην διακίνηση των επισκευασίμων κάτω από αυστηρούς περιορισμούς των διατιθέμενων για τον σκοπό αυτό κονδυλίων, σύμφωνα με τα διαλαμβανόμενα στο *Παράρτημα Δ*, μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας των συστημάτων.

### 5.5 Επίλογος

Σε πολλούς Οργανισμούς, όπως αναφέρεται εύστοχα από τους *Isdal – Wååk (2000)*, υπάρχει μια κατάσταση ανησυχίας και σύγχυσης σχετικά με το εάν έχουν επενδυθεί πολλά χρήματα σε εφεδρικά ανταλλακτικά και στο σύστημα που τα διαχειρίζεται. Παράπονα του τύπου “σε καμία περίπτωση δεν υπάρχουν διαθέσιμα τα αποθέματα που θα θέλαμε”, συχνά έρχονται σε αντίθεση με το “έχουμε πολλά αποθέματα σε υλικά που δεν έχουν παρουσιάσει καμία ζήτηση για μεγάλο χρονικό διάστημα”. Επιπλέον, άλλα σχόλια του τύπου “είναι γελοίο να δεσμεύσουμε τόσο μεγάλο κεφάλαιο σε ανταλλακτικά”, είναι δυνατόν μετά από σύντομο χρονικό διάστημα λειτουργίας των συστημάτων, να ακολουθούνται από παράπονα του τύπου “δεν υπάρχουν διαθέσιμα ανταλλακτικά”.

Το πρόβλημα της προμήθειας των κατάλληλων αποθεμάτων που θα εξασφαλίζουν την λειτουργία ενός συστήματος σε προκαθορισμένα επίπεδα διαθεσιμότητας, είναι ένα σύνθετο πρόβλημα. Για το λόγο αυτό, η λειτουργία ενός συστήματος σε προκαθορισμένα επίπεδα διαθεσιμότητας, μπορεί να διασφαλιστεί μόνο μέσα από έναν συστηματικό τρόπο προσέγγισης του προβλήματος. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία παρέχεται ένα πλαίσιο συστηματικής μελέτης του προβλήματος υποστήριξης των συστημάτων *Avionics* σε ένα επίπεδο υποστήριξης και σε ένα επίπεδο του υλικού (*single echelon – single indenture*). Η ανάλυση στην απλή αυτή δομή, παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι ανεξαρτητοποιεί το πρόβλημα από πολλές άλλες παραμέτρους που θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη στην περίπτωση που

χρησιμοποιούνταν μια πιο σύνθετη δομή, η οποία θα οδηγούσε και σε περισσότερες παραδοχές που δεν θα ήταν τελικά αποδεκτές στην πράξη. Επιπλέον η αλλαγή της δομής υποστήριξης από τα 3 σε 2 επίπεδα υποστήριξης που επικρατεί σαν σύγχρονη τάση, ενισχύει την χρησιμότητα της ανάλυσης που πραγματοποιείται.

Το μοντέλο και οι 4ς διαφορετικές στρατηγικές που αναπτύχθηκαν, παρέχουν ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκμετάλλευση των δεδομένων και τον προσδιορισμό της βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων ή την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων. Τα αποτελέσματα από την μελέτη επτά αντιπροσωπευτικών περιπτώσεων (*case studies*), φανέρωσαν ότι η ίδια διαθεσιμότητα των συστημάτων θα μπορούσε να είχε επιτευχθεί με εντυπωσιακά χαμηλότερου κόστους συνθέσεις αποθεμάτων.

Τα ηλεκτρονικά συστήματα γίνονται ολοένα πιο αξιόπιστα, αλλά παράλληλα ολοένα και πιο πολύπλοκα. Η ανάπτυξη 3<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης για τα συστήματα αυτά, απαιτεί την αγορά και υποστήριξη ενός υψηλότερου κόστους εξοπλισμού και προϋποθέτει την απόκτηση ειδικών δεξιοτήτων. Το κόστος αυτό είναι απαγορευτικό στην περίπτωση που τα συστήματα που υποστηρίζονται περιορίζονται στα πλαίσια μιας χώρας. Κατά συνέπεια ο προσανατολισμός στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των υλικών αποτελεί μονόδρομο για την Π.Α.. Η εκμετάλλευση πακέτων προγραμμάτων, η βελτίωση της παρακολούθησης των υλικών, η καθιέρωση και η αξιοποίηση δεικτών μέτρησης της αλυσίδας της εφοδιαστικής υποστήριξης και κυρίως η απόκτηση “συστημικού προσανατολισμού” είτε πρόκειται για αρχική προμήθεια, είτε για διαχείριση των υλικών, μπορεί να εξασφαλίσει τους επιδιωκόμενους δείκτες διαθεσιμότητας με πολύ μικρότερο κόστος.



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❑ Abell J. B. and others (1992) *DRIVE (Distribution and Repair in Variable Environments): Enhancing the Responsiveness of Depot Repair*, RAND Report R3888AF
- ❑ Alfredsson Patrik, Wååk Olof (1999) *Constant vs. Non-Constant Failure Rates: Some Misconceptions with respect to Practical Applications*, Systecon AB
- ❑ Alfredsson Patrik Dr –Wååk Olof Prof (2000) *Flexible Supply - the Next Step in the Evolution of Sparing Strategies*, Systecon AB
- ❑ Alger I. John (1985) *Definitions and Doctrine of the Military Art, Past and Present*, Wayne, New Jersey: Avery Publishing Group Inc
- ❑ Arostegui, Marvin A. Major (1998) *AFIT/EN Course Material, LGM 628, Repairable Inventory Management*, Air Force Institute of Technology, nd
- ❑ Blanchard S. Benjamin (1992) *Logistics Engineering and Management*, Fourth Edition. Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall
- ❑ Chakravorty, Satya S. and Verhoeven Penelope R. (June 1996) *Learning the Theory of Constraints With a Simulation Game*. Simulation & Gaming
- ❑ Clark J. (1981) *Experiences with multi-indentured, multi-echelon inventory model*, in L. B. Schwarz, editor, *Multi-Level Production/Inventory Control systems: Theory and Practice* 16 North Holland, Amsterdam
- ❑ Demmy W. S. - Pressuti V. J. (1981) *Multi-echelon inventory systems in the Air Force logistics command*, in L. B. Schwarz, editor, *Multi-Level Production/Inventory Control systems: Theory and Practice* 16 North Holland, Amsterdam
- ❑ Graves S. C. (1985) *A multi-echelon inventory model for a repairable item with one-for-one replenishment*, Management Science 31 Σελ. 1247-1256
- ❑ Jones J. V. (1994) *Integrated Logistics Support Handbook*, McGraw-Hill, New York, 2<sup>nd</sup> edition
- ❑ Isdal Civ Ing Tor G - Wååk Olof Prof (2000) *Repair or Replenish ? - Maintain or Invest ? Cost/effective spares inventory control, spares procurement and maintenance in a dynamic real world*
- ❑ Isdal Tor G. M.Sc - Wååk Olof Prof (2001) *“Garbage in – Garbage out” (A word of wisdom or a bad excuse)*, Systecon AB

- Kaplan A. J. (1980) *Mathematics of SESAME Model Stockage Models*, AMSAA Army Inventory Research Office, Philadelphia, PA
- Lieb Robert C. (1994) *Transportation*, Fourth Edition. Houston TX: Dame Publications Inc.
- Miller L. W. and J. B. Abell (1992) *DRIVE (Distribution and Repair in Variable Environments): Design and Operation of the Ogden Prototype*, RAND Report R4158AF
- Muckstadt J. (1973) *A model for a multi-item, multi-echelon, multi-indenture inventory system*, Management Science 20 Σελ. 472-481
- Palm C. (1938) *Analysis of the Erlang traffic formula for busy-signal arrangements*, Ericsson Technics
- Rustenburg W. J. (2000) *A System Approach to Budget-Constrained Spare Parts Management*, thesis, BETA Research Institute
- Sherbrooke C. C. (1968) *A multi-echelon technique for recoverable item control*, Operations Research 16 Σελ. 122-141
- Sherbrooke C. C. (1986) *VARI-METRIC: Improved approximations for multi-indenture, multi-echelon availability models*, Operation Research 34 Σελ. 311-319
- Sherbrooke C. C. (1992a) *Optimal Inventory Modeling of systems: Multi-Echelon Techniques*, Wiley, New York
- Sherbrooke C. C. (1992b) *Multi-echelon systems with lateral supply*, Naval Research Logistics
- Slay F.M. (1984) *VARI-METRIC: An approach to modeling multi-echelon resupply when thw demand process is poisson with a gamma prior*, Technical Report AF301-3, Logistics Management Institute, Washington D.C.
- Sterling C. John *VMetric 2.1 Optimum Sparing Model KEY ADVANTAGES & FEATURES, And Comparison of Its Spares and Analyses Features With Other Spares Models* (<http://www.nissd.com/sdes/papers/tfd&vmet.htm>)
- Stoop M.M. (1993) *Het FEL/GLOW reservedelenmodel versie 1.0*. Technical Report FEL-93-A332, FEL-TNO in Dutcht
- Verrijdt J.H.C.M. (1997) *Design and Control of Service Part Distribution Systems*, PhD thesis, Eindhoven University of Technology

- Wååk Olof Prof (1999) *Spares Optimization A Key to Supportability Analysis*, 12th Annual DOD Government/Industry Supportability Engineering Exchange Symposium Huntsville, AL, USA
- Wååk Olof Prof (2000) *Cut Maintenance and Logistics Support Cost with 50%. A Fantasy or a Feasibility?*
- Wååk Olof Prof - Sturgess Phil (2000) *Evaluating cost effectiveness and risk of third party support*, Defence Logistics Support Conference 11th and 12th December
- Μπακούρος Ι. Λ. Επ. Καθ. (1998) *Θεωρία Αξιοπιστίας - Πανεπιστημιακές Παραδόσεις*, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- *On-line Webster's New Collegiate Dictionary* (<http://www.m-w.com/cgi-bin/dictionary>)



### **Διαταγές USAF**

- Air Force Materiel Command (AFMC) Instruction 21-129 (9 Mar 2001) *Depot Maintenance Management, Depot Repair Enhancement Process (DREP)*
- Air Force Policy Directive (AFPD) 20-3 (1 June 1998) *Air Force Weapon System Repairable Asset Management*
- *Doctrine for Logistic Support of Joint Operations Joint Publication 4-0* (6 Apr 2000)
- *USAF Air Force Doctrine Document 2-4* (11 May 94)
- *USAF Air Force Doctrine Document 2-4* (22 Nov 99)



### **Άρθρα από το περιοδικό Air Force Journal of Logistics**

- Clarke W. Ronald (1997) *EXPRESS: An Overview and Application for Redistribution Decicion Support*, Air Force Journal of Logistics, Vol XXI, No 3&4
- Hays Stephen Dr., Russell Phd (2000) *Growing World of Logistics*, Air Force Journal of Logistics, Vol XXIV, No 4
- Larvick A. Major (2000) *USAF Wartime Spares*, Air Force Journal of Logistics, Vol XXIV, No 3
- Mason Robert I. Captain (1998) *USAF Stealth Fighter Avionics: 2LM Versus 3LM*, Air Force Journal of Logistics, Vol XXII, No 3
- Russell, Hays Stephen Dr. (1994) *Military Logistics and Business Logistics: Reexamining the Dichotomy* Air Force Journal of Logistics

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: LOGISTICS

### A.0 Γενικά Στοιχεία περί Logistics

Το 1942 ο *Fleet Admiral E.J. King* είχε δηλώσει:

*“I don’t know what the hell this ‘logistics’ is that Marshall is always talking about, but I want some of it”*

Σήμερα, η χρησιμότητα του *logistics* είναι περισσότερο προφανής από το 1942, ωστόσο η έννοια έχει τόσο μεγάλο εύρος που δημιουργεί δυσκολίες στον σαφή ορισμό της. Συχνά αναφέρεται ως:

- Διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (*supply chain management*),
- Ολοκληρωμένη διαχείριση πόρων (*integrated resource management*) κ.ά.

Παράλληλα, πολύ συχνά στην έννοια αποδίδονται μόνο κάποιες από τις επιμέρους λειτουργίες της, όπως εφοδιασμός, μεταφορές ή συντήρηση.

Η αγγλική λέξη *logistics*, φαίνεται να έχει προκύψει από την ελληνική λέξη “λογιστικός”, η οποία υποδηλώνει την λογική και την εξοικείωση με τους υπολογισμούς, και από την γαλλική λέξη “*logistique*” η ρίζα της οποίας είναι η λέξη “*loger*” που σημαίνει παρέχω κατάλυμα σε στρατιώτες (*Hays - Russell 2000*). Η λέξη *logistics* χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην στρατιωτική ορολογία τον 18<sup>ο</sup> αιώνα. Ο “*maréchal des logis*” ήταν ο αξιωματικός εκείνος, ο οποίος ήταν υπεύθυνος για την στρατοπέδευση και την δημιουργία καταλυμάτων. Όταν αργότερα ο πόλεμος με την χρησιμοποίηση διαφόρων τύπων όπλων και πυρομαχικών έγινε μια πιο σύνθετη υπόθεση, ο “*maréchal des logis*” επιφορτίστηκε και με την μεταφορά και αποθήκευση των πολεμοφοδίων (*Alger 1985*).

Στην έννοια *logistics* κρύβονται πολλές λεπτομέρειες, οι οποίες ωστόσο είναι σημαντικές για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας της συντήρησης και είναι κρίσιμες για την επιτυχή υλοποίηση της αποστολής. Το τι ακριβώς κάνει το *logistics* παρουσιάζεται πολύ παραστατικά στα παρακάτω λόγια:



*“Strategy is to war what the plot is to the play; Tactics is represented by the role of the players; Logistics furnishes the stage management, accessories and maintenance. The audience, thrilled by the action of the play and the art of the performers, overlooks all of the cleverly hidden details of stage management”*

(από το Joint Publication 4-0, 6 Apr 2000)

*Lt Col George C. Thorpe  
Pure Logistics, 1917*

Σύμφωνα με το λεξικό *Webster's New Collegiate Dictionary*, ο όρος *logistics* αναφέρεται σε εκείνη την πλευρά της στρατιωτικής επιστήμης που ασχολείται με τις παραγγελίες, την συντήρηση και την μεταφορά στρατιωτικού υλικού, τις υποδομές και το προσωπικό. Επιπλέον, σύμφωνα με το ίδιο λεξικό, ως δεύτερη ερμηνεία στον όρο *logistics* δίνεται “ο καθορισμός των λεπτομερειών μιας επιχείρησης”.



Σχήμα Α.1

Το *Joint Publication 4-0 Doctrine for Logistic Support of Joint Operations (6 Apr 2000)*, ορίζει το *logistics* ως την διαδικασία σχεδιασμού και εκτέλεσης μετακίνησης και επιβίωσης δυνάμεων κατά την υλοποίηση στρατιωτικού σχεδιασμού και επιχειρήσεων. Επίσης ορίζει ως βασικές λειτουργίες του *logistics* τον εφοδιασμό (*supply*), την συντήρηση (*maintenance*), τις μεταφορές (*transportation*), την υποστήριξη υποδομών (*civil engineering*), την παροχή υπηρεσιών υγείας (*health services*) καθώς και άλλων υπηρεσιών (*other services*). (βλέπε Σχήμα Α.1)

Το *USAF Air Force Doctrine Document 2-4 (22 Nov 99)*, αναφέρει ότι το τέλος της εποχής του ψυχρού πολέμου έχει αλλάξει δραματικά το πολιτικό και στρατιωτικό περιβάλλον και ότι σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να στηρίζεται κάποιος στα παραδοσιακά υποστηρικτικά – διαχειριστικά συστήματα. Για το λόγο αυτό εισάγει την έννοια του “*agile logistics*” σύμφωνα με την οποία λιγότερα ανταλλακτικά χρησιμοποιούνται πιο αποτελεσματικά. Επιπλέον αναφέρει ως απαραίτητα στοιχεία για την υλοποίηση ενός αποτελεσματικού συστήματος υποστήριξης τα ακόλουθα:

- Την αποτελεσματική διαχείριση (*Efficient business-based management*)
- Την ολοκληρωμένη διοίκηση και έλεγχο (*Integrated command and control*)
- Την διατήρηση των αποθεμάτων στα επίπεδα που έχουν καθοριστεί και τον ολοκληρωμένο έλεγχο (*Accurate inventories and asset visibility*)
- Τους αυστηρά καθορισμένους χρόνους διακίνησης (*Time-sensitive transportation*)
- Την αποτελεσματική υποστήριξη από τα επισκευαστικά κέντρα (*Responsive depot-level repair*)

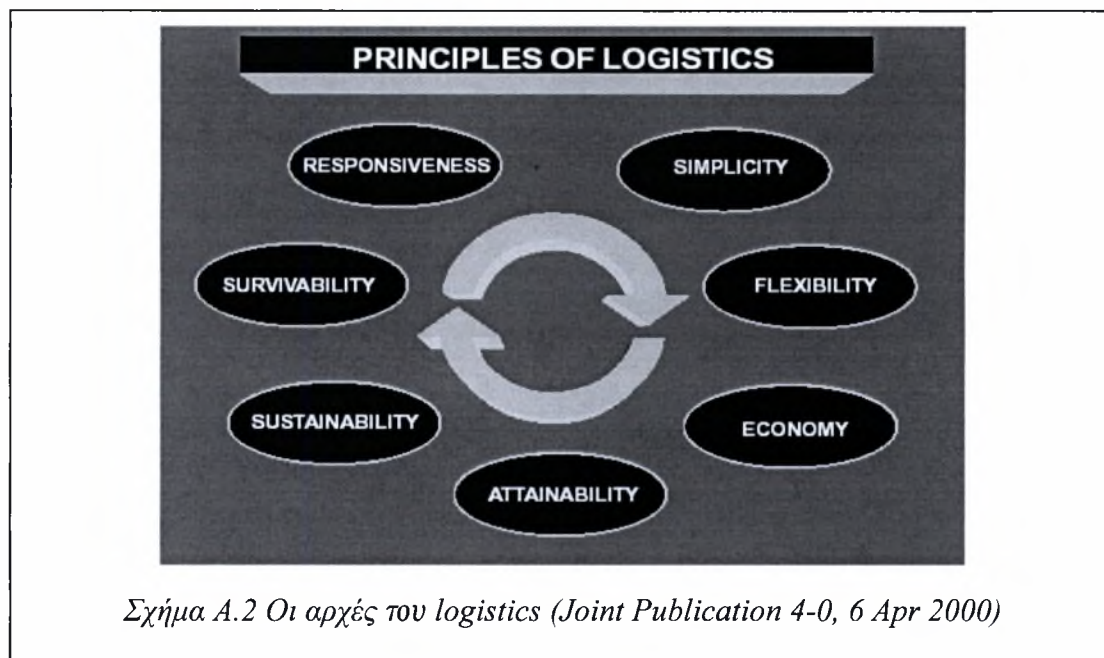
Το *Council of Logistics Management (CLM)*, ορίζει ως *logistics* την διαδικασία σχεδιασμού, υλοποίησης και ελέγχου της αποτελεσματικότητας ως προς το κόστος (*cost effective*) της ροής και αποθήκευσης ακατέργαστων, χρησιμοποιούμενων και τελικών προϊόντων, καθώς και της ολοκληρωμένης διαχείρισης της σχετικής πληροφορίας, με σκοπό την συμμόρφωση στις απαιτήσεις που έχουν δοθεί από τον πελάτη. Ο ορισμός αυτός (*Lieb 1994*) ισχύει σε όλους τους Οργανισμούς (πολιτικούς και στρατιωτικούς).

Ένας άλλος Οργανισμός, ο *Society of Logistics Engineers (SOLE)*, εξετάζει την έννοια του *logistics* ως προς τον συνολικό κύκλο ζωής του προϊόντος και ορίζει την έννοια αυτή ως την τέχνη της διαχείρισης των τεχνικών δραστηριοτήτων όσον αφορά τις απαιτήσεις, τον σχεδιασμό, την παροχή και διατήρηση πόρων, με σκοπό την υποστήριξη των αντικειμενικών σκοπών, σχεδίων και δραστηριοτήτων (*Blanchard 1992*).

Τα τελευταία χρόνια δεν υπάρχει πλέον διαχωρισμός ανάμεσα στους στρατιωτικούς και μη Οργανισμούς, καθώς πλέον υπάρχουν πολλά κοινά στοιχεία. Η προσπάθεια επικεντρώνεται -παρόλο που η προσέγγιση μπορεί να είναι διαφορετική- σε θέματα ζήτησης (*demand*), βάσεων δεδομένων (*databases*), σχεδιασμού (*design*), κύκλου ζωής (*life cycle*) και ολοκλήρωσης (*integration*). Επιπλέον, υπάρχει ένα κοινό λεξιλόγιο και επιδίωξη είναι η συνεργασία και ο σχεδιασμός με σκοπό όχι πλέον την μερική αλλά την συνολική βελτιστοποίηση του προβλήματος (*Russell - Hays 1994*).

## A.1 Οι Αρχές και οι Βασικές Έννοιες του Logistics

Υπάρχουν 7 βασικές αρχές και 7 βασικές έννοιες που σχετίζονται με το logistics. Τα στοιχεία αυτά περιγράφονται στους πίνακες που ακολουθούν.



Σχήμα A.2 Οι αρχές του logistics (Joint Publication 4-0, 6 Apr 2000)

Πίνακας A.1 Περιγραφή των βασικών αρχών του logistics  
(Joint Publication 4-0, 6 Apr 2000)

<b>ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ</b>	<b>BASIC LOGISTICS PRINCIPLE</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΡΧΗΣ</b>
Άμεση Ανταπόκριση	<i>Responsiveness</i>	Να έχεις τα σωστά πράγματα στις κατάλληλες ποσότητες και στο κατάλληλο σημείο την κατάλληλη στιγμή. Είναι η θεμελιώδης αρχή
Απλότητα	<i>Simplicity</i>	Διατήρησε την απλότητα
Ευελιξία	<i>Flexibility</i>	Ανάπτυξε την δυνατότητα να επιχειρείς σε οποιοδήποτε περιβάλλον
Οικονομία	<i>Economy</i>	Να είσαι φειδωλός με τους πόρους
Επιτευξιμότητα	<i>Attainability</i>	Να γνωρίζεις τι μπορεί να κάνεις πριν προχωρήσεις σε οποιαδήποτε ενέργεια
Διάρκεια	<i>Sustainability</i>	Απαραίτητη συνθήκη για την νίκη είναι η διάρκεια
Επιβιωσιμότητα	<i>Survivability</i>	Απαραίτητη συνθήκη για την νίκη είναι η επιβίωση

Πίνακας Α.2 Περιγραφή των βασικών εννοιών του logistics  
(USAF Air Force Doctrine Document 2-4, 11 May 94)

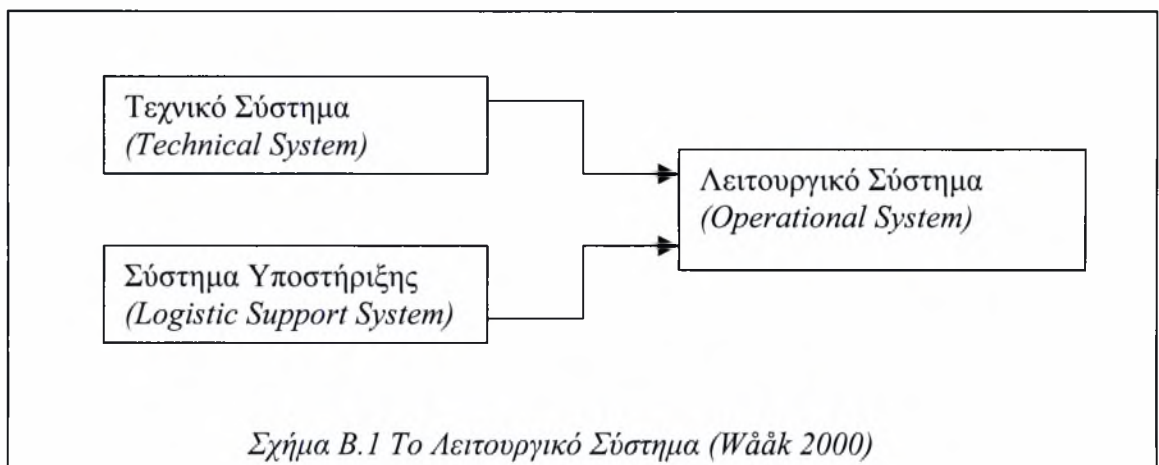
<b>ΒΑΣΙΚΗ ΕΝΝΟΙΑ</b>	<b>BASIC LOGISTICS CONCEPT</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΝΟΙΑΣ</b>
Ασφάλεια Εφοδιαστικής Αλυσίδας	<i>Pipeline Security</i>	Διατήρησε ασφαλή και αποτελεσματικά κανάλια τροφοδοσίας που εξασφαλίζουν συνεχή ροή
Έλεγχος Υλικών	<i>Total Asset Visibility</i>	Γνώριζε ανά πάσα στιγμή που βρίσκονται τα υλικά σου
Εκπαίδευση, Επιμόρφωση και Ασκήσεις	<i>Training, Education and Exercises</i>	Μερίμνησε για την παροχή εκπαίδευσης και έλεγχε την αποτελεσματικότητά της σε ρεαλιστική βάση με την πραγματοποίηση ασκήσεων
Κοινές Επιχειρήσεις	<i>Interoperability</i>	Προσανατολίσου σε συνδυασμένες επιχειρήσεις με σκοπό την ελαχιστοποίηση του εμπλεκόμενου προσωπικού
Διαθεσιμότητα	<i>Availability</i>	Φρόντισε για την διατήρηση της διαθεσιμότητας των συστημάτων σε υψηλά επίπεδα, καθώς η διαθεσιμότητα αποτελεί τον απόλυτο δείκτη της αποτελεσματικότητας
Μετάβαση από Ειρηνική σε Πολεμική Περίοδο και αντίστροφα	<i>Transition To and From War</i>	Όταν δεν είναι δυνατό να λειτουργείς στην ειρηνική περίοδο όπως στον πόλεμο, εξασφάλισε μηχανισμούς που θα παρέχουν την άμεση μετάβαση στο περιβάλλον αυξημένων απαιτήσεων και αντίστροφα
Εκμετάλλευση Συμμαχικών Πόρων	<i>Host Nation Support</i>	Εκμεταλλεύσου τους συμμαχικούς πόρους από όπου επιχειρείς

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: LSA & ILS

### B.0 Το Τεχνικό Σύστημα και το Σύστημα Υποστήριξής του

Σε κάθε Λειτουργικό Σύστημα (*Operational System*), μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα δυο τμήματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα B.1:

- Το Τεχνικό Σύστημα (*Technical System*)
- Το Σύστημα Υποστήριξης (*Logistic Support System*)



Τα δυο παραπάνω στοιχεία είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένα μεταξύ τους και μόνο μέσω της συνύπαρξής αυτής εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα του συστήματος. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι προσέγγισης των δυο αυτών στοιχείων:

- ✓ Η ανάλυση του συστήματος υποστήριξης (*Logistic Support Analysis - LSA*) “προσαρμόζει” το σύστημα υποστήριξης στο τεχνικό σύστημα ενώ αντίθετα,
- ✓ Η ανάλυση του συστήματος (*Integrated Logistics System - ILS*) “προσαρμόζει” το τεχνικό σύστημα στο σύστημα υποστήριξης.

Στο Παράρτημα αυτό, παρατίθενται ορισμένα βασικά στοιχεία σε σχέση με τις έννοιες του *LSA* και του *ILS*.

## **B.1 Η Ανάλυση Συστήματος Υποστήριξης - LSA (Logistic Support Analysis)**

### ***Τι είναι LSA***

Η συνύπαρξη του τεχνικού συστήματος και του συστήματος υποστήριξής του, οφείλεται στο γεγονός ότι παράλληλα με την έναρξη λειτουργίας οποιουδήποτε τεχνικού συστήματος, αρχίζει και η απαίτηση συντήρησης και τεχνικο-εφοδιαστικής υποστήριξης του. Το σύστημα υποστήριξης έχει σημαντική επίδραση στην διαθεσιμότητα του τεχνικού συστήματος. Σε κάθε περίπτωση βέβαια, επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας να επιτυγχάνεται με ένα τρόπο αποτελεσματικό ως προς την παράμετρο του κόστους (*cost effective*) και μέσα στα πλαίσια άλλων περιορισμών που πιθανότατα έχουν τεθεί.

Με το όρο “ανάλυση συστήματος υποστήριξης” - *LSA (Logistic Support Analysis)*, αναφερόμαστε στην ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος υποστήριξης. Η ανάλυση αυτή, παρέχει την δυνατότητα σύγκρισης εναλλακτικών δυνατοτήτων υποστήριξης του τεχνικού συστήματος (*Wååk 1999*), ενώ τελικός στόχος της ανάλυσης είναι να εξασφαλίζει ότι σε κάθε χρονική στιγμή ικανοποιούνται οι απαιτήσεις διαθεσιμότητας που έχουν τεθεί για το λειτουργικό σύστημα (*Wååk 2000*).

### ***Πότε εφαρμόζεται LSA***

Η ανάλυση του συστήματος υποστήριξης είναι δυνατό να εφαρμοστεί τόσο κατά την φάση του σχεδιασμού του συστήματος, όσο και κατά την φάση χρησιμοποίησής του (*Wååk 2000, Isdal -Wååk 2001*):

#### **➤ *Κατά την φάση του σχεδιασμού του συστήματος***

Κατά την φάση του σχεδιασμού, υπάρχουν δυο αντικρουόμενες απαιτήσεις: από την μια πλευρά η εφαρμογή της ανάλυσης είναι δυνατό να οδηγήσει σε συμπεράσματα που θα έχουν επίδραση στον σχεδιασμό του συστήματος, ενώ από την άλλη, για την πραγματοποίηση της ανάλυσης, υπάρχει η απαίτηση ύπαρξης δεδομένων τα οποία είναι διαθέσιμα στα τελικά στάδια ανάπτυξης του συστήματος.

Ως συνέπεια των παραπάνω αντικρουόμενων απαιτήσεων, η ανάλυση πραγματοποιείται πολλές φορές και παράλληλα με την ανάπτυξη του συστήματος, μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία και με διαφορετικό σκοπό σε κάθε στάδιο:

- **Στα πρώτα στάδια σχεδιασμού** του συστήματος, σκοπός της ανάλυσης είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων και η βελτίωση του σχεδιασμού του συστήματος. Τα χρησιμοποιούμενα στοιχεία στην περίπτωση αυτή έχουν χαμηλό επίπεδο εμπιστοσύνης.
- **Στα τελικά στάδια σχεδιασμού** του συστήματος, σκοπός της ανάλυσης είναι η χρησιμοποίηση ακριβέστερων στοιχείων για τον σχεδιασμό ενός αποτελεσματικού συστήματος υποστήριξης.

Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιούνται διάφορα προγράμματα τα οποία ουσιαστικά αποτελούν την γέφυρα ανάμεσα στο τεχνικό σύστημα και το σύστημα υποστήριξης, καθώς και μεταξύ του κόστους και της αποτελεσματικότητας.

#### ➤ **Κατά την φάση χρησιμοποίησης του συστήματος**

Ανάλυση του συστήματος υποστήριξης είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί και κατά την φάση χρησιμοποίησης του συστήματος. Στην περίπτωση αυτή τα κατ' εκτίμηση δεδομένα (*predicted data*) αντικαθίστανται από τα πραγματικά δεδομένα.

## **B.2 Το Σύστημα Ολοκληρωμένης Υποστήριξης ILS** **(Integrated Logistics Support)**

Αρχικά, οι ανεξάρτητοι Οργανισμοί – προμηθευτές των διαφόρων συστημάτων, ήταν υπεύθυνοι για την ανάπτυξη και την εφαρμογή προγραμμάτων συντήρησης, τον προσδιορισμό και την παραγγελία των απαιτούμενων ανταλλακτικών υποστήριξης, την προετοιμασία των τεχνικών οδηγιών και τον σχεδιασμό των προγραμμάτων εκπαίδευσης. Ο κάθε Οργανισμός εφάρμοζε τους δικούς του κανόνες και τυποποιήσεις. Η παραπάνω προσέγγιση, είχε ως αποτέλεσμα να ξοδεύονται χρήματα και πόροι χωρίς συγκεντρωτικό έλεγχο και χωρίς να επιτυγχάνονται οι επιθυμητοί δείκτες διαθεσιμότητας.

Ως αποτέλεσμα, δημιουργήθηκε η ανάγκη για μια νέα φιλοσοφία (*concept*) προσέγγισης της συντήρησης, η οποία ονομάστηκε σύστημα ολοκληρωμένης

υποστήριξης (*Integrated Logistics Support - ILS*). Το *ILS* ορίζεται σύμφωνα με τον *Jones (1994)* ως η πειθαρχημένη και τυποποιημένη καθιέρωση τεχνικών και διαχειριστικών αρχών που σχεδιάζουν και αναπτύσσουν την υποστήριξη στρατιωτικών συστημάτων. Κατά συνέπεια το *ILS* είναι ο διαχειριστικός οργανισμός που σχεδιάζει και κατευθύνει τις δραστηριότητες πολλών αρχών και τεχνικών μεθόδων, με σκοπό τον προσδιορισμό και την ικανοποίηση διαχειριστικών απαιτήσεων υποστήριξης των στρατιωτικών συστημάτων. Η περιγραφή αυτή μπορεί να επεκταθεί και σε μη στρατιωτικούς Οργανισμούς και συστήματα.

### **Τα πέντε πεδία του συστήματος ολοκληρωμένης υποστήριξης**

Ο όρος “Ολοκληρωμένος” σημαίνει την συνύπαρξη και συνεργασία των πέντε παρακάτω στοιχείων:

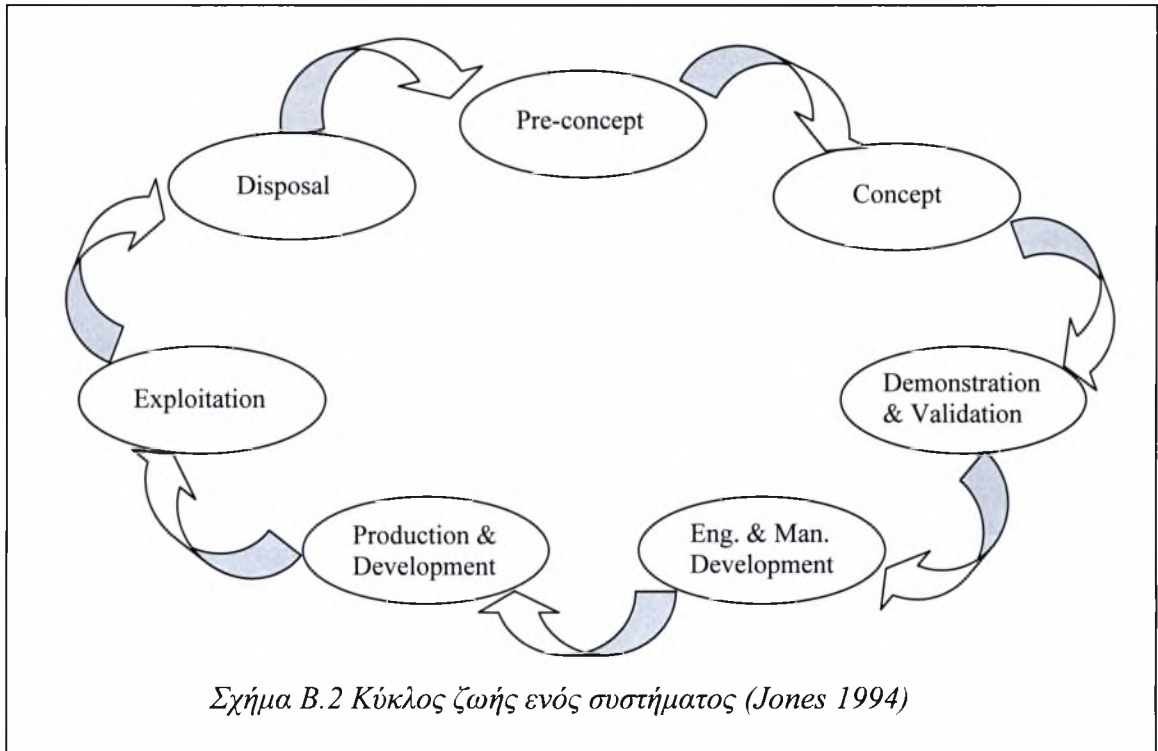
- Συντήρηση (*Maintenance*)
- Τεχνικο-εφοδιαστική Υποστήριξη (*Logistics*)
- Διαμόρφωση συστήματος (*Configuration Management*)
- Εκπαίδευση (*Education*)
- Τεχνικά εγχειρίδια (*Documentation*)

Τα πέντε αυτά στοιχεία, πρέπει να συνυπάρχουν προκειμένου να εξασφαλίζεται η υψηλή διαθεσιμότητα ενός συστήματος κάτω από λογικό και ελεγχόμενο κόστος καθ’ όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του συστήματος. Τα πρωταρχικά αυτά στοιχεία στην Π.Α. είναι οργανωμένα στα πρότυπα της *USAF* και παρακολουθούνται συνεχώς τόσο με ευθύνη της Π.Α., όσο και μέσα από κοινά προγράμματα με τους άλλους χρήστες των αεροσκαφών *F-16*.

### **Κύκλος ζωής ενός συστήματος**

Ο όρος “Ολοκληρωμένος” αναφέρεται επίσης στην διαχείριση ενός συστήματος σε όλο τον κύκλο ζωής του, με σκοπό την επίτευξη της μέγιστης διαθεσιμότητας. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο το *ILS* υποστηρίζει πολύπλοκα τεχνικά συστήματα στις διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής τους:





➤ **Φάση καθορισμού νέων απαιτήσεων (Pre-concept phase)**

Στη φάση αυτή προσδιορίζεται η απαίτηση για ένα νέο σύστημα. Τέτοιου είδους απαίτηση μπορεί να δημιουργηθεί στην περίπτωση που η χρησιμοποίηση κάποιου συστήματος καταστεί (π.χ. λόγω τεχνολογικής απαξίωσης) δυσανάλογου κόστους ή όταν το σύστημα δεν καλύπτει πλέον τις επιχειρησιακές απαιτήσεις. Σκοπός αυτής της φάσης είναι ο πλήρης καθορισμός των αναγκών που προσδιορίζουν την απαίτηση του νέου συστήματος, ο καθορισμός των επιχειρησιακών απαιτήσεων που πρέπει να καλύπτει το νέο σύστημα, καθώς και ο προσδιορισμός των πόρων που υπάρχουν ή πρέπει να αναπτυχθούν ώστε να ικανοποιήσουν τις νέες απαιτήσεις.

➤ **Φάση προσδιορισμού τρόπου ικανοποίησης των απαιτήσεων (Concept phase)**

Στην φάση αυτή εξετάζονται οι διαφορετικοί τρόποι ικανοποίησης των απαιτήσεων που έχουν προσδιοριστεί από την προηγούμενη φάση, με σκοπό να επλεχθούν οι πλέον υλοποιήσιμες λύσεις οι οποίες και θα εξετασθούν περαιτέρω.

➤ **Φάση δημιουργίας προτύπου και τεκμηρίωσης (Demonstration and validation phase)**

Ο σκοπός αυτής της φάσης είναι η δημιουργία πρωτοτύπων τα οποία στην συνέχεια θα εξεταστούν στην πράξη κατά πόσο καλύπτουν τις απαιτήσεις που έχουν προσδιοριστεί κατά την φάση καθορισμού των απαιτήσεων.

➤ **Φάση σχεδιασμού και ανάπτυξης (*Engineering and manufacturing development (EMD) phase*)**

Σε αυτή την φάση, το πρωτότυπο που ανταποκρίνεται στις προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις με τον καλύτερο τρόπο, επανασχεδιάζεται ώστε να είναι δυνατή η κατασκευή του σύμφωνα με τις προδιαγραφές (*specifications*) που έχουν καθοριστεί, αλλά επιπλέον κάτω από λογικό κόστος. Στην φάση αυτή καθορίζονται και οι απαιτήσεις υποστήριξης όπως τα προγράμματα συντήρησης, ο προσδιορισμός των αναγκαίων εφεδρικών υλικών, τα εκπαιδευτικά προγράμματα κτλ. Όλα τα παραπάνω στοιχεία προσδιορίζονται μέσα από στενή συνεργασία του χρήστη και του προμηθευτή του συστήματος.

➤ **Φάση κατασκευής του συστήματος (*Production and deployment phase*)**

Στην φάση αυτή ολοκληρώνεται η κατασκευή του συστήματος και του εξοπλισμού υποστήριξης.

➤ **Φάση χρησιμοποίησης του συστήματος (*Exploitation phase*)**

Στην φάση αυτή πραγματοποιείται συνεχής αξιολόγηση του συστήματος, προκειμένου να ελεγχθεί το κατά πόσο καλύπτει τις προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις. Επιπλέον αξιολογείται η απόδοση του συστήματος σε σχέση με τις νέες απαιτήσεις που δημιουργούνται.

➤ **Φάση βελτίωσης του συστήματος (*Improvement phase*)**

Στην φάση αυτή εφαρμόζονται τροποποιήσεις βελτίωσης του συστήματος. Το εύρος των δυνατών τροποποιήσεων περιορίζεται κατά βάση από τον σχεδιασμό του συστήματος.

➤ **Φάση Απόσυρσης (*Disposal phase*)**

Στην φάση αυτή εφόσον κριθεί ότι οι απαιτήσεις για την αναβάθμισή του συστήματος είναι ανελαστικές, ενώ παράλληλα δεν είναι εφικτή ή είναι οικονομικά ασύμφορη η περαιτέρω βελτίωση του, το σύστημα αποσύρεται.

**Καθορισμός ύψους αποθεμάτων με βάση το ILS**

Από την πλευρά των ανταλλακτικών (*sparcs*), επισημαίνονται τα ακόλουθα στοιχεία σε σχέση με τις φάσεις που αναφέρθηκαν αμέσως παραπάνω:

➤ Κατά την φάση του σχεδιασμού και ανάπτυξης (*EMD phase*) καθορίζονται όπως είδαμε οι αρχές συντήρησης του συστήματος, ενώ παράλληλα προσδιορίζεται και η τελική διαμόρφωση (*configuration*) του. Από την διαμόρφωση που έχει προκύψει και για κάθε υλικό και περιοχή χρησιμοποίησής του, παραγγέλλονται τα ανταλλακτικά αρχικής προμήθειας (*initial supply*) στις αναγκαίες ποσότητες. Σε αυτή την φάση είναι απαραίτητη η συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων της συντήρησης και της τεχνικο-εφοδιαστικής υποστήριξης, λαμβάνοντας υπόψη σε κάθε περίπτωση την διαμόρφωση του συστήματος.

➤ Κατά την διάρκεια χρήσης του συστήματος, είναι απαραίτητο τα αποθέματα να διατηρούνται στα επίπεδα που έχουν καθοριστεί (*resupply*). Επιπλέον σε τακτά χρονικά διαστήματα απαιτείται να γίνεται επανεκτίμηση κατά πόσο η αρχική προμήθεια αποθεμάτων καλύπτει με ικανοποιητικό τρόπο τις απαιτήσεις ζήτησης που πιθανόν να έχουν διαφοροποιηθεί.

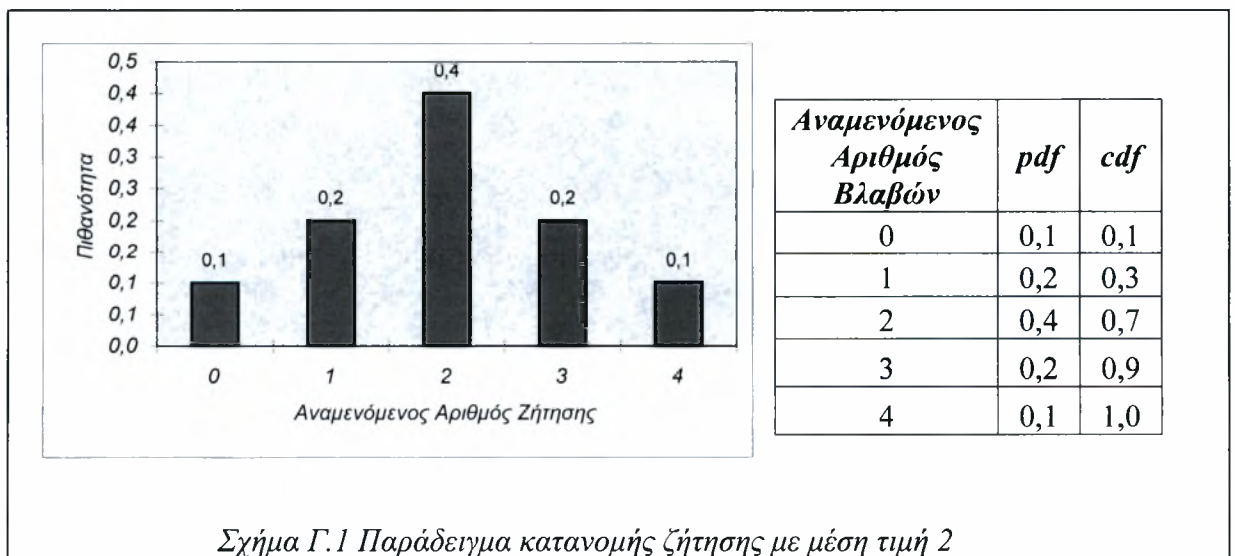
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΖΗΤΗΣΗ POISSON

### Γ.0 Μερικές Βασικές Έννοιες

Σκοπός του Παραρτήματος αυτού, είναι η ανασκόπηση ορισμένων βασικών εννοιών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία. Η ανασκόπηση γίνεται με την χρησιμοποίηση παραδειγμάτων και καλύπτει τις παρακάτω έννοιες:

- την συνάρτηση ή κατανομή πιθανότητας - *probability density function (pdf)*
- την αθροιστική συνάρτηση κατανομής - *cumulative distribution function (cdf)*
- τον αναμενόμενο αριθμό ελλείψεων – *Expected BackOrders (EBO)*
- την ζήτηση *Poisson*

Εάν η κατανομή του αναμενόμενου αριθμού της ζήτησης για ένα υλικό και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι όπως αυτή του Σχήματος Γ.1, τότε είναι προφανές λόγω συμμετρίας, ότι η μέση τιμή του αναμενόμενου αριθμού της ζήτησης θα είναι 2.



Στο παράδειγμα αυτό, ελλείψεις υλικών – *BackOrders (BO)* δημιουργούνται στην περίπτωση που δεν υπάρχει επαρκές απόθεμα για να καλύψει την ζήτηση. Κατά συνέπεια, στην περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμα 2 εφεδρικά υλικά, ο

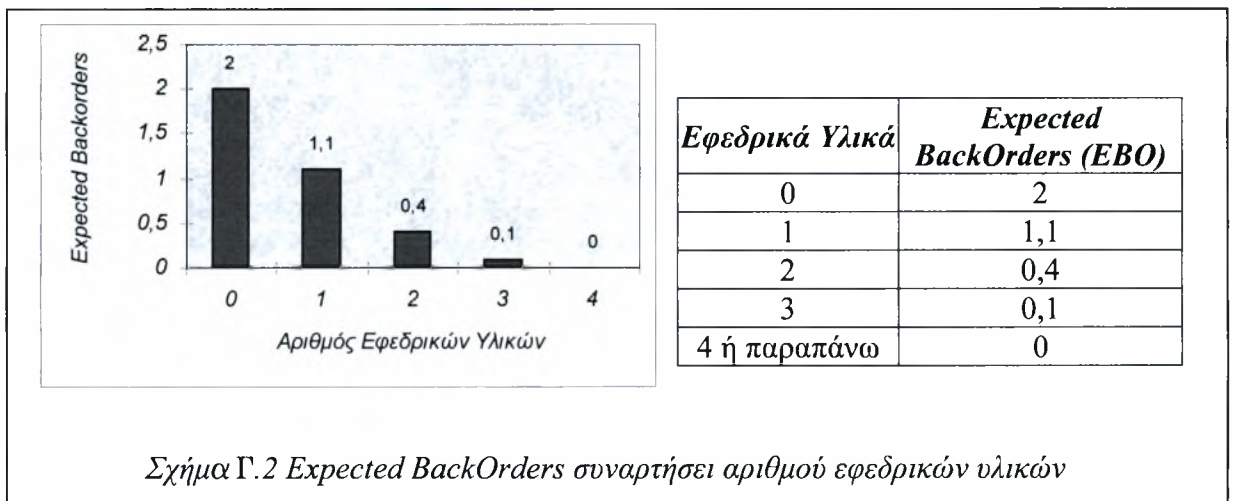
αναμενόμενος αριθμός των ελλείψεων - *Expected BackOrders (EBO)* για το χρονικό διάστημα που εξετάζεται, υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$EBO = (1 \times 0.2) + (2 \times 0.1) = 0.4$$

λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του πίνακα:

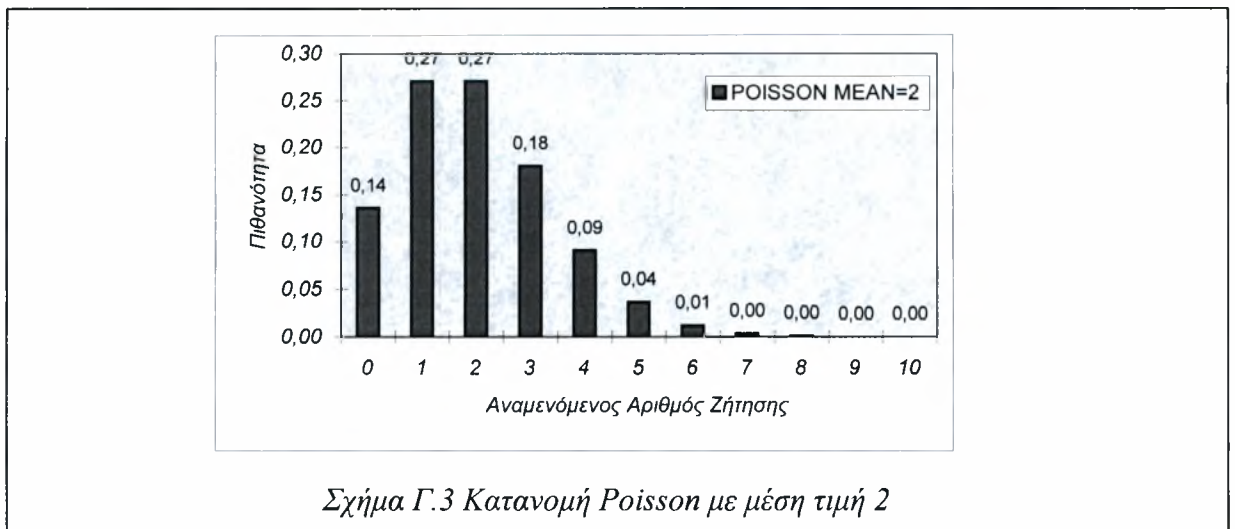
Ζήτηση	pdf	BackOrders
0,1 ή 2	0,7	0
3	0,2	1
4	0,1	2

Με τον τρόπο υπολογισμού που μόλις περιγράψαμε, μπορούμε να υπολογίσουμε τον αναμενόμενο αριθμό των ελλείψεων - *Expected BackOrders (EBO)* συναρτήσει του αριθμού των εφεδρικών υλικών. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται στο *Σχήμα Γ.2*:

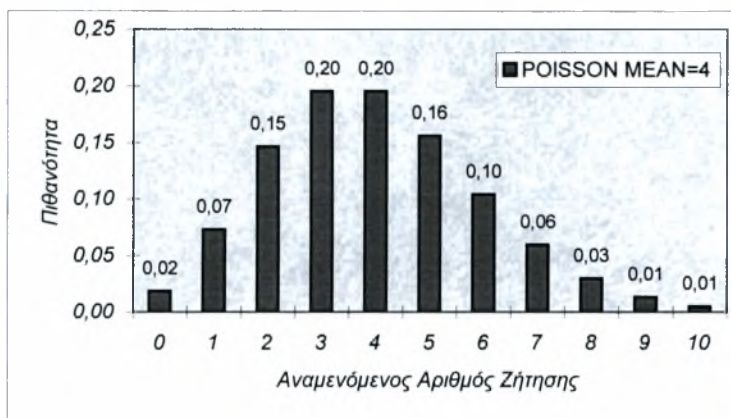


*Σχήμα Γ.2 Expected BackOrders συναρτήσει αριθμού εφεδρικών υλικών*

Όταν αναφερόμαστε σε μια διαδικασία *Poisson*, τότε πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι η κατανομή έχει μια μορφή αντίστοιχη με αυτή που παρουσιάζεται στο *Σχήμα Γ.3* και *Σχήμα Γ.4*:



*Σχήμα Γ.3 Κατανομή Poisson με μέση τιμή 2*



Σχήμα Γ.4 Κατανομή Poisson με μέση τιμή 4

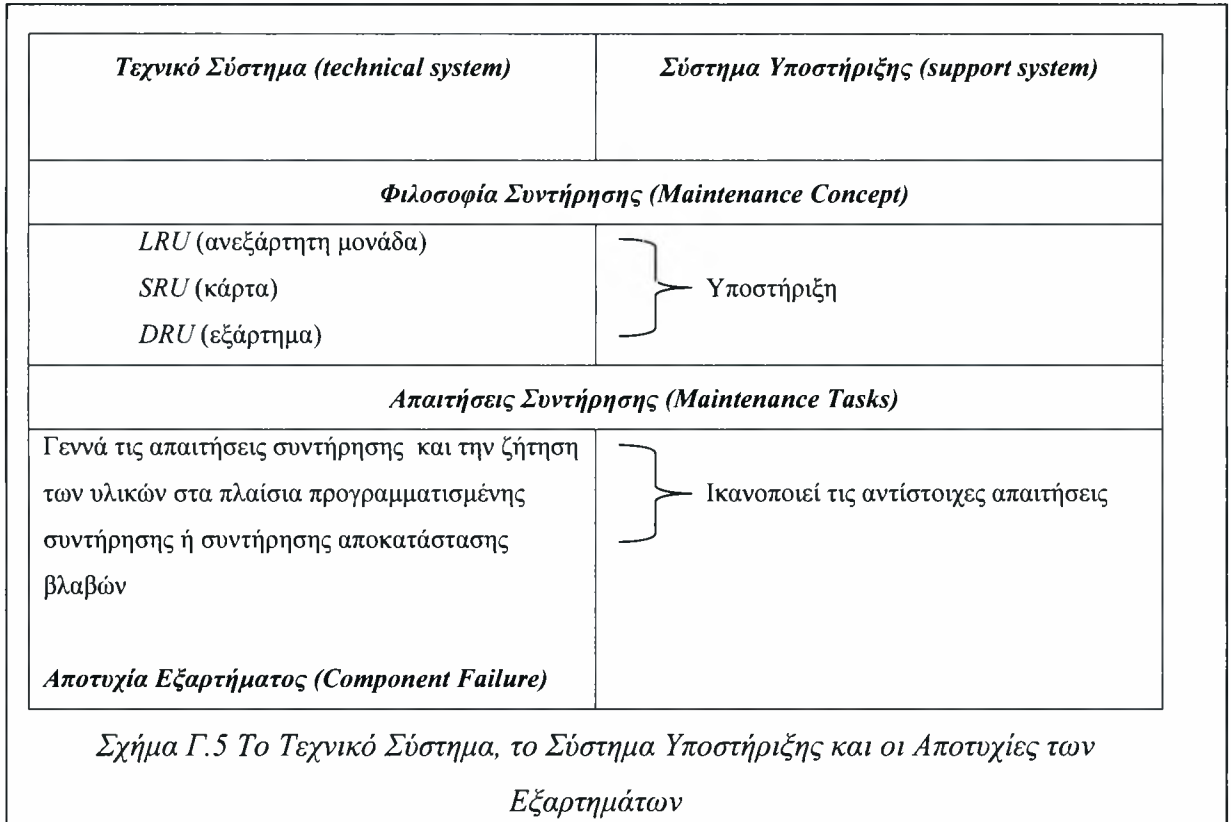
### Γ.1 Ζήτηση Poisson – Ρυθμοί Ζήτησης Υλικού και Αποτυχίες Επιμέρους Εξαρτημάτων

Όλα τα μοντέλα βελτιστοποίησης της σύνθεσης των αποθεμάτων (*multi-item, multi-echelon, multi-indenture spares optimization models*) που κατά καιρούς έχουν προταθεί, θεωρούν σταθερούς ρυθμούς ζήτησης (*constant demand rates*). Σκοπός της αναφοράς που γίνεται παρακάτω, είναι η επισήμανση της διαφοράς που υπάρχει ανάμεσα στην *διαδικασία ζήτησης ανταλλακτικών* (*demand process for spares*) και στην *διαδικασία αποτυχίας εξαρτημάτων* (*component failure process*). Όπως θα δούμε στην ανάλυση που ακολουθεί, παρόλο που οι αποτυχίες είναι προφανώς αυτές που δημιουργούν την ζήτηση, μπορούμε να θεωρούμε σταθερούς ρυθμούς ζήτησης υλικών χωρίς απαραίτητα να έχουμε θεωρήσει ότι είναι σταθεροί και οι ρυθμοί αποτυχίας των επιμέρους εξαρτημάτων (*Alfredsson - Wååk 1999*).

Η κατανομή *Poisson* κατέχει συγκεκριμένες ιδιότητες που την κάνουν την μόνη πρακτική επιλογή στην μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων. Έτσι π.χ. η σύνθεση δύο ή περισσότερων διαδικασιών *Poisson* έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μια νέας διαδικασίας που είναι και αυτή *Poisson*. Επίσης, μια διαδικασία *Poisson* μπορεί να διαχωριστεί σε δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες διαδικασίες *Poisson*. Διαδικασίες πέρα από την *Poisson*, δεν χρησιμοποιούνται σε μεθόδους βελτιστοποίησης αποθεμάτων παρά μόνο στον καθορισμό της αξιοπιστίας (*reliability*) και ανάλυσης συντήρησης (*maintenance analyses*) σε επίπεδο εξαρτήματος (*Alfredsson - Wååk 1999*).

Σε μακροσκοπικό επίπεδο για κάθε υλικό, όπως έχει αναλυθεί στο Παράρτημα Β, έχουμε το Τεχνικό Σύστημα και το Σύστημα Υποστήριξης του. Το πρώτο είναι

αυτό που γεννά τις **Απαιτήσεις Συντήρησης** τις οποίες καλείται να ικανοποιήσει το δεύτερο. Το Τεχνικό Σύστημα μπορεί να υποδιαιρεθεί σε επιμέρους επίπεδα μέχρι το επίπεδο του εξαρτήματος, το οποίο είναι το βασικό στοιχείο που γεννά τις απαιτήσεις συντήρησης. Ανάλογα με την **Φιλοσοφία Συντήρησης** που ακολουθείται, αυτό που αντικαθίσταται είναι ένα *LRU*, ένα *SRU* ή ένα *DRU*, καθένα από τα οποία αποτελείται από μεγάλο πλήθος εξαρτημάτων. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται παραστατικά στο *Σχήμα Γ.5*:



### Χαρακτηριστικά αποτυχιών εξαρτημάτων

Τα χαρακτηριστικά των αποτυχιών ενός εξαρτήματος, μπορούν να περιγραφούν με διάφορους τρόπους. Ένας κλασικός τρόπος είναι με την χρησιμοποίηση της συνεχούς τυχαίας μεταβλητής  $T$ , η οποία αντιστοιχεί στον χρόνο εμφάνισης των αποτυχιών. Οι ιδιότητες της τυχαίας μεταβλητής  $T$  μπορούν να περιγραφούν με διάφορους τρόπους όπως:

- Με την κατανομή πιθανότητας  $F(t) = P[T \leq t]$
- Με την συνάρτηση πιθανότητας  $f(t)$  όπου  $f(t) = F'(t)$  και  $F(t) = \int_0^t f(u) du$
- Με τον στιγμιαίο ρυθμό αποτυχιών  $z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P[t + \Delta t \geq T > t / T > t]}{\Delta t}$

όπου το  $z(t)$  αντικατοπτρίζει την πιθανότητα να αποτύχει το εξάρτημα τον χρόνο  $t$ , υπό την προϋπόθεση ότι έχει επιβιώσει μέχρι εκείνη την χρονική στιγμή (*hazard function*). Κατά συνέπεια εξ ορισμού ισχύει:

$$P[t + \Delta t \geq T > t / T > t] = \frac{P[t + \Delta t \geq T > t \cap T > t]}{P[T > t]}$$

$$\text{και εφόσον } P[t + \Delta t \geq T > t \cap T > t] = P[t + \Delta t \geq T > t] = F(t + \Delta t) - F(t)$$

$$\text{και } P[T > t] = 1 - F(t)$$

$$z(t) = \frac{1}{1 - F(t)} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \frac{F'(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

$$\text{ή ισοδύναμα } F(t) = 1 - e^{-\int_0^t z(u) du}$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι ένα εξάρτημα έχει σταθερό στιγμιαίο ρυθμό αποτυχιών εάν και μόνο εάν η κατανομή του χρόνου εμφάνισης των αποτυχιών είναι εκθετική. Φυσιολογικά, με την έννοια του ρυθμού αναφερόμαστε σε αριθμό συμβάντων ανά μονάδα χρόνου, κάτι που έχει φυσική σημασία. Η συνάρτηση  $z(t)$  ωστόσο έχει περισσότερο θεωρητική έννοια καθώς είναι η συνεχής πιθανότητα ανά μονάδα χρόνου. Κατά συνέπεια ο “σταθερός ρυθμός βλαβών” θα μπορούσε να σημαίνει ότι ο αριθμός των εμφανίσεων ανά μονάδα χρόνου δεν μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου, αλλά φυσιολογικά σημαίνει ότι η συνεχής πιθανότητα αποτυχιών ανά μονάδα χρόνου είναι σταθερή (*Alfredsson - Wååk 1999*).

### **Η ζήτηση ενός υλικού και οι αποτυχίες των επιμέρους εξαρτημάτων**

➤ **Η ζήτηση ενός συγκεκριμένου υλικού** σε ένα συγκεκριμένο χώρο που χρησιμοποιείται, προέρχεται και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες από τους οποίους οι πλέον σημαντικοί είναι οι εξής (*Alfredsson - Wååk 1999*):

- Οι αποτυχίες των επιμέρους εξαρτημάτων από τα οποία αποτελείται το υλικό.
- Το ποσοστό όπου οι αναφερόμενες βλάβες δεν καταλογίζονται σε σφάλμα του υλικού.
- Η συχνότητα της αντικατάστασης κάποιου εξαρτήματος στα πλαίσια προληπτικής συντήρησης.



- Ο αριθμός των ανεξάρτητων συστημάτων που αναμένουν ικανοποίηση αιτήσεων για το υλικό.
- Ο αριθμός των υλικών που συναντάται σε κάθε σύστημα.
- Ο βαθμός χρησιμοποίησης του συστήματος (*utilization*).

➤ *Οι αποτυχίες των επιμέρους εξαρτημάτων του υλικού εξαρτώνται από (Alfredsson - Wååk 1999):*

- Τις εγγενείς αιτίες – μηχανισμούς πρόκλησης σφαλμάτων.
- Τις ενέργειες προληπτικής συντήρησης ή ενέργειες αποκατάστασης βλαβών.
- Τον χειρισμό του υλικού.
- Τον βαθμό χρησιμοποίησής του υλικού, όσον αφορά το φορτίο που δέχεται συναρτήσει του χρόνου.

Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω παράγοντες συμπεραίνεται ότι γενικά δεν είναι σωστό να εξισώνεται η διαδικασία των ζητήσεων ενός υλικού με την διαδικασία των αποτυχιών ενός εξαρτήματος που εμπεριέχεται στο υλικό. Όταν ωστόσο η διαδικασία της ζήτησης ενός υλικού είναι αποτέλεσμα πολλών επιμέρους διαδικασιών αποτυχίας εξαρτημάτων του υλικού, η διαδικασία της ζήτησης τείνει να είναι (ή διαφορετικά προσεγγίζεται πολύ ικανοποιητικά με) μια διαδικασία *Poisson*. Αυτό απλά σημαίνει ότι ο ρυθμός ζήτησης είναι περίπου σταθερός χωρίς ωστόσο να υπάρχει περιορισμός στην κατανομή εμφάνισης των αποτυχιών των επιμέρους εξαρτημάτων.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ

## ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΩΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

### Δ.0 Γενικά

Πέρα από το σημαντικό πρόβλημα καθορισμού ενός συστηματικού τρόπου προσδιορισμού της αρχικής σύνθεσης αποθεμάτων, ένα εξίσου σημαντικό πρόβλημα είναι το πρόβλημα καθορισμού προτεραιοτήτων στην προώθηση για επισκευή των επισκευασίμων υλικών, όταν τα διατιθέμενα κονδύλια που υπάρχουν για το σκοπό αυτό είναι περιορισμένα. Για την ανάλυση του προβλήματος αυτού, θα χρησιμοποιηθεί ένα πλαίσιο που έχει δημιουργηθεί αποκλειστικά για τα ηλεκτρονικά συστήματα του F-16, αλλά σε διαφορετική βάση σε σχέση με το σκοπό για τον οποίο αναπτύχθηκε.

Το πλαίσιο αυτό είναι το μοντέλο *DRIVE (Distribution and Repair in Variable Environments)* το οποίο μεταγενέστερα ονομάστηκε *PARS (Prioritization of Aircraft Repairables)* (Clarke 1997 - AFMC 21-129, 9 Mar 01). Το συγκεκριμένο μοντέλο αναπτύχθηκε από την εταιρεία *RAND* με σκοπό τον καθορισμό προτεραιοτήτων κατά την επισκευή και κατά την διανομή επισκευασίμων ηλεκτρονικών συστημάτων του F-16. Το μοντέλο παρουσιάζεται στα *RAND Reports R-3888-AF (Abell and others 1992)* και *R-4158-AF (Miller – Abell 1992)* και εμπίπτει στην κατηγορία της απέριτης διαχείρισης (*lean logistics*), υπό την έννοια ότι συνεισφέρει στην επισκευή των κατάλληλων υλικών και διανομή τους στα κατάλληλα σημεία τον κατάλληλο χρόνο. Επιπλέον, αποτελεί ένα από τα πέντε βασικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται από το Πληροφοριακό Σύστημα Διαχείρισης Οπλικού Συστήματος *WSMIS (Weapon System Management Information System)*. Η επίδειξη του πρωτοτύπου έγινε το 1992 και έδειξε ότι ο τρόπος προσέγγισης που προτείνεται από το μοντέλο αυτό, είναι δυνατό να εφαρμοστεί στην πράξη και να συνεισφέρει σημαντικά στην βελτίωση της διαθεσιμότητας των συστημάτων χωρίς να απαιτείται επιπρόσθετο κόστος.

Το γεγονός ότι το συγκεκριμένο μοντέλο αναπτύχθηκε για τα συστήματα *Anionics* του *F-16*, επιτρέπει την άμεση χρησιμοποίηση του καθώς είναι απόλυτα προσαρμοσμένο στα συστήματα που μελετούμε. Λαμβάνοντας ωστόσο υπόψη το γεγονός ότι ουσιαστικά:

- δεν είναι δυνατό να παρέμβουμε στον καθορισμό των προτεραιοτήτων που θα δοθούν στο επισκευαστικό κέντρο καθώς οι επισκευές των ηλεκτρονικών συστημάτων σε επίπεδο SRU γίνονται κατά κανόνα σε φορείς του εξωτερικού και ότι

- δεν αντιμετωπίζουμε (τουλάχιστον επί του παρόντος) πρόβλημα διανομής των υλικών καθώς οι επισκευές σε 2<sup>ο</sup> βαθμό πραγματοποιούνται σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο

η παρουσίαση των βασικών αρχών του μοντέλου γίνεται μέσα από ένα διαφορετικό πρίσμα σε σχέση με αυτό που δημιουργήθηκε:

Σκοπός της ανάλυσης που γίνεται είναι η διαμόρφωση ενός πλαισίου καθορισμού προτεραιοτήτων που πρέπει να δίνεται στα *SRUs* που θα προωθηθούν για επισκευή, κάτω από περιορισμό του διατιθέμενου κονδυλίου, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των ελλείψεων των *SRUs* στην διαθεσιμότητα των *LRUs* (κάτω δηλ. από μία προοπτική συστημικής προσέγγισης του προβλήματος ανάλογα με τα διαλαμβανόμενα στο *Κεφάλαιο 4*). Η προσέγγιση του προβλήματος γίνεται λοιπόν, ανά ένα *LRU* και λαμβάνοντας υπόψη την δομή του *LRU* σε επίπεδο *SRU*, δηλ. το πλήθος  $I$  των διαφορετικών τύπων *SRUs* που συναντάται σε κάθε *LRU*, καθώς και τον αριθμό  $Z_i$  των *SRUs* τύπου  $i$ .

Η ανάλυση που ακολουθεί, συνεισφέρει επίσης στην βαθύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο γίνεται η αποψίλωση των *SRUs* μεταξύ των διαφόρων *LRUs* και στην σφαιρικότερη θεώρηση όσων έχουν αναφερθεί στο *Κεφάλαιο 4* περί της δυνατότητας του κανιβαλισμού. Τέλος, η ανάλυση που θα παρουσιαστεί, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί και ως ένα πλαίσιο πρόβλεψης εάν θα είναι δυνατό να συνεχίσει η Μονάδα να επιτυγχάνει ελάχιστα αποδεκτά επίπεδα διαθεσιμότητας σε επίπεδο *LRU* και σε συγκεκριμένο βάθος χρόνου, λαμβάνοντας υπόψη την εκάστοτε κατάσταση των εκτός ενεργείας *SRUs*.

## 4.1 Το Μοντέλο DRIVE

Μέσω της αντικειμενικής συνάρτησης που χρησιμοποιείται, υπολογίζεται η πιθανότητα η Μονάδα να επιτύχει την επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα για ένα *LRU* στο τέλος ενός χρονικού ορίζοντα. Μέσω της προσέγγισης αυτής, υπολογίζεται ο αριθμός των βλαβών του συγκεκριμένου *LRU* που μπορεί να αντιμετωπίσει η Μονάδα, χωρίς να αποτελέσουν οι βλάβες αυτές αποτρεπτικό παράγοντα στην επίτευξη της επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας. Στην συνέχεια υπολογίζεται η πιθανότητα οι αναμενόμενες βλάβες του *LRU* που μελετάται να μην ξεπερνάνε τον αριθμό που έχει υπολογιστεί.

### ⇒ Βλάβες *LRUs*

Όσον αφορά τις εμφανιζόμενες βλάβες των *LRUs* υπάρχουν οι παρακάτω τρεις περιπτώσεις:

✓ Η βλάβη απομονώνεται στο 2<sup>ο</sup> επίπεδο συντήρησης σε κάποιο *SRU* και οδηγεί σε απαίτηση αντικατάστασης του αντίστοιχου υλικού.

✓ Δεν απαιτείται καμία διορθωτική ενέργεια σε επίπεδο υλικού. Η περίπτωση αυτή συμβαίνει σε μια σειρά περιπτώσεων που αναλύονται αμέσως παρακάτω.

✓ Η βλάβη δεν είναι δυνατό να απομονωθεί σε επίπεδο *SRU* και απαιτείται η αποστολή του *LRU* σε εργοστασιακό φορέα για επισκευή ή καταδίκη.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε θα θεωρήσουμε υπόψη τον “πραγματικό” ρυθμό βλαβών των *LRUs*, υπό την έννοια ότι εμφανιζόμενες βλάβες ανάγονται σε ζήτηση υποσυγκροτήματος *SRU*.

Η περίπτωση να αφαιρεθεί το *LRU* από τον 1<sup>ο</sup> βαθμό και να μην απαιτηθεί καμία διορθωτική ενέργεια σε επίπεδο *SRU*, συμβαίνει όταν:

➤ Το *LRU* έχει αφαιρεθεί από τον 1<sup>ο</sup> βαθμό συντήρησης ως συνέπεια κακής απομόνωσης της βλάβης ή / και αφαίρεσης περισσότερων από ένα *LRUs* του συστήματος στο οποίο εμφανίστηκε η βλάβη, ενώ η βλάβη οφείλονταν σε ένα μόνο *LRU*.

➤ Υφίσταται πραγματική βλάβη η οποία δεν εντοπίζεται από τα διαγνωστικά προγράμματα στο 2<sup>ο</sup> επίπεδο συντήρησης και κατά συνέπεια δεν είναι δυνατό να απομονωθεί στον σταθμό ελέγχου.

➤ Ορισμένα *LRUs* έχουν “φορτωμένο” κάποιο *Software* (το οποίο ονομάζεται *Operational Flight Program - OFP*) και απώλεια του προγράμματος εμφανίζεται με την μορφή βλάβης, χωρίς ωστόσο στην περίπτωση αυτή να απαιτείται άλλη διορθωτική ενέργεια από την επαναφόρτωση του προγράμματος.

➤ Σε εξειδικευμένες περιπτώσεις, *LRU* εισέρχονται στο συνεργείο συντήρησης για λόγους όπως αφαίρεση υγρασίας από την λυχνία του *PDU (Pilot Display Unit)* ή για ευθυγράμμιση της πλατφόρμας του συστήματος *INS (Inertial Navigation System)*.

➤ Υφίσταται μια βλάβη η οποία εμφανίζεται περιοδικά (*intermittent failure*) και δεν είναι δυνατό να απομονωθεί.

#### ⇒ *Απαιτούμενα δεδομένα*

Τα δεδομένα που απαιτούνται για τον προσδιορισμό της πιθανότητας η Μονάδα να επιτύχει τον επιδιωκόμενο δείκτη διαθεσιμότητας για το συγκεκριμένο *LRU* είναι τα ακόλουθα:

✓ Τα υπάρχοντα αποθέματα (*stock*), συμπεριλαμβανομένου και των *SRUs* για τα οποία έχουμε πληροφορία ότι αναμένεται να παραληφθούν από την Μονάδα.

✓ Οι ελλείψεις *SRUs (holes) BO<sub>i</sub>* στην αρχή του χρονικού ορίζοντα που μελετάται.

✓ Ο αριθμός  $Z_i$  των *SRUs* τύπου  $i$  που συναντώνται ανά *LRU (Quantity Per Item - QPA)*.

✓ Ο αναμενόμενος αριθμός των *SRUs* που θα διακινηθούν για επισκευή σε άλλους φορείς (*Not Repairable This Station – NRTS*).

✓ Οι επιτρεπόμενες ελλείψεις *SRUs*, δηλ. αυτές που δεν θα επηρεάσουν τη επίτευξη της επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας.

Στην ανάπτυξη που θα ακολουθήσει, θεωρείται ότι είναι δυνατή η αποκατάσταση του συνόλου των εμφανιζόμενων βλαβών σε επίπεδο *LRU*, κάτι που ισχύει κατά κανόνα για τα συστήματα *Avionics*.

#### ⇒ *Ανάλυση του μοντέλου*

Η πιθανότητα  $BP$  η Μονάδα, στο τέλος του χρονικού ορίζοντα που μελετάται, να επιτύχει τον επιδιωκόμενο δείκτη διαθεσιμότητας για το συγκεκριμένο *LRU*, ισούται με την πιθανότητα να εμφανιστούν λιγότερες ή ίσες με  $F$  βλάβες, όπου

με  $F$  υποδηλώνονται οι επιτρεπόμενες ελλείψεις  $LRUs$  λαμβάνοντας υπόψη και τα υπάρχοντα αποθέματα  $SRUs$ . Η πιθανότητα  $BP$  δηλ. αντικατοπτρίζει την πιθανότητα να εμφανιστούν κατά την διάρκεια του χρονικού ορίζοντα που εξετάζεται, το πολύ  $F$  επιπλέον καθηλωμένα  $LRUs$  λόγω αναμονής υλικών ( $AWP$  - *Awaiting Parts LRUs*) σε σχέση με αυτά που υπήρχαν κατά την έναρξη της χρονικής περιόδου. Σύμφωνα με τα παραπάνω:

$$BP = \sum_{x=0}^F FB_x \quad (Δ.1)$$

όπου  $F$  είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός βλαβών του  $LRU$  στο χρονικό διάστημα που εξετάζεται που μπορεί να συμβεί χωρίς ωστόσο να στερήσει την επίτευξη της επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας. Για τον καθορισμό του αριθμού αυτού λαμβάνεται υπόψη τόσο η αρχική κατάσταση, όσο και τα υπάρχοντα αποθέματα και οι επιτρεπόμενες ελλείψεις  $SRUs$  (*holes*).

$FB_x$  είναι η πιθανότητα εμφάνισης  $x$  βλαβών στα  $LRUs$  που υποστηρίζονται.

Η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας *cdf* της  $BP$ , αντιστοιχεί στην πιθανότητα να παρουσιαστούν βλάβες  $AWP LRUs$  στον συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα λιγότερες ή ίσες με  $x$ . Δηλαδή:

$$BP_x = CumBP_x - CumBP_{x-1} \quad \text{για } x = 1, 2, 3, \dots \quad (Δ.2)$$

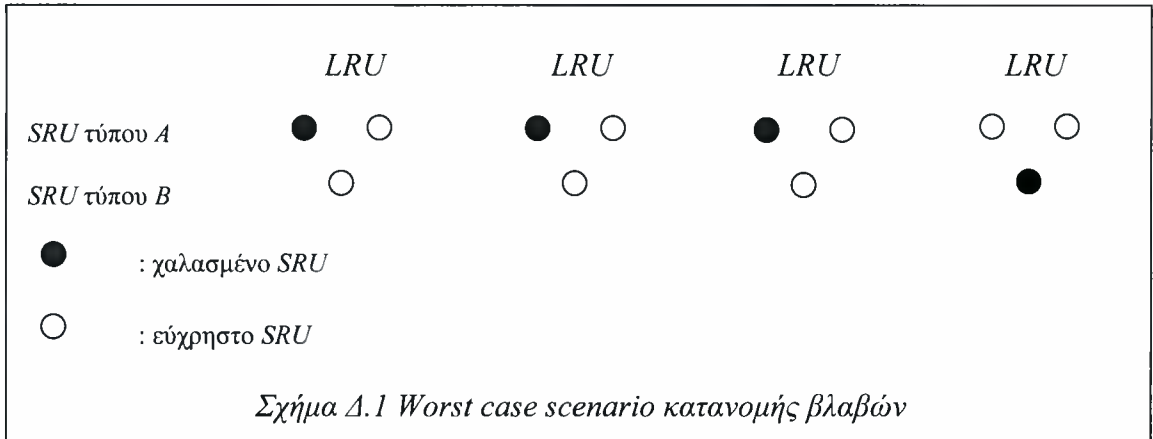
$$BP_0 = CumBP_0$$

όπου  $CumBP_x$  είναι η *CDF* της  $BP$ .

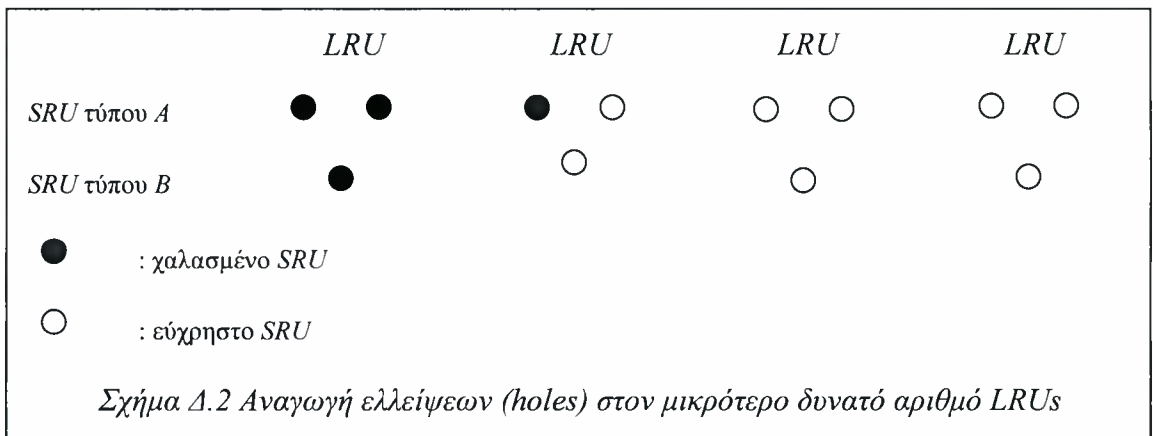
Κρίσιμο στοιχείο στον υπολογισμό της  $CumBP$  είναι το γεγονός ότι επιτρέπεται η αφαίρεση  $SRUs$  από τα  $LRUs$  που βρίσκονται καθηλωμένα λόγω αναμονής  $SRUs$  (προφανώς άλλων από αυτά που αποψιλώνονται), έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των  $AWP LRUs$  ή ισοδύναμα να συγκεντρωθούν οι ελλείψεις των  $SRUs$  στο μικρότερο δυνατό αριθμό  $LRUs$ . Ο όρος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την διαδικασία αυτή αποψίλωσης  $SRUs$  από κάποιο ήδη καθηλωμένο  $LRU$  με σκοπό την αξιοποίηση κάποιου άλλου, είναι “κανιβαλισμός” (*cannibalization*).

Για παράδειγμα ας θεωρήσουμε την περίπτωση ενός  $LRU$  το οποίο αποτελείται από συνολικά 3  $SRUs$ , 2 διαφορετικών τύπων (υπάρχουν 2  $SRUs$  τύπου  $A$

και 1 SRU τύπου B). Αν θεωρήσουμε ότι υπάρχουν 3 ελλείψεις (τρύπες - holes) σε SRU τύπου A και 1 έλλειψη σε SRU τύπου B, τότε στην χειρότερη περίπτωση (*worst case scenario*), η κατανομή των βλαβών των SRUs θα μπορούσε να αναχθεί σε 4 LRU όπως φαίνεται στο Σχήμα Δ.1:



Στην περίπτωση αυτή προκύπτουν 4 AWP LRUs. Σύμφωνα όμως με το μοντέλο που παρουσιάζεται, θεωρείται ότι θα πραγματοποιηθεί κανιβαλισμός SRUs. Η διαδικασία αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα να προκύψουν τελικά μόνο 2 AWP LRUs, όπως φαίνεται στο Σχήμα Δ.2. Επισημαίνεται ότι ο κανιβαλισμός είναι κοινή πρακτική που ακολουθείται στα συνεργεία 2<sup>ου</sup> βαθμού συντήρησης και ειδικότερα για τα υλικά Avionics, όταν τηρούνται βασικές διαδικασίες όπως π.χ μέτρα προστασίας ESD (*Electromagnetic Sensitive Device*) η διαδικασία δεν εμπεριέχει κανένα ρίσκο.



Η *CumBP* του LRU, λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτό αποτελείται από *I* SRUs, μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$CumBP_x = \prod_{i=1}^I CumSP_{i,x} \quad (\Delta.3)$$

όπου  $CumSP_{i,x}$  είναι η πιθανότητα το SRU *i* να αποτελέσει καθηλωτικό παράγοντα για λιγότερα ή ίσα με *x* επιπλέον AWP LRUs.

Για να αντιληφθούμε την επίδραση που έχει η δυνατότητα του κανιβαλισμού, ας θεωρήσουμε ένα *LRU* το οποίο αποτελείται από 2 *SRUs*. Αν το *SRU No1* με πιθανότητα 20% θα προκαλέσει το πολύ 3 επιπλέον *AWP LRUs* (δηλ. 0,1,2 ή 3) στην περίπτωση που εμφανιζόταν βλάβες μόνο σε αυτό το υλικό, και το *SRU No2* με πιθανότητα 30% θα προκαλέσει το πολύ 3 επιπλέον *AWP LRUs*, τότε η πιθανότητα να έχουμε 3 επιπλέον *AWP LRUs* με ελλείψεις και στα 2 *SRUs* στην περίπτωση που επιτρέπεται ο κανιβαλισμός θα είναι  $20\% \times 30\% = 6\%$ .

Στον υπολογισμό της *CumSP*, σημαντικό ρόλο παίζει η αρχική κατάσταση, δηλ. ο αρχικός αριθμός των *AWP LRUs* και οι ελλείψεις σε επίπεδο *SRUs*. Επισημαίνεται ότι ενδιαφερόμαστε για τα επιπλέον από τα αρχικά *LRUs* που θα καθηλωθούν λόγω έλλειψης υλικών (*AWP*). Έτσι, εάν π.χ. υπάρχουν αρχικά καθηλωμένα 10 *AWP LRUs* και ένα συγκεκριμένο *SRU* υπάρχει σε 2 θέσεις ανά *LRU* ( $Z_i=2$ ), τότε ουσιαστικά υπάρχουν στο συνεργείο 20 θέσεις του *SRU*. Κατά συνέπεια, εάν υποθέσουμε π.χ. ότι υπήρχαν αρχικά 7 τρύπες από το συγκεκριμένο *SRU*, συνεπάγεται ότι ακόμα και 13 νέες βλάβες του *SRU* δεν θα είχαν ως συνέπεια να καθηλωθεί άλλο *LRU* (δηλ. δεν θα είχαν ως συνέπεια αύξηση του αριθμού των *AWP LRUs*).

Ο υπολογισμός της  $CumSP_{i,x}$  γίνεται από τον τύπο:

$$CumSP_{i,x} = \sum_{y=0}^{SF_{i,x}} GP_{i,y} \quad (\Delta.4)$$

όπου  $SF_{i,x}$  είναι ο αριθμός των βλαβών του *SRU*  $i$  που μπορεί να συμβούν χωρίς να έχουν ως συνέπεια την καθήλωση επιπλέον  $x$  *LRUs*.

$GP_{i,y}$  είναι η πιθανότητα να προκληθούν  $y$  βλάβες στο *SRU*  $i$  στον χρονικό ορίζοντα που εξετάζεται το πρόβλημα.

Ο υπολογισμός της  $SF_{i,x}$  γίνεται με βάση την εξίσωση:

$$SF_{i,x} = (LA + x) * Z_i + S_i - BO_i \quad (\Delta.5)$$

όπου  $LA$  είναι ο αρχικός αριθμός καθηλωμένων *AWP LRUs*.

$Z_i$  είναι ο αριθμός των *SRU* τύπου  $i$  ανά *LRU*.

$S_i$  είναι ο αριθμός των εύχρηστων *SRU* τύπου  $i$  στην Μονάδα (στο αριθμό αυτό συνυπολογίζονται και τα *SRUs* εκείνα για τα οποία υπάρχει πληροφόρηση ότι επιστρέφουν στην Μονάδα).

$BO_i$  είναι ο αριθμός των ελλείψεων του *SRU* τύπου  $i$  στην Μονάδα.



## Δ.2 Δημιουργία Μοντέλου Καθορισμού Προτεραιοτήτων κατά την Προώθηση των SRUs για Επισκευή

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, είναι δυνατό να διαμορφωθεί ένα δυναμικό πλαίσιο καθορισμού προτεραιοτήτων στην διακίνηση των SRUs για επισκευή στην περίπτωση που τα κονδύλια τα οποία υπάρχουν για τον σκοπό αυτό, είναι περιορισμένα και δεν επιτρέπουν την προώθηση όλων των SRUs για επισκευή, λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση στην αρχή του χρονικού ορίζοντα και τον αναμενόμενο αριθμό των ζητήσεων σε επίπεδο SRU.

---

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Καθορίζω τον χρονικό ορίζοντα που θα μελετήσω και προσδιορίζω τον μέγιστο αριθμό βλαβών για το SRU  $i$  που μπορεί να αντιμετωπιστεί από την Μονάδα χωρίς να επηρεάσει την επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα του LRU στο τέλος του χρονικού ορίζοντα.

---

Ο αριθμός των βλαβών του SRU  $i$  που μπορεί να συμβούν χωρίς να έχουν ως συνέπεια την καθήλωση  $x$  επιπλέον LRUs, υπολογίζεται κάνοντας αναγωγή του αριθμού  $LA$  των καθηλωμένων στην αρχή του χρονικού ορίζοντα LRUs και των επιπλέον  $x$  LRUs σε θέσεις SRUs (λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό  $Z_i$  των SRUs ανά LRU), συνυπολογίζοντας τις πιθανές ελλείψεις  $BO_i$  ή αποθέματα  $S_i$ . Επισημαίνεται ότι στα αποθέματα λαμβάνονται υπόψη και οι αναμενόμενες ικανοποιήσεις των αιτήσεων:  $SF_{i,x} = (LA + x) * Z_i + S_i - BO_i$

---

**Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Προσδιορίζω την πιθανότητα το SRU  $i$  να μην δημιουργήσει πρόβλημα στον χρονικό ορίζοντα που μελετώ. Δημιουργώ λίστα των  $I$  SRUs από τα οποία απαρτίζεται το LRU, ανάλογα με την πιθανότητα να αποτελέσουν παράγοντα κρισιμότητας για το LRU. Χαρακτηρίζω τα SRUs ως Red Risk - High Risk - Medium Risk - Low Risk ανάλογα με κριτήρια που έχω προκαθορίσει.

---

$CumSP_{i,x}$  είναι η πιθανότητα το SRU  $i$  να αποτελέσει καθηλωτικό παράγοντα για λιγότερα ή ίσα με  $x$  επιπλέον AWP LRUs και  $GP_{i,y}$  η πιθανότητα να προκληθούν

$y$  βλάβες στο SRU  $i$  στον χρονικό ορίζοντα που εξετάζεται:  $CumSP_{i,x} = \sum_{y=0}^{SF_{i,x}} GP_{i,y}$

**Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Προσδιορίζω την πιθανότητα να μην δημιουργηθεί κρισιμότητα στο LRU που εξετάζω, λαμβάνοντας υπόψη την ανεξαρτησία των ζητήσεων των I SRUs από τα οποία αποτελείται.

$CumBP_x$  είναι η CDF της BP όπου  $BP_x$  αντικατοπτρίζει την πιθανότητα να εμφανιστούν κατά την διάρκεια του χρονικού ορίζοντα που εξετάζεται  $x$  επιπλέον καθηλωμένα LRUs λόγω αναμονής υλικών (AWP LRUs) σε σχέση με αυτά που υπήρχαν κατά την έναρξη της χρονικής περιόδου. Στην προσέγγιση αυτή, λαμβάνονται υπόψη οι πιθανότητες έλλειψης των I SRUs:  $CumBP_x = \prod_{i=1}^I CumSP_{i,x}$

**Βήμα 4<sup>ο</sup>:** Επαναλαμβάνω τα Βήματα 1 έως 3 για όλα τα LRUs που υποστηρίζω.

**Βήμα 5<sup>ο</sup>:** Προσδιορίζω αρχικά εκείνα τα LRUs στην υποστήριξη των οποίων αναμένεται να δημιουργηθεί πρόβλημα. Από αυτά τα LRUs ανατρέχω στην αντίστοιχη λίστα που έχει δημιουργηθεί στο Βήμα 2 και προσδιορίζω τα SRUs εκείνα που με μεγάλη πιθανότητα (Red Risk) θα αποτελέσουν την αιτία κρισιμότητας.

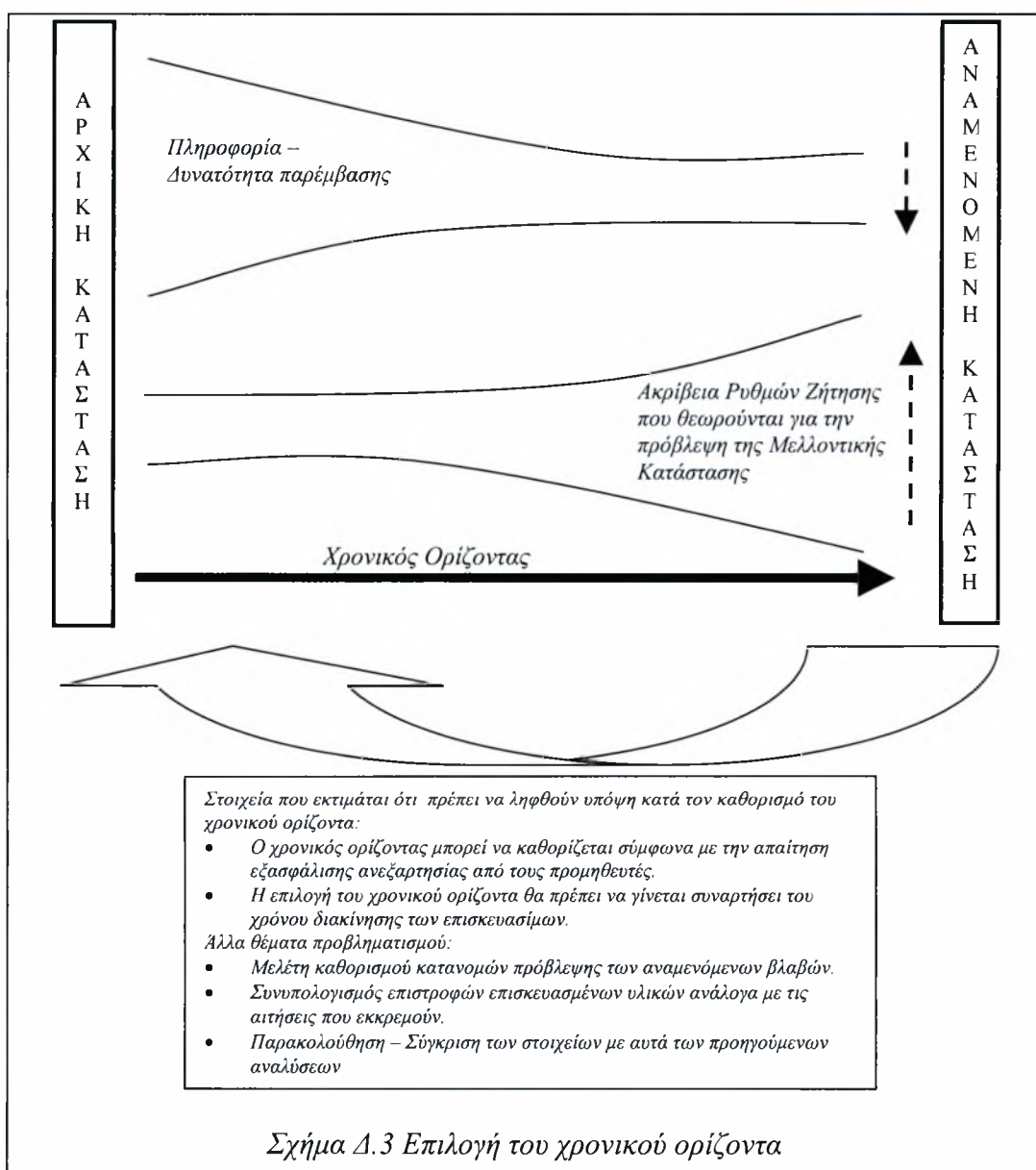
**Βήμα 6<sup>ο</sup>:** Για τα SRUs που έχουν προσδιοριστεί στο Βήμα 5 καθορίζω ότι αυτά θα προωθούνται άμεσα σε επισκευαστικούς φορείς (επιπλέον αξιολογείται ανάλογα με την κρισιμότητα, η χρησιμοποίηση ταχύτερων μέσων μεταφοράς). Δεσμεύω το αντίστοιχο ποσό από το προβλεπόμενο κονδύλιο.

**Βήμα 7<sup>ο</sup>:** Επαναλαμβάνω τα Βήματα 5 και 6 για όλα τα LRUs, αυτή την φορά ανά κατηγορία κρισιμότητας High Risk – Medium Risk – Low Risk των SRUs όπως αυτή έχει καθοριστεί στο Βήμα 2 και μέχρι την εξάντληση του σχετικού κονδυλίου..

**Βήμα 8<sup>ο</sup>:** Στο τέλος του χρονικού ορίζοντα ανάλογα με το κονδύλιο που δεν έχει χρησιμοποιηθεί, επαναξιολογώ τις απαιτήσεις και προωθώ, με την ίδια αρχή (concept) που έχει καθοριστεί παραπάνω και άλλα SRUs για επισκευή. Επιπλέον ενημερώνω την βάση δεδομένων με τις τελευταίες (updated) ζητήσεις σε SRUs που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στο επόμενο χρονικό ορίζοντα που θα μελετήσω το πρόβλημα, θέτοντας

επιπλέον συντελεστές βαρύτητας ανάλογα με την αξιολόγηση παραγόντων που έχουν οδηγήσει σε αύξηση ή μείωση της αναμενόμενης ζήτησης στον τρέχοντα χρονικό ορίζοντα.

Στο Σχήμα Δ.3 παρουσιάζεται παραστατικά ο τρόπος που η επιλογή του χρονικού ορίζοντα επηρεάζει την δυνατότητα παρέμβασης για τον εντοπισμό του προβλήματος που ενδέχεται να αποτελεί το αίτιο για μια έξαρση ζητήσεων, καθώς και την ακρίβεια των θεωρούμενων ρυθμών ζήτησης. Επιπλέον αναφέρονται στοιχεία που εκτιμάται ότι πρέπει να αξιολογηθούν κατά την επιλογή του χρονικού ορίζοντα και κάποια θέματα προβληματισμού.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε:

### ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ

#### E.0 Γενικά

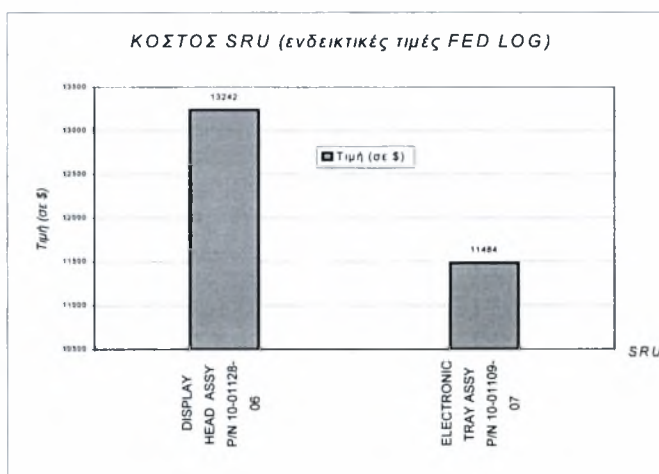
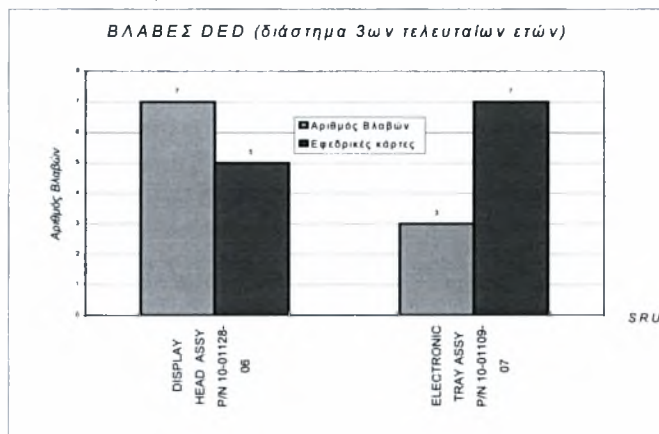
Στο Παράρτημα αυτό, πραγματοποιείται αξιολόγηση της υπάρχουσας σύνθεσης αποθεμάτων επτά διαφορετικών *LRUs* τα οποία έχουν επιλεγεί με βάση τα κριτήρια που αναφέρονται αμέσως παρακάτω. Για την ανάλυση χρησιμοποιείται το μοντέλο και οι τέσσερις στρατηγικές που διαμορφώθηκαν στο *Κεφάλαιο 4*.

<u>LRU</u>	<u>Κριτήρια επιλογής</u>
□ DED	(76) Το <i>LRU</i> αποτελείται από δύο μόνο <i>SRUs</i> . Με βάση την απλή αυτή περίπτωση, αναλύονται οι παράμετροι του προβλήματος.
□ DTU	(76) Το <i>LRU</i> αποτελείται από μικρό σχετικά αριθμό <i>SRUs</i> . Το σύνολο των <i>SRUs</i> παρουσιάζει κάποια διακίνηση.
□ EU	(76) Το <i>LRU</i> αποτελείται από αρκετά μεγάλο αριθμό <i>SRUs</i> και παρουσιάζει διαπιστωμένη χαμηλή διαθεσιμότητα.
□ PDG	(36) Το συγκεκριμένο <i>LRU</i> παρουσιάζει χαρακτηριστική κατανομή βλαβών όπου μεγάλος αριθμός των <i>SRUs</i> παρουσιάζει μηδενική ζήτηση.
□ DFLCC	(40) Το <i>LRU</i> είναι ο υπολογιστής του συστήματος <i>flight control</i> και απαρτίζεται ουσιαστικά από τέσσερις ανεξάρτητους ίδιους υπολογιστές. Η ύπαρξη κοινών <i>SRUs</i> έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της διαθεσιμότητας στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η δυνατότητα του κανιβαλισμού.
□ SINU	(36) Το <i>LRU</i> αυτό αναλύεται γιατί αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση καθώς το υλικό που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ζήτηση έχει 10πλάσιο κόστος συγκριτικά με τα υπόλοιπα <i>SRUs</i> . Επιπλέον το <i>LRU</i> παρουσιάζει χαμηλή διαθεσιμότητα και προβλήματα υποστήριξης.
□ MFD	(76) Χαρακτηριστικό στοιχείο του <i>LRU</i> είναι ότι ένα από τα <i>SRUs</i> του είναι λυχνία που παρουσιάζει ευαισθησία σε περιβαλλοντολογικούς παράγοντες και επιπλέον υπόκειται σε γήρανση. Το <i>LRU</i> αναλύεται προκειμένου να σχολιαστεί η πολιτική που πρέπει να ακολουθείται σε υλικά που παρουσιάζουν εποχιακά αυξημένη ζήτηση ή υλικά που λόγω της φύσης τους με κάποια πιθανότητα καταδικάζονται.

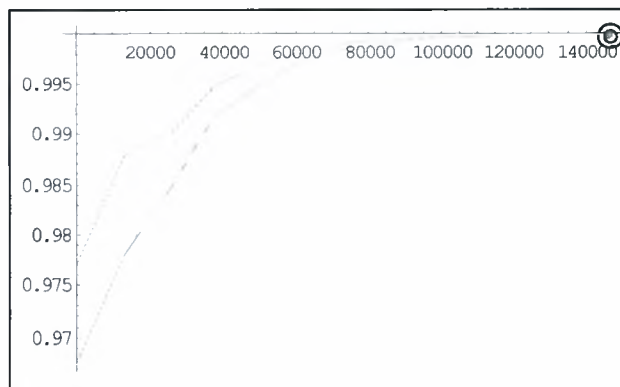
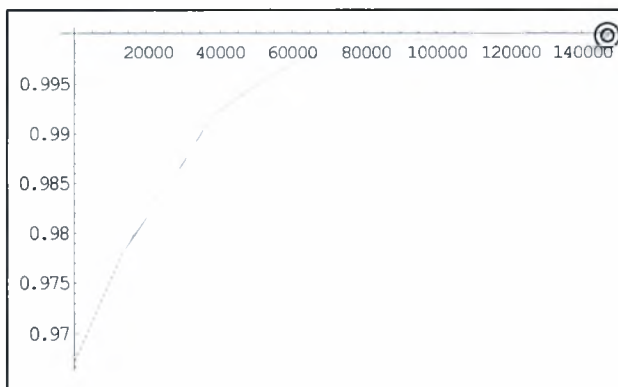
*Υποσημείωση: Στην παρένθεση αναφέρεται ο αριθμός των LRU που υποστηρίζονται*

## E.1 Μελέτη Περίπτωσης DED (Data Entry Display)

### Βλάβες ζετίας και κόστος SRUs



### Διαθεσιμότητα συναρτήσει του κόστους, της στρατηγικής και της δυνατότητας ή μη κανιβαλισμού



⊙ : Υπάρχουσα Σύνθεση Αποθεμάτων

Προορισμός βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων για την επίτευξη παρόμοιων επιπέδων διαθεσιμότητας με αυτά που επιτυγχάνονται με την παρούσα σύνθεση αποθεμάτων (Περίπτωση Α2,Α3)

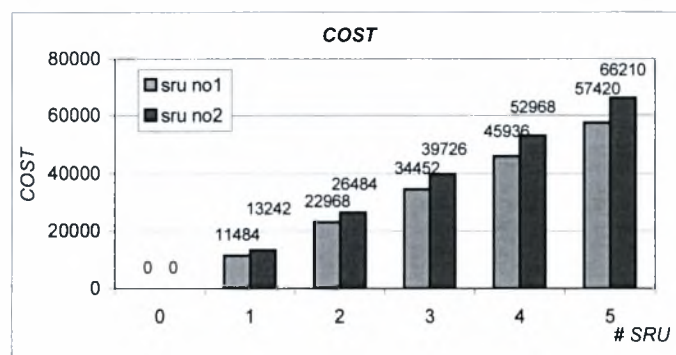
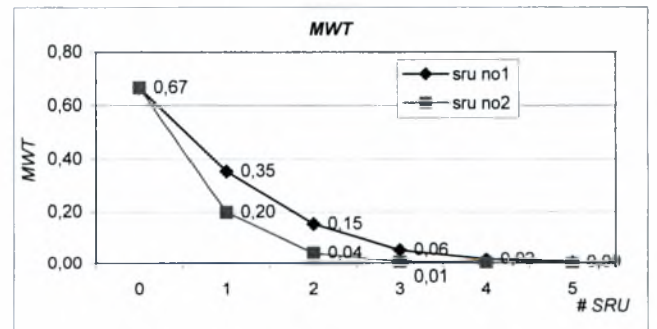
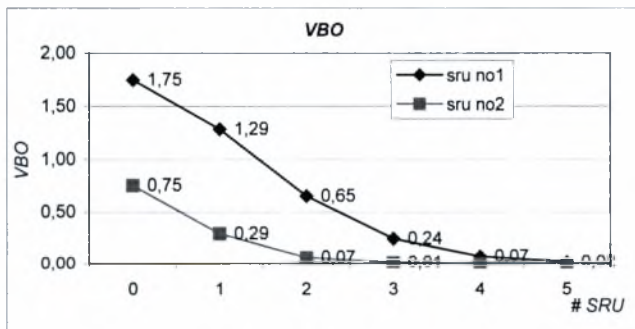
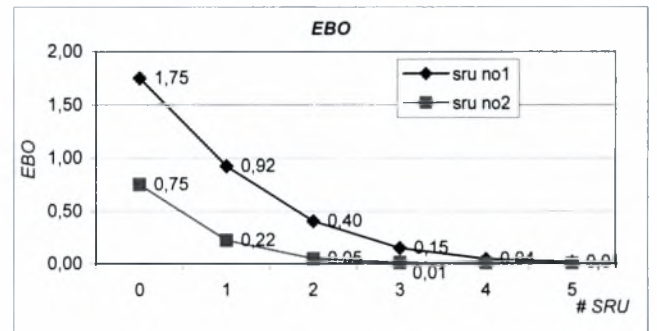
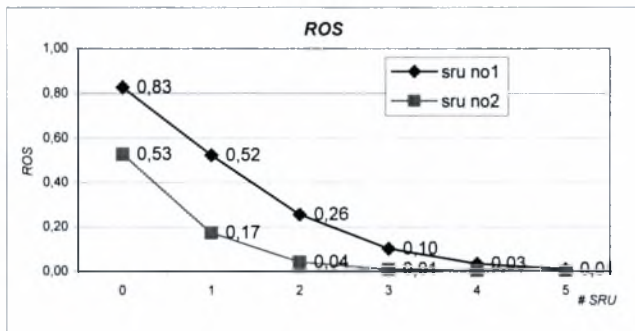
<b>A1</b>	<b># Systems</b>	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
current situation	76	99,9843	99,9843	146598	-5-7	
<b>A2</b>	Target Availability	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	99,9843	<b>99,9852</b>	99,9888	113904	-6-3	<b>22,30%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						
<b>A3</b>	Target Availability with Cannibalization	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	99,9843	99,9731	<b>99,9843</b>	100662	-5-3	<b>31,33%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						

Επίτευξη καθορισμένων επιπέδων διαθεσιμότητας χωρίς να ληφθεί υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Β2,Β3) και λαμβάνοντας υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Γ1,Γ2)

<b>B1</b>	Target Availability	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	75/76=98,68	<b>98,4955</b>	98,7845	24726	-1-1	<b>83,13%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						
		<b>98,4899</b>	99,0132	26484	-2-0	<b>81,93%</b>
		<b>98,4955</b>	98,7845	24726	-1-1	<b>83,13%</b>
		<b>98,4899</b>	99,0132	26484	-2-0	<b>81,93%</b>
<b>B2</b>	Target Availability	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	74/76=97,36	<b>97,8097</b>	98,7845	13242	-1-0	<b>90,97%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						
<b>Γ1</b>	Target Availability with Cannibalization	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	75/76=98,68	97,8097	<b>98,7845</b>	13242	-1-0	<b>90,97%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						
<b>Γ2</b>	Target Availability with Cannibalization	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	74/76=97,36	96,7332	<b>97,6974</b>	0	-0-0	<b>100,00%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						

## Συμπεράσματα

Ακόμα και στην πιο απλή περίπτωση που ένα *LRU* αποτελείται από δύο μόνο *SRUs*, όπως στο συγκεκριμένο παράδειγμα, δεν είναι προφανής η σύνθεση αποθεμάτων που πρέπει να επιλεγεί, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα “δεδομένα” του προβλήματος (δηλ. τον ρυθμό ζήτησης, τον κύκλο επισκευής του υλικού και το κόστος του υλικού). Επιλέγοντας μια ορισμένη σύνθεση αποθεμάτων, μεταβάλλονται αντίστοιχα οι δείκτες μέτρησης της αποτελεσματικότητας που έχουν οριστεί στο Κεφάλαιο 4 με τον τρόπο που παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα. Στον οριζόντιο άξονα των διαγραμμάτων, αντιστοιχίζεται το ύψος των αποθεμάτων για τα δύο *SRUs*, ενώ στον κάθετο άξονα αναφέρεται η τιμή του αντίστοιχου δείκτη αποτελεσματικότητας που επιτυγχάνεται.



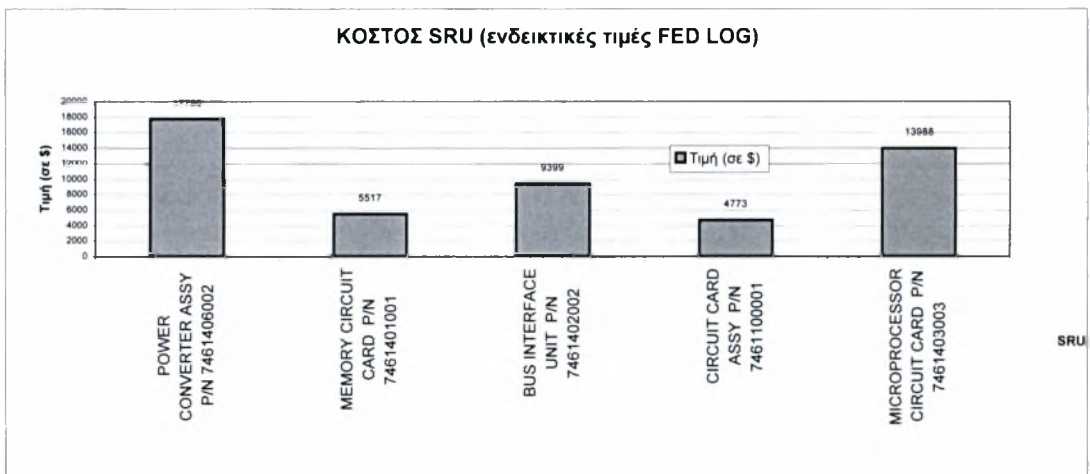
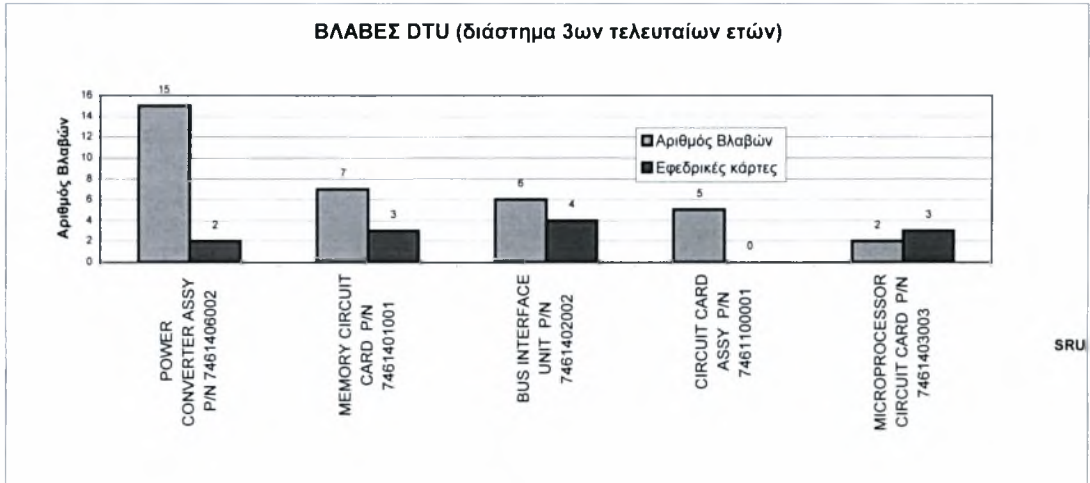
Όπως προκύπτει από την ανάλυση, η ίδια διαθεσιμότητα θα μπορούσε να επιτευχθεί με 22.30% και 31.33% μικρότερο κόστος ανάλογα εάν ληφθεί υπόψη ή όχι η δυνατότητα κανιβαλισμού.

Στην απλή αυτή περίπτωση παρατηρούμε ότι όλες οι στρατηγικές οδηγούν σε επιλογή κοινής σύνθεσης αποθεμάτων με εξαίρεση την περίπτωση *B1* όπου η *strategy 3* δίνει διαφορετική προτεινόμενη σύνθεση αποθεμάτων (με ελάχιστες ωστόσο διαφοροποιήσεις στην διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται). Αξίζει να σημειωθεί ότι για το συγκεκριμένο *LRU* δεν θα παρουσιαζόταν προβλήματα στην υποστήριξή του ακόμα και εάν διατηρούσαμε μηδενικά αποθέματα.

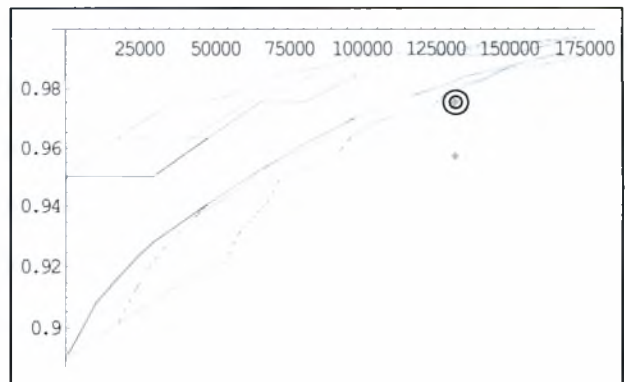
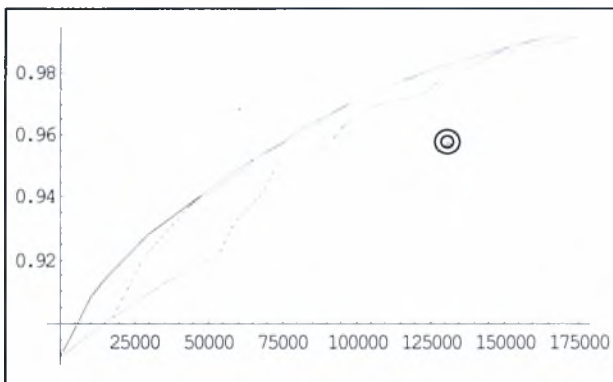


## E.2 Μελέτη Περίπτωσης DTU (Data Transfer Unit)

Βλάβες ζετίας και κόστος SRUs



Διαθεσιμότητα συναρτήσει του κόστους, της στρατηγικής και της δυνατότητας ή μη κανιβαλισμού



⊙ : Υπάρχουσα Σύνθεση Αποθεμάτων

Προορισμός βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων για την επίτευξη παρόμοιων επιπέδων διαθεσιμότητας με αυτά που επιτυγχάνονται με την παρούσα σύνθεση αποθεμάτων (Περίπτωση Α2,Α3)

<b>A1</b>	<b># Systems</b>	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
current situation	76	95,6988	97,5194	131707	-2-3-4-0-3	
<b>A2</b>	Target Availability	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	95,6988	<b>95,7808</b>	97,5194	74974	-2-2-2-2-0	<b>43,08%</b>
strategy 1a						
strategy 2		<b>96,1503</b>	98,4707	83373	-3-2-1-2-0	<b>36,70%</b>
strategy 3		<b>95,6996</b>	98,4707	78600	-3-2-1-1-0	<b>40,32%</b>
strategy 4		<b>95,6942</b>	98,7845	90881	-4-1-1-1-0	<b>31,00%</b>
<b>A3</b>	Target Availability with Cannibalization	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	97,5194	95,2215	<b>97,5194</b>	65575	-2-2-1-2-0	<b>50,21%</b>
strategy 1a						
strategy 2		94,7752	<b>97,5194</b>	60802	-2-2-1-1-0	<b>53,84%</b>
strategy 3		91,2531	<b>97,5194</b>	35596	-2-0-0-0-0	<b>72,97%</b>
strategy 4						

Επίτευξη καθορισμένων επιπέδων διαθεσιμότητας χωρίς να ληφθεί υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Β2,Β3) και λαμβάνοντας υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Γ1,Γ2)

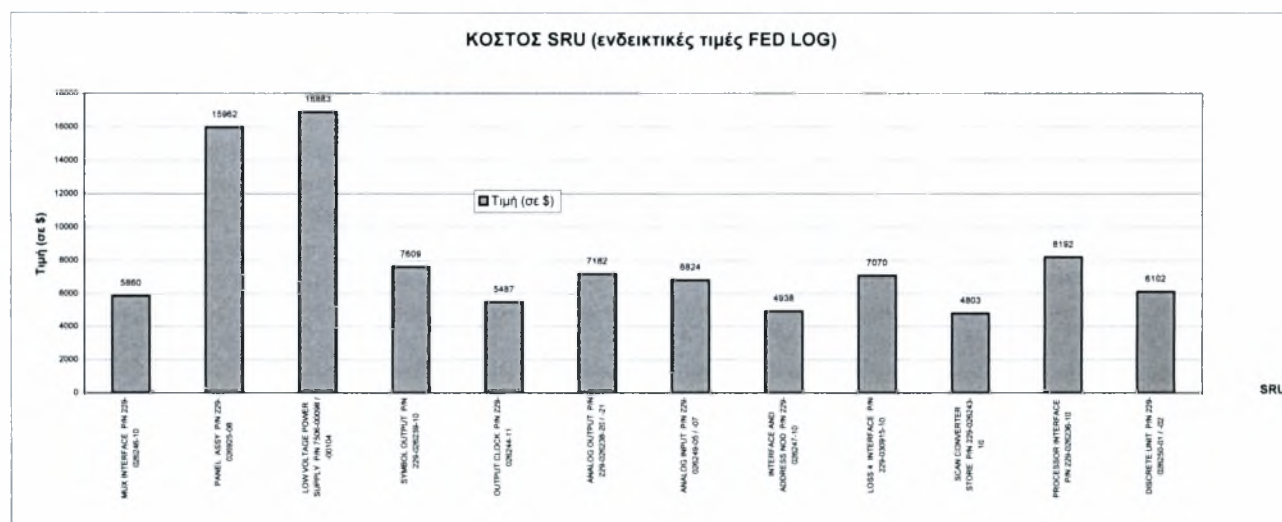
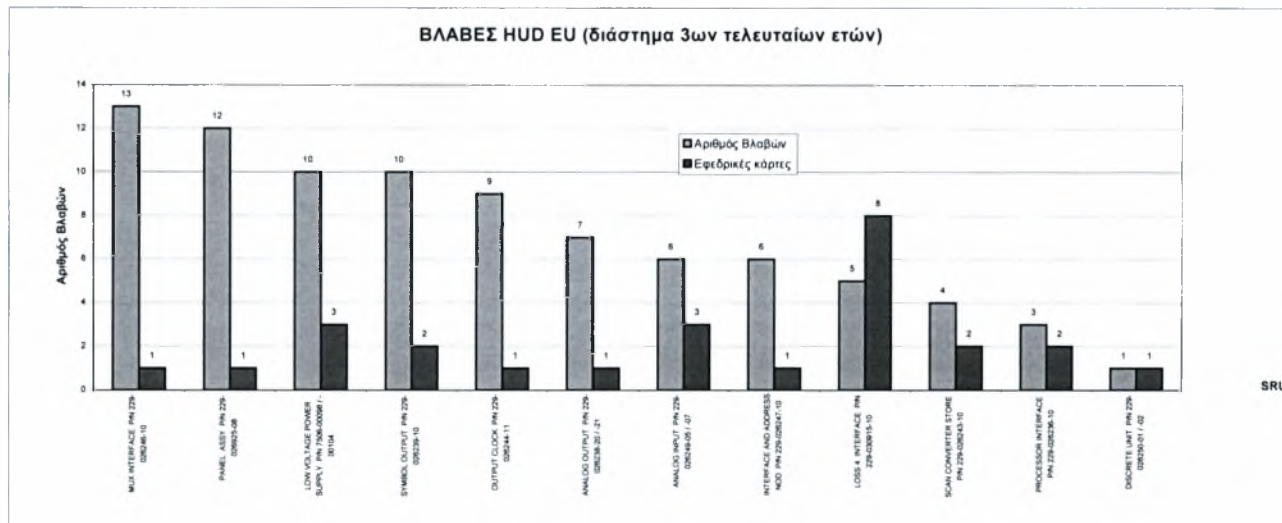
<b>B1</b>	Target Availability	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	75/76=98,68	<b>98,6498</b>	99,1499	149764	-4-3-3-3-1	<b>-13,71%</b>
strategy 1a						
strategy 2		<b>98,8127</b>	99,5742	152646	-5-3-2-3-1	<b>-15,90%</b>
strategy 3		<b>98,6415</b>	99,5742	147873	-5-3-2-2-1	<b>-12,27%</b>
strategy 4						
<b>B2</b>	Target Availability	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	74/76=97,36	<b>97,0426</b>	98,4707	98289	-3-3-2-2-0	<b>25,37%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3		<b>97,4309</b>	99,1499	119785	-4-2-2-1-1	<b>9,05%</b>
strategy 4		<b>97,3405</b>	99,2941	123595	-5-2-2-1-0	<b>6,16%</b>
<b>Γ1</b>	Target Availability with Cannibalization	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	75/76=98,68	97,0426	<b>98,4707</b>	98289	-3-3-2-2-0	<b>25,37%</b>
strategy 1a						
strategy 2		96,1503	<b>98,4707</b>	83373	-3-2-1-2-0	<b>36,70%</b>
strategy 3		95,6996	<b>98,4707</b>	78600	-3-2-1-1-0	<b>40,32%</b>
strategy 4		95,6942	<b>98,7845</b>	90811	-4-1-1-1-0	<b>31,05%</b>
<b>Γ2</b>	Target Availability with Cannibalization	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	74/76=97,36	95,2215	<b>97,5194</b>	65575	-2-2-1-2-0	<b>50,21%</b>
strategy 1a						
strategy 2		94,7752	<b>97,5194</b>	60802	-2-2-1-1-0	<b>53,84%</b>
strategy 3		91,2531	<b>97,5194</b>	35596	-2-0-0-0-0	<b>72,97%</b>
strategy 4						

### **Συμπεράσματα**

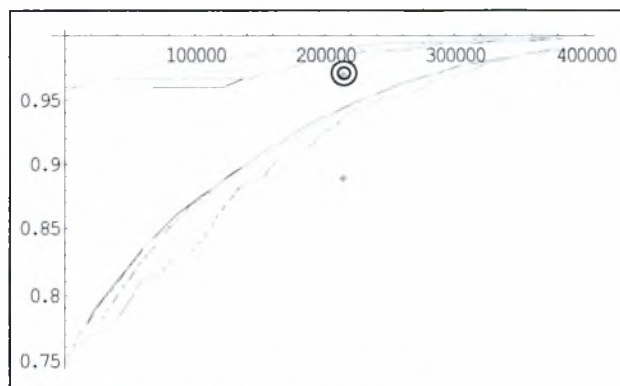
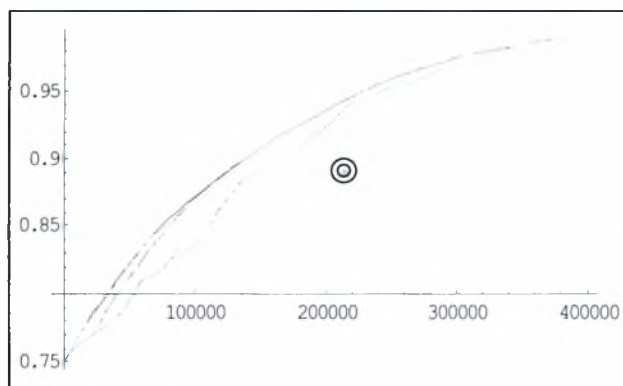
Από την περίπτωση A2 αποκτούμε μια συναίσθηση όσον αφορά τον τρόπο που δουλεύουν οι τέσσερις στρατηγικές. Η *strategy 1* έχει την τάση να διαμορφώσει, ανάλογα βέβαια με το κόστος των *SRUs* και την ζήτηση που παρουσιάζουν, μια “ομοιόμορφη” κατανομή των αποθεμάτων. Από την άλλη πλευρά, η *strategy 4* εστιάζει στην απόκτηση του *SRU* εκείνου που αποτελεί την κύρια αιτία των βλαβών του *LRU*, για να επιτύχει την μέγιστη δυνατή διαθεσιμότητα εκμεταλλευόμενη στο έπακρο την δυνατότητα του κανιβαλισμού. Τέλος, η *strategy 2* και *3* αποτελούν μια “ενδιάμεση” λύση στις δυο ακραίες αυτές στρατηγικές, αφού εστιάζουν μεν στο *SRU* που θα καθορίσει την διαθεσιμότητα όταν θεωρηθεί η δυνατότητα του κανιβαλισμού, όχι όμως με την ένταση της *strategy 4*. Οι συνθέσεις αποθεμάτων λοιπόν που προτείνονται από τις *strategy 2* και *3*, δίνουν ενδιάμεσες τιμές τόσο για την διαθεσιμότητα χωρίς κανιβαλισμό όσο και για την διαθεσιμότητα με κανιβαλισμό.

### E.3 Μελέτη Περίπτωσης EU (Electronic Unit)

Βλάβες ζετίας και κόστος SRUs



Διαθεσιμότητα συναρτήσει του κόστους, της στρατηγικής και της δυνατότητας ή μη κανιβαλισμού



⊙ : Υπάρχουσα Σύθεση Αποθεμάτων

Προορισμός βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων για την επίτευξη παρόμοιων επιπέδων διαθεσιμότητας με αυτά που επιτυγχάνονται με την παρούσα σύνθεση αποθεμάτων (Περίπτωση Α2,Α3)

A1	# Systems	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
current situation	76	88,849	96,9885	214420	-1-1-3-2-1-1-3-1-8-2-2-1	
A2	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	88,849	<b>88,7309</b>	96,0526	120681	-4-1-0-3-3-2-2-2-1-1-1-0	<b>43,72%</b>
strategy 1a		<b>88,7213</b>	96,7105	120842	-4-1-0-2-3-2-2-2-1-1-0-0	<b>43,64%</b>
strategy 2		<b>88,8438</b>	97,3029	125414	-4-1-1-2-2-2-1-2-1-1-0-0	<b>41,51%</b>
strategy 3		<b>89,0302</b>	98,3567	140279	-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-0-0	<b>34,58%</b>
strategy 4		<b>88,9673</b>	98,6842	151438	-3-3-2-2-2-1-1-1-1-0-0-0	<b>29,37%</b>
A3	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	96,9885	91,3264	<b>97,3029</b>	158329	-4-1-1-3-3-2-2-2-1-2-1-0	<b>26,16%</b>
strategy 1a						
strategy 2		87,2408	<b>97,3029</b>	107434	-3-1-1-2-2-1-1-1-1-1-0-0	<b>49,90%</b>
strategy 3		80,8216	<b>97,3029</b>	57661	-2-1-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	<b>73,11%</b>
strategy 4		79,8529	<b>97,0395</b>	52174	-2-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0-0	<b>75,67%</b>

Επίτευξη καθορισμένων επιπέδων διαθεσιμότητας χωρίς να ληφθεί υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Β2,Β3) και λαμβάνοντας υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Γ1,Γ2)

B1	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	75/76=98,68					
strategy 1a		<b>98,6382</b>	99,5798	354139	-6-4-4-5-5-4-3-3-3-2-1	<b>-65,16%</b>
strategy 2						
strategy 3		<b>98,6835</b>	99,8084	369512	-6-5-5-5-4-3-3-3-2-2-1	<b>-72,33%</b>
strategy 4						
B2	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	74/76=97,36					
strategy 1a		<b>97,3123</b>	99,4563	291053	-5-4-3-4-4-3-3-3-2-2-1	<b>-35,74%</b>
strategy 2						
strategy 3		<b>97,3793</b>	99,5798	302449	-5-4-4-4-3-3-3-2-2-1-1	<b>-41,05%</b>
strategy 4		<b>97,3321</b>	99,6303	312858	-5-5-4-4-4-3-3-2-2-1-0	<b>-45,91%</b>
Γ1	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	75/76=98,68	95,162	<b>98,8561</b>	231106	-5-3-2-3-3-2-2-3-2-2-1-1	<b>-7,78%</b>
strategy 1a						
strategy 2		93,5917	<b>98,8561</b>	202333	-4-3-2-3-3-2-2-2-1-1-1-0	<b>5,64%</b>
strategy 3		89,7171	<b>98,7845</b>	156241	-3-3-2-2-2-1-1-1-1-1-0-0	<b>27,13%</b>
strategy 4						
Γ2	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	74/76=97,36	91,3264	<b>97,3029</b>	158329	-4-1-1-3-3-2-2-2-1-2-1-0	<b>26,16%</b>
strategy 1a						
strategy 2		888.438	<b>97,3029</b>	125414	-4-1-1-2-2-2-1-2-1-1-0-0	<b>41,51%</b>
strategy 3		80,8216	<b>97,3029</b>	57661	-2-1-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	<b>73,11%</b>
strategy 4						

### Συμπεράσματα

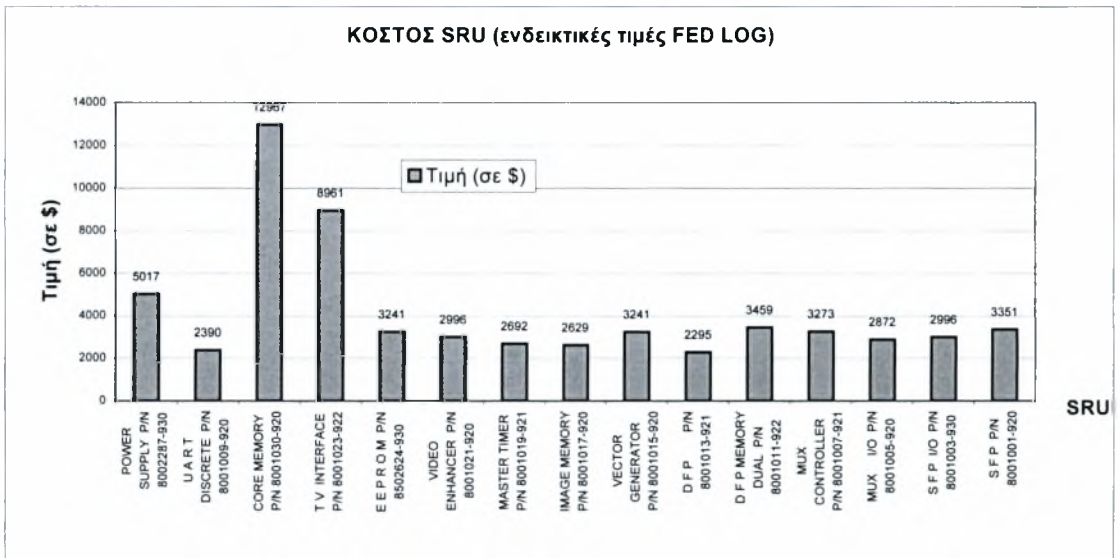
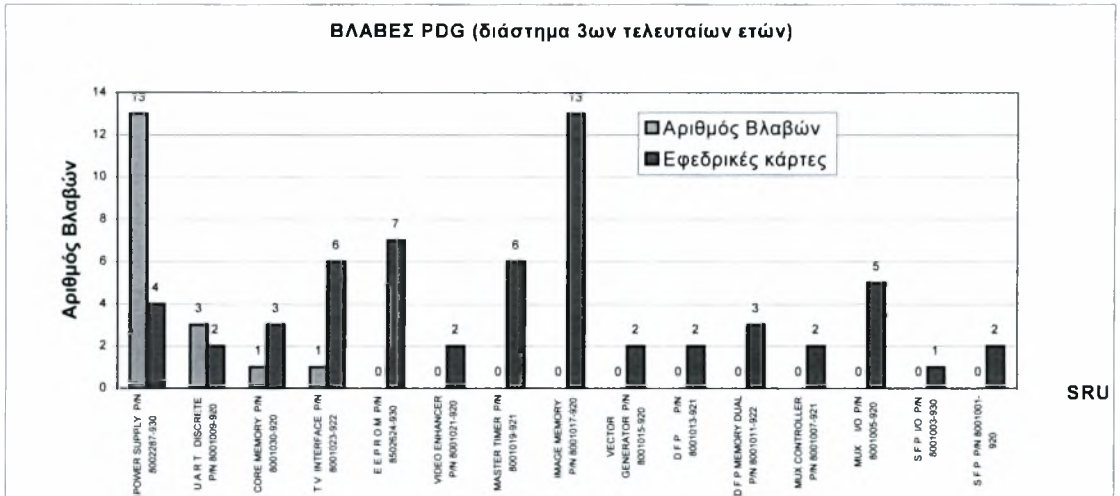
Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση A2, η *strategy 1a* δίνει διαφορετική σύνθεση από την *strategy 1*. Αυτό συμβαίνει για το λόγο ότι για να ικανοποιήσει η *strategy 1a* την απαίτηση η πιθανότητα ROS (*Risk Of Shortage*) να είναι φθίνουσα στο πεδίο ορισμού της, επιλέγει ως αρχική τιμή την τιμή 1 για το SRU που παρουσιάζει τον δεύτερο μεγαλύτερο ρυθμό ζήτησης (*Panel Assy*). Ωστόσο, όπως προκύπτει από το ραβδοδιάγραμμα του κόστους, το υλικό αυτό έχει 3πλάσιο κόστος σε σχέση με τα υπόλοιπα SRUs και για τον λόγο αυτό η *strategy 1* θα επιλέξει να αυξηθεί η σύνθεσή του συγκεκριμένου υλικού στην 19η επανάληψη του αλγορίθμου της Οριακής Ανάλυσης. Οι *strategy 3* και *4* στο συγκεκριμένο *case study*, δίνουν την ίδια σύνθεση αποθεμάτων με εξαίρεση την περίπτωση B2. Επίσης από την ανάλυση προκύπτει ότι με την υπάρχουσα σύνθεση των αποθεμάτων δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί ο επιδιωκόμενος στόχος να έχουμε το πολύ 1 ή 2 AWP (*Awaiting Parts*) LRUs, ακόμα και αν ληφθεί υπόψη η δυνατότητα κανιβαλισμού.

Με βάση την υπάρχουσα σύνθεση αποθεμάτων, είναι δυνατό να οδηγηθούμε στην επιδιωκόμενη διαθεσιμότητα. Το κόστος που θα απαιτηθεί για μια τέτοια μετάβαση, καθώς και η επιλεκτική αύξηση των αποθεμάτων ανάλογα με την στρατηγική που θα ακολουθηθεί, παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα:

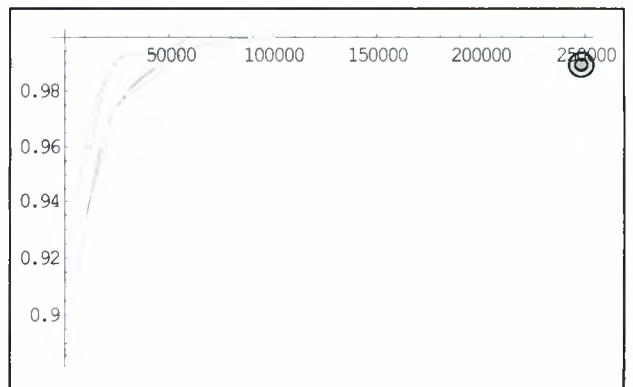
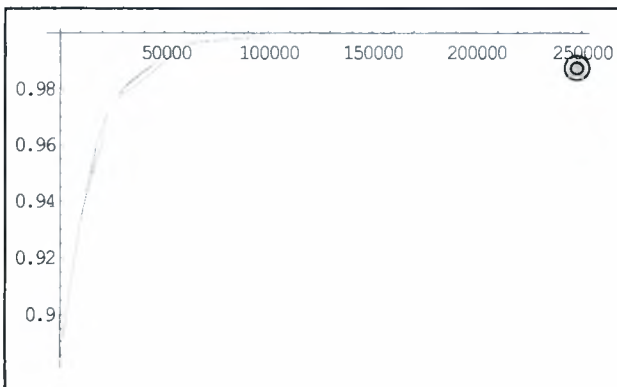
Στρατηγική	Αύξηση Σύνθεσης	Απαιτούμενο κόστος	Availability	AvailabilityCan (From current 96.98% to Target ->98.68%)
<i>strategy 1</i>	-4-1-0-1-2-1-0-2-0-0-0-0	75043(+34,99%)	95,6925%	98,3567%
<i>strategy 2</i>	-2-1-0-0-1-0-0-0-0-0-0-0	33169(+15,46%)	92,4037%	98,3567%
<i>strategy 3</i>	-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	33169(+15,46%)	92,4037%	98,3567%
Στρατηγική	Αύξηση Σύνθεσης	Απαιτούμενο κόστος	Availability	AvailabilityCan (From current 96.98% to Target->97.36%)
<i>strategy 1</i>	-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	5860(+2,73%)	89,8557%	97,3029%
<i>strategy 2</i>	-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	5860(+2,73%)	89,8557%	97,3029%
<i>strategy 3</i>	-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	5860(+2,73%)	89,8557%	97,3029%

### E.4 Μελέτη Περίπτωσης PDG (Programmable Display Generator)

Βλάβες ζετίας και κόστος SRUs



Διαθεσιμότητα συναρτήσευ του κόστους, της στρατηγικής και της δυνατότητας ή μη κανιβαλισμού



© : Υπάρχουσα Σύνθεση Αποθεμάτων

Προορισμός βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων για την επίτευξη παρόμοιων επιπέδων διαθεσιμότητας με αυτά που επιτυγχάνονται με την παρούσα σύνθεση αποθεμάτων (Περίπτωση Α2,Α3)

<b>A1</b>	<b># Systems</b>	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
current situation	36	98,8033	98,8485	248576	-4-2-3-6-7-2-6-13-2-2-3-2-5-1-2	
<b>A2</b>	Target Availability	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	98,8033	<b>98,8989</b>	99,3056	43843	-6-2-0-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	<b>82,36%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4		<b>98,9456</b>	99,4828	49403	-5-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	<b>80,13%</b>
<b>A3</b>	Target Availability with Cannibalization	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	98,8485	97,1093	<b>98,8485</b>	22458	-4-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	<b>90,97%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						

Επίτευξη καθορισμένων επιπέδων διαθεσιμότητας χωρίς να ληφθεί υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Β2,Β3) και λαμβάνοντας υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Γ1,Γ2)

<b>B1</b>	Target Availability	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	35/36=97,22	<b>97,1177</b>	98,8485	22458	-4-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	<b>90,97%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						
<b>B2</b>	Target Availability	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	34/36=94,44	<b>94,2739</b>	95,9623	12424	-2-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	<b>95,00%</b>
strategy 1a		<b>94,9502</b>	97,7135	15051	-3-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	<b>93,95%</b>
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						
<b>Γ1</b>	Target Availability with Cannibalization	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	35/36=97,22	95,9943	<b>97,7135</b>	17441	-3-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	<b>92,98%</b>
strategy 1a		94,942	<b>97,7135</b>	15051	-3-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	<b>93,95%</b>
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						
<b>Γ2</b>	Target Availability with Cannibalization	<b>Availability</b>	<b>AvailabilityCan</b>	<b>Cost</b>	<b>Spares Allocation</b>	<b>% Cost Reduction</b>
strategy 1	34/36=94,44	93,2404	<b>95,9623</b>	10034	-2-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	<b>95,96%</b>
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						



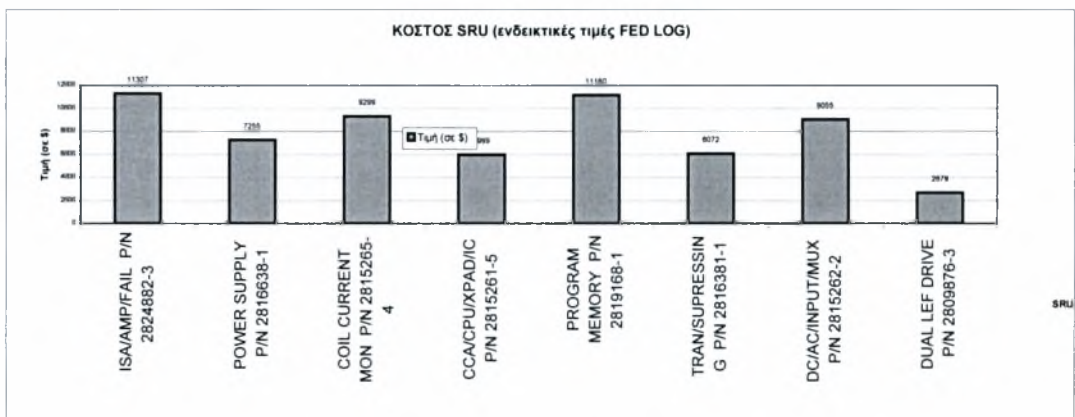
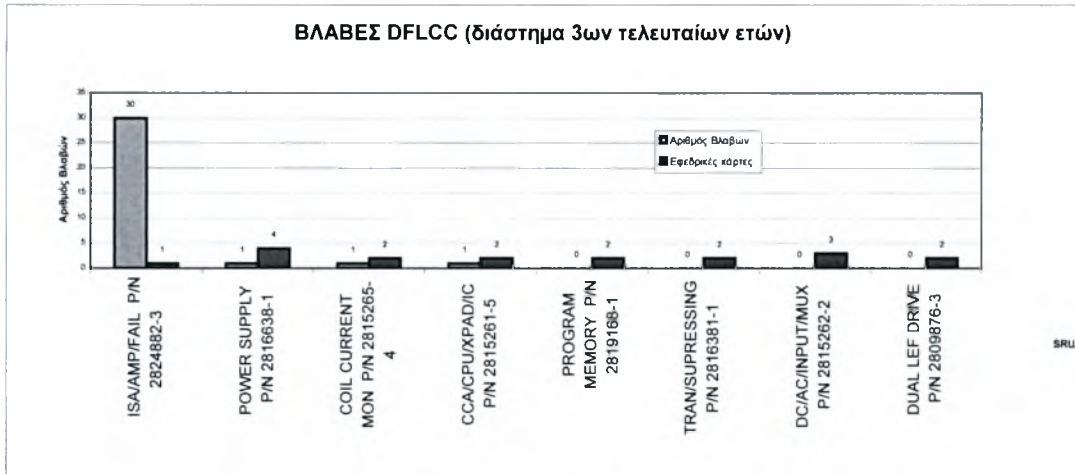
### **Συμπεράσματα**

Η ζήτηση σε επίπεδο *SRU* που παρουσιάζει το συγκεκριμένο *LRU*, είναι η τυπική ζήτηση που συναντάται στα περισσότερα ηλεκτρονικά συστήματα. Συνολικά 11 από τα 15 *SRUs* (ποσοστό 74%) δεν έχουν παρουσιάσει καμία βλάβη κατά την τελευταία τριετία ενώ περισσότερα από τα μισά, δεν έχουν παρουσιάσει ποτέ καμία βλάβη κατά την 12ετή υποστήριξη των 36 *LRUs*. Αξιόλογη κίνηση σε βάθος 3ετίας, έχουν παρουσιάσει μόνο 2 *SRUs* με παρουσιαζόμενες βλάβες 13 και 3 αντίστοιχα, ενώ άλλα 2 *SRUs* έχουν παρουσιάσει μόνο 1 βλάβη (ποσοστό 13% και για τις δύο περιπτώσεις).

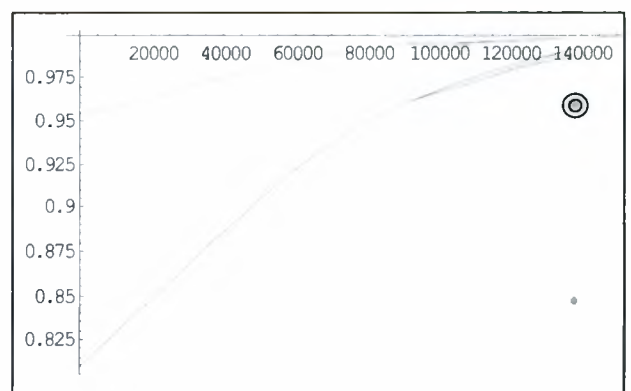
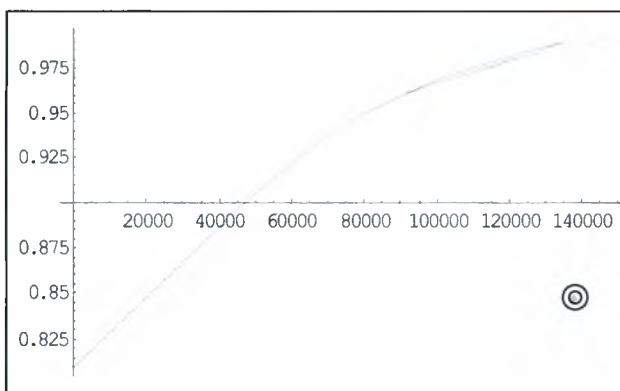
Είναι προφανές ότι η υψηλή διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται με την υπάρχουσα σύνθεση αποθεμάτων, θα μπορούσε να επιτευχθεί με πολύ χαμηλότερο κόστος εάν κατά την προμήθεια των αποθεμάτων υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία ζήτησης και αξιολογούνταν ως αναμενόμενη μια τέτοια κατάσταση. Η εφαρμογή της πολιτικής κοινού επιπέδου αποθεμάτων για όλα τα υλικά σε μια τέτοια τυπική κατανομή της ζήτησης προφανώς δίνει πολύ κακά αποτελέσματα.

## E.5 Μελέτη Περίπτωσης DFLCC (Digital FLight Control Computer)

Βλάβες ζετίας και κόστος SRUs



Διαθεσιμότητα συναρτήσει του κόστους, της στρατηγικής και της δυνατότητας ή μη κανιβαλισμού



Ⓢ : Υπάρχουσα Σύνθεση Αποθεμάτων

Προορισμός βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων για την επίτευξη παρόμοιων επιπέδων διαθεσιμότητας με αυτά που επιτυγχάνονται με την παρούσα σύνθεση αποθεμάτων (Περίπτωση Α2,Α3)

A1	# Systems	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
current situation	40	84,7027	95,9372	137910	-1-4-2-2-2-2-3-2	
A2	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	84,7027	85,2912	96,5592	22614	-2-0-0-0-0-0-0-0	83,60%
strategy 1a		91,6177	98,3021	56535	-5-0-0-0-0-0-0-0	59,01%
strategy 2		85,2912	96,5592	22614	-2-0-0-0-0-0-0-0	83,60%
strategy 3						
strategy 4						
A3	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	95,9372	83,1145	95,9372	11307	-1-0-0-0-0-0-0-0	91,80%
strategy 1a		91,6177	98,3021	56535	-5-0-0-0-0-0-0-0	59,01%
strategy 2		83,1145	95,9372	11307	-1-0-0-0-0-0-0-0	91,80%
strategy 3						
strategy 4						

Επίτευξη καθορισμένων επιπέδων διαθεσιμότητας χωρίς να ληφθεί υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Β2,Β3) και λαμβάνοντας υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Γ1,Γ2)

B1	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	39/40=97,5	97,9166	99,6732	115017	-9-1-0-1-0-0-0-0	16,60%
strategy 1a						
strategy 2		97,3815	99,8129	113070	10-0-0-0-0-0-0-0	18,01%
strategy 3		97,918	99,6732	118317	-9-1-1-0-0-0-0-0-0	14,21%
strategy 4						
B2	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	38/40=95	94,8767	99,1648	79149	-7-0-0-0-0-0-0-0	42,61%
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4						
Γ1	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	39/40=97,5	89,6121	97,7596	45228	-4-0-0-0-0-0-0-0	67,20%
strategy 1a		91,6177	98,3021	56535	-5-0-0-0-0-0-0-0	59,01%
strategy 2		89,6121	97,7596	45228	-4-0-0-0-0-0-0-0	67,20%
strategy 3						
strategy 4						
Γ2	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	38/40=95	80,9708	95,3125	0	-0-0-0-0-0-0-0-0	100,00%
strategy 1a		91,6177	98,3021	56535	-5-0-0-0-0-0-0-0	59,01%
strategy 2		80,9708	95,3125	0	-0-0-0-0-0-0-0-0	100,00%
strategy 3						
strategy 4						

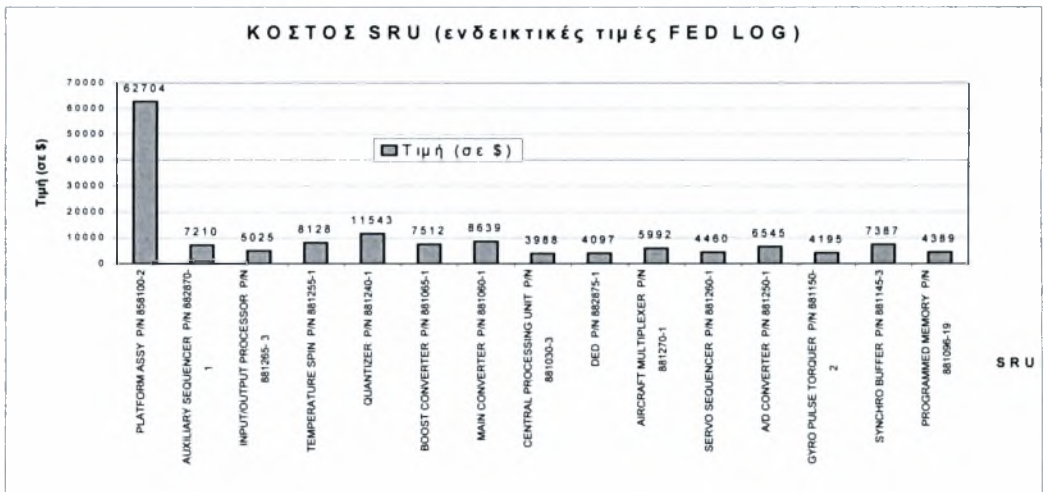
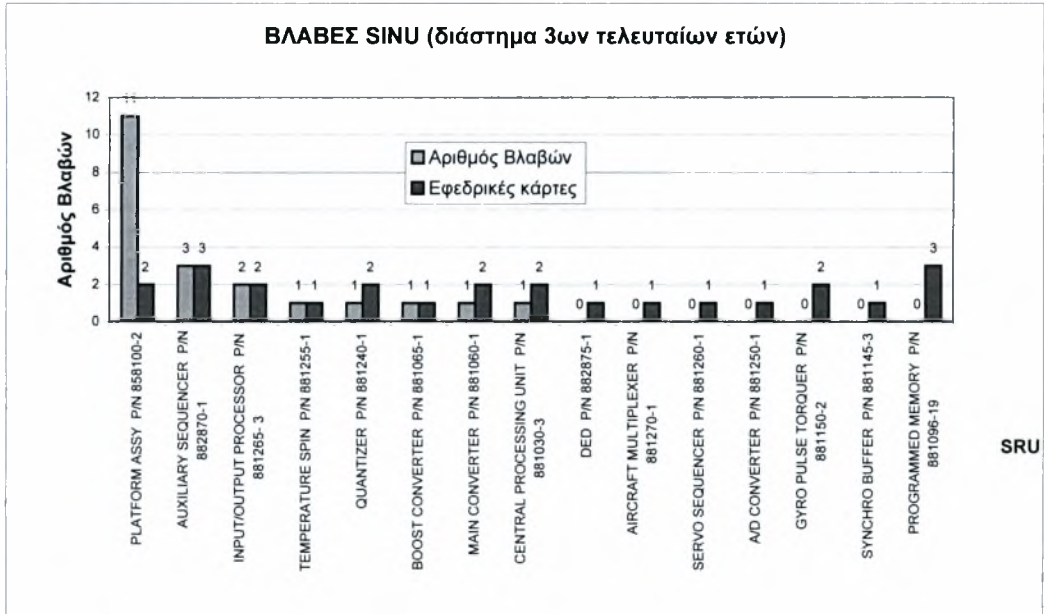
### Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει από τα στοιχεία της ζήτησης, το συγκεκριμένο *LRU* είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ένας άξιος αντιπρόσωπος της νέας γενιάς συστημάτων με *MTBF* της τάξης χιλιάδων ωρών λειτουργίας. Ο μεγάλος αριθμός βλαβών που φαίνεται να παρουσιάζει ένα μόνο *SRU*, οφείλεται σε πρόβλημα καταπόνησης ενός *Relay* από αίτιο το οποίο δεν υφίσταται πλέον. Η πληροφορία αυτή είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη πριν πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε αύξηση αποθεμάτων από κάποιο “έξυπνο” σύστημα το οποίο θα αξιολογούσε μόνο αριθμούς. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την ανάγκη ύπαρξης μηχανισμών οι οποίοι θα είναι ικανοί να αξιολογούν τις διάφορες τάσεις (*trends*) και να απομονώνουν τα αίτια των προβλημάτων.

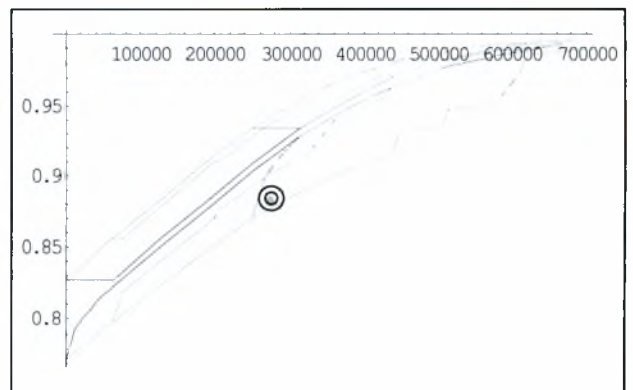
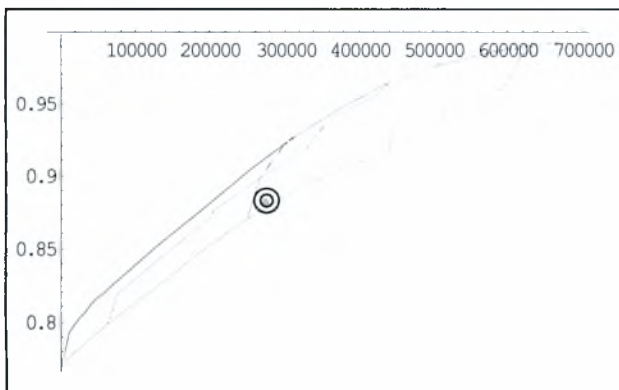
Παρόλο τον μεγάλο αριθμό βλαβών που αντιμετωπίστηκε στο συγκεκριμένο *LRU*, δεν παρουσιάστηκε ποτέ πρόβλημα διαθεσιμότητας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κάθε *LRU* περιέχει τέσσερις ίδιες κάρτες. Σε τέτοιες περιπτώσεις, όπως προκύπτει και από την ανάλυση που έχει γίνει, η εφαρμογή του κανιβαλισμού δίνει μεγάλες διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα. Κατά συνέπεια η πληροφορία του αριθμού  $Z_i$  που αντιπροσωπεύει το πλήθος των *SRUs* τύπου  $i$  που συναντώνται σε ένα *LRU* αποτελεί μια σημαντική πληροφορία που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον καθορισμό της σύνθεσης των αποθεμάτων.

## E.6 Μελέτη Περίπτωσης SINU (Standard Inertial Navigation Unit)

Βλάβες ζετίας και κόστος SRUs



Διαθεσιμότητα συναρτήσει του κόστους, της στρατηγικής και της δυνατότητας ή μη κανιβαλισμού



⊙ : Υπάρχουσα Σύνθεση Αποθεμάτων

Προορισμός βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων για την επίτευξη παρόμοιων επιπέδων διαθεσιμότητας με αυτά που επιτυγχάνονται με την παρούσα σύνθεση αποθεμάτων (Περίπτωση Α2, Α3)

A1	# Systems	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
current situation	36	88,1023	88,3213	274106	-2-3-2-1-2-1-2-2-1-1-1-1-2-1-3	
A2	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	88,1023	90,3773	90,9488	252392	-3-2-2-1-1-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	7,92%
strategy 1a		89,2888	93,3509	263051	-4-1-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	4,03%
strategy 2		87,5295	90,9488	204335	-3-1-1-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-0-0	25,45%
strategy 3		88,9216	95,4044	313520	-5-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	-14,38%
strategy 4						
A3	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	88,3213	87,7663	88,3213	189688	-2-2-2-1-1-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	30,80%
strategy 1a		87,0077	93,3509	250816	-4-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	8,50%
strategy 2		94,4781	88,3213	137643	-2-1-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	49,78%
strategy 3		82,3199	88,3213	125408	-2-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	54,25%
strategy 4						

Επίτευξη καθορισμένων επιπέδων διαθεσιμότητας χωρίς να ληφθεί υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Β2, Β3) και λαμβάνοντας υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Γ1, Γ2)

B1	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	35/36=97,22	97,5866	98,2037	503208	-7-2-2-1-1-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	-83,58%
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4		97,0454	98,9876	549689	-8-1-1-1-1-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	-100,54%
strategy 4		96,9161	99,3056	603754	-9-1-1-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0	-120,26%
B2	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	34/36=94,44	94,8049	95,4044	377800	-5-2-2-1-1-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	-37,83%
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4		95,5837	97,0265	423936	-6-2-1-1-0-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	-54,66%
strategy 4		94,6802	98,9876	513867	-8-1-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	-87,47%
Γ1	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	35/36=97,22	96,4168	97,0265	440504	-6-2-2-1-1-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	-60,71%
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4		95,5837	97,0265	423936	-6-2-1-1-0-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	-54,66%
strategy 4		90,4335	97,0265	376224	-6-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	-37,25%
Γ2	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	34/36=94,44	94,8049	95,4044	377800	-5-2-2-1-1-1-1-1-0-0-0-0-0-0-0	-37,83%
strategy 1a						
strategy 2						
strategy 3						
strategy 4		91,8176	95,4044	329743	5-1-1-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-0-0	-20,30%
strategy 4		88,9216	95,4044	313520	-5-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	-14,38%

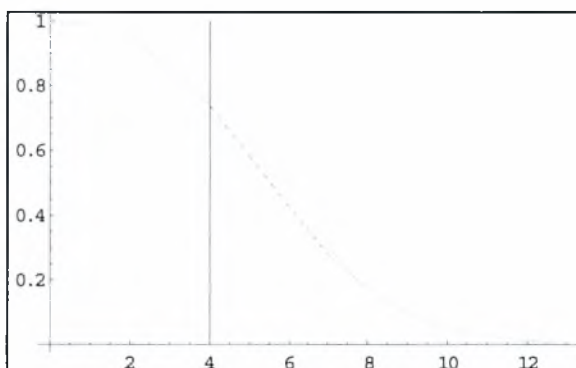
## Συμπεράσματα

Το συγκεκριμένο *LRU* παρουσιάζει τυπική ζήτηση σε επίπεδο *SRU*, όπως αυτή έχει σχολιαστεί στην μελέτη περίπτωσης του *PDG*. Σύμφωνα με όσα έχουμε σχολιάσει, το γεγονός ότι τα αποθέματα βρίσκονται σε παρόμοια επίπεδα για όλα τα υλικά οδηγεί σε αναμενόμενα κακά αποτελέσματα της διαθεσιμότητας που επιτυγχάνεται.

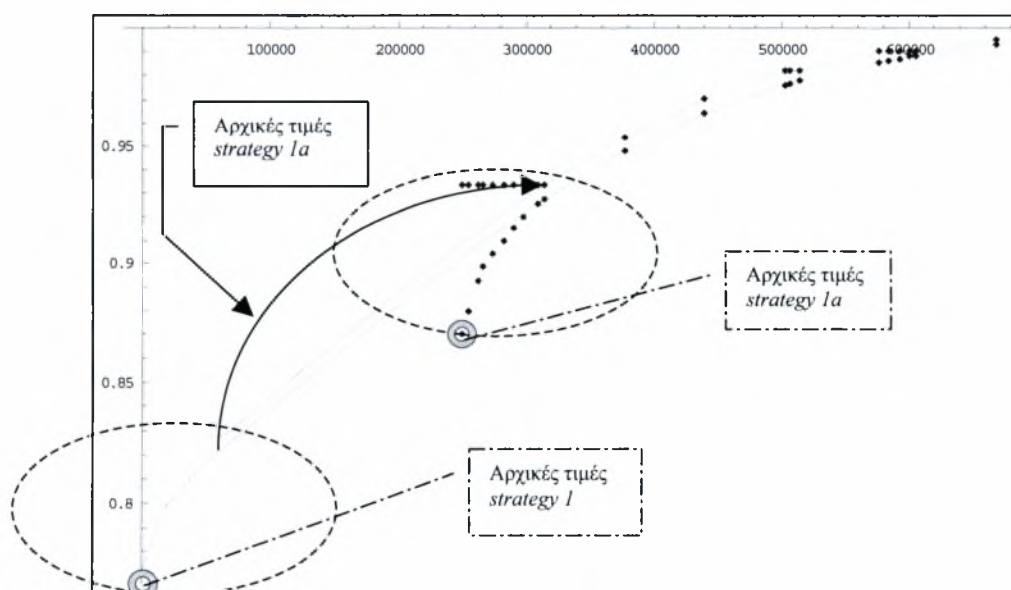
Η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης παρουσιάζει επιπλέον την ιδιαιτερότητα ότι το *SRU* το οποίο παρουσιάζει την μεγαλύτερη ζήτηση, έχει 10πλάσιο κόστος σε σχέση με τα υπόλοιπα *SRUs*. Σε αυτό οφείλεται το γεγονός ότι η ορθολογική σύνθεση που προτείνεται στην περίπτωση *A2* με τις στρατηγικές που έχουμε αναπτύξει, δεν παρουσιάζει την αναμενόμενη μείωση του επενδύομένου κόστους.

Το *SRU Platform Assy* που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ζήτηση, εμπεριέχει μηχανικά τμήματα (γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα) τα οποία υπόκεινται σε φυσιολογική φθορά. Επιπλέον αντιμετωπίζονται προβλήματα υποστήριξης καθώς ο κύκλος επισκευής του είναι πολύ μεγαλύτερος από τον συνήθη κύκλο επισκευής των υπολοίπων *SRUs* (στην ανάλυση που έχει γίνει, έχει θεωρηθεί για το συγκεκριμένο υλικό κύκλος επισκευής 18 μήνες). Πριν ωστόσο προβεί κάποιος σε οποιαδήποτε αναθεώρηση της σύνθεσης αποθεμάτων, θα πρέπει να λάβει υπόψη ότι το συγκεκριμένο *LRU* είναι πλήρες εναλλακτό με αντίστοιχο σύστημα που ονομάζεται *RLG (Ring Laser Gyro)*. Το τελευταίο *LRU* είναι εξαιρετικά αξιόπιστο, δεν παρουσιάζει μηχανικά τμήματα καθώς υλοποιεί την λειτουργία της πλατφόρμας με μια διάταξη *Laser*, ενώ παρουσιάζει και μια άλλη σειρά πλεονεκτημάτων. Το κόστος του *LRU* αυτού, είναι διπλάσιο περίπου του *SRU Platform Assy* και λίγο χαμηλότερο του κόστους του *SINU*. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να αξιολογηθεί το κόστος υποστήριξης σε όλο τον κύκλο ζωής του *SINU* και να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα πιθανότατα όχι με αγορά επιπρόσθετων *SRU Platform Assy*, αλλά με προγραμματισμό πολιτικής σταδιακής ή / και άμεσης αντικατάστασης του συνόλου των *LRUs*. Μια τέτοια ανάλυση αφενός είναι πέραν του αντικειμένου της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, αφετέρου κατά την πραγματοποίησή της θα πρέπει να συνυπολογιστούν και να αντισταθμιστούν οι τάσεις των βλαβών, καθώς και τα διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την εφαρμογή μιας τέτοιας πολιτικής.

Λαμβάνοντας υπόψη τον σχετικά μεγάλο ρυθμό ζήτησης αλλά και τον μεγάλο κύκλο επισκευής, η *strategy 1a* επιλέγει ως αρχική σύνθεση αποθέματος για το *SRU Platform Assy* την τιμή 4 (0 για όλα τα υπόλοιπα *SRUs*), σύμφωνα με τον τύπο  $S_i = \max\{[m_i T_i - 2], 0\}$ . Η επιλογή αυτή γίνεται για να εξασφαλιστεί ότι η *ROS* θα είναι κυρτή και φθίνουσα σε όλο το πεδίο ορισμού της, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο παρακάτω σχήμα:



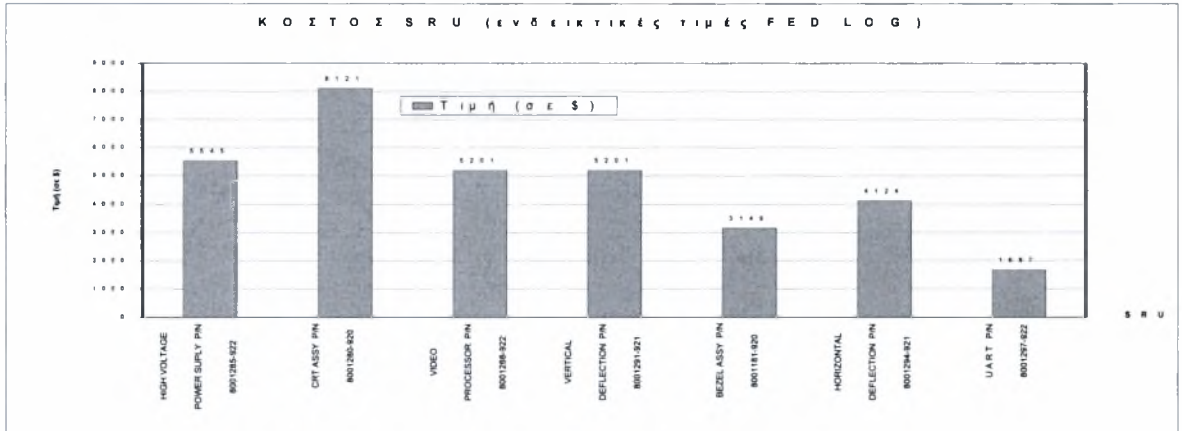
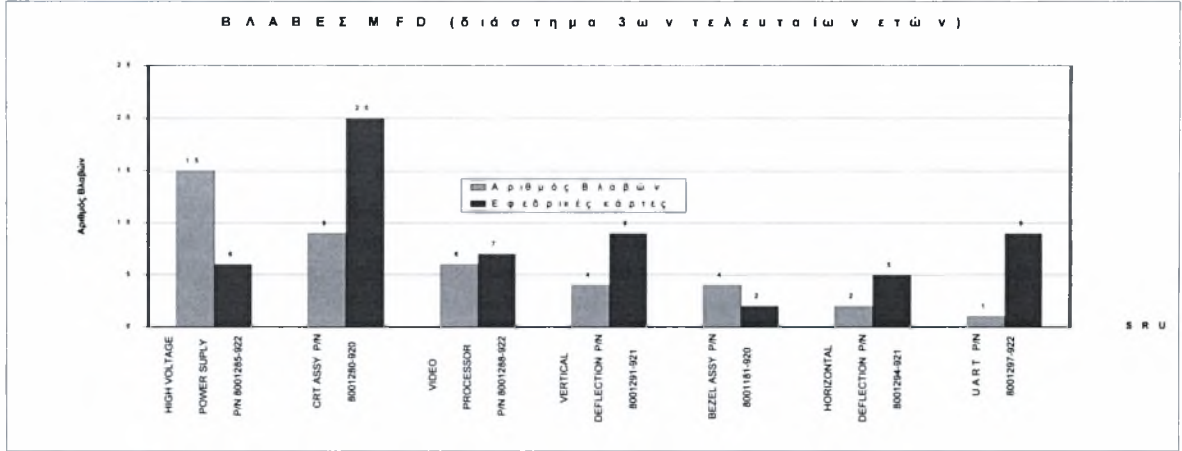
Η *strategy 1a* λοιπόν, ουσιαστικά εντοπίζει τα υλικά εκείνα που έχουν μεγάλο αριθμό ζήτησης σε συνδυασμό με μεγάλο κύκλο επισκευής και ανεξάρτητα από το κόστος τους επιλέγει μια βασική σύνθεση από αυτά τα υλικά. Τα υλικά αυτά θα “αναγκαστεί” να τα “αγοράσει” και η *strategy 1*, αλλά αργότερα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Μπορεί επίσης να θεωρηθεί ότι η *strategy 1a* παρέχει ένα καλό *set* αρχικών τιμών το οποίο συγκλίνει πολύ γρήγορα στις συνθέσεις που παρέχει η *strategy 1*.



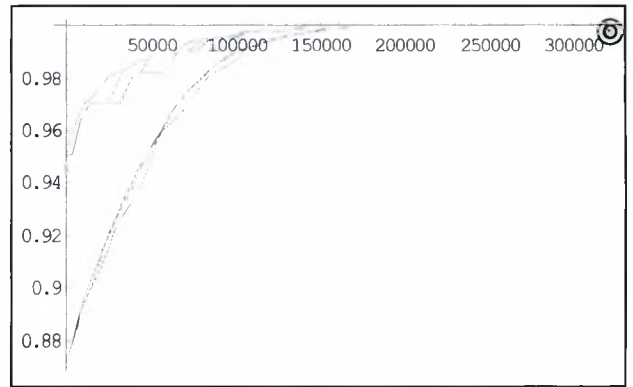
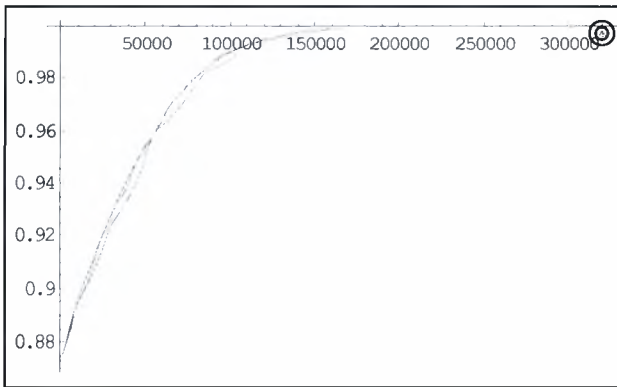


### E.7 Μελέτη Περίπτωσης MFD (Multi Function Display)

Βλάβες ζετίας και κόστος SRUs



Διαθεσιμότητα συναρτήσει του κόστους, της στρατηγικής και της δυνατότητας ή μη κανιβαλισμού



© : Υπάρχουσα Σύνθεση Αποθεμάτων

Προορισμός βέλτιστης σύνθεσης αποθεμάτων για την επίτευξη παρόμοιων επιπέδων διαθεσιμότητας με αυτά που επιτυγχάνονται με την παρούσα σύνθεση αποθεμάτων (Περίπτωση Α2,Α3)

A1	# Systems	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
current situation	76	99,6709	99,8072	320827	-6-20-7-9-2-5-9	
A2	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	99,6709	99,7524	99,9208	136856	-7-5-4-3-3-2-2	57,34%
strategy 1a						
strategy 2		99,7176	99,9208	135189	-7-5-4-3-3-2-1	57,86%
strategy 3						
strategy 4						
A3	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	99,8072	99,1931	99,8072	106997	-6-4-3-2-3-1-1	66,65%
strategy 1a						
strategy 2		99,0882	99,8072	103848	-6-4-3-2-2-1-1	67,63%
strategy 3						
strategy 4						

Επίτευξη καθορισμένων επιπέδων διαθεσιμότητας χωρίς να ληφθεί υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Β2,Β3) και λαμβάνοντας υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού (Περίπτωση Γ1,Γ2)

B1	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	75/76=98,68	98,6086	99,5742	90182	-5-3-3-2-2-1-1	71,89%
strategy 1a						
strategy 2		98,5905	99,5957	90526	-6-3-2-2-2-1-1	71,78%
strategy 3		98,6086	99,8742	90182	-5-3-3-2-2-1-1	71,89%
strategy 4		98,7997	99,6711	102181	-6-4-3-2-2-1-0	68,15%
B2	Target Availability	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	74/76=97,36	97,5119	99,0816	71659	-5-2-2-1-2-1-1	77,66%
strategy 1a						
strategy 2		97,3922	99,5159	74964	-5-3-2-1-1-1-0	76,63%
strategy 3						
strategy 4						
Γ1	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	75/76=98,68	97,0965	99,0816	65114	-4-2-2-1-2-1-1	79,70%
strategy 1a						
strategy 2		95,416	99,0485	51973	-4-2-1-1-1-0-0	83,80%
strategy 3						
strategy 4						
strategy 4		93,8277	98,6842	43623	-4-2-1-0-0-0-0	86,40%
Γ2	Target Availability with Cannibalization	Availability	AvailabilityCan	Cost	Spares Allocation	% Cost Reduction
strategy 1	74/76=97,36	93,0802	97,0395	31853	-3-0-1-1-1-0-1	90,07%
strategy 1a						
strategy 2		89,4499	97,0395	11090	-2-0-0-0-1-0-0	93,94%
strategy 3						
strategy 4						
strategy 4		90,535	97,5194	19211	-2-1-0-0-0-0-0	94,01%

### Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο *LRU* εξασφαλίζεται υψηλότερη διαθεσιμότητα, όχι όμως και με αποτελεσματικό ως προς το κόστος τρόπο (*cost effective*). Το *SRU* το οποίο παρουσιάζει τον δεύτερο μεγαλύτερο ρυθμό ζήτησης είναι μια λυχνία (*CRT Assy*). Η λυχνία αυτή, υπόκειται σε γήρανση (ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας της) και επιπλέον επηρεάζεται από τις συνθήκες περιβάλλοντος.

Όταν η βλάβη καταλογίζεται στην ίδια την λυχνία και όχι σε κάποιο από τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που βρίσκονται πάνω σε αυτή, τότε το *SRU CRT Assy* καταδικάζεται. Σε τέτοιες περιπτώσεις, κατά τον καθορισμό της σύνθεσης αποθεμάτων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι χρόνοι παράδοσης (*lead time*) των καινούργιων *SRUs* που θα πρέπει να παραγγελθούν για να αναπληρώσουν τα υλικά που καταδικάστηκαν. Οι χρόνοι αυτοί, μπορεί να είναι μεγαλύτεροι από τον χρόνο επισκευής. Επιπλέον πρέπει να συνυπολογιστεί και η απαίτηση ικανοποίησης εποχιακά μεγάλης ζήτησης είτε λόγω περιβαλλοντολογικών συνθηκών, είτε λόγω του γεγονότος ότι υπάρχει αυξημένη πιθανότητα να αστοχήσουν πολλές λυχνίες μαζί.

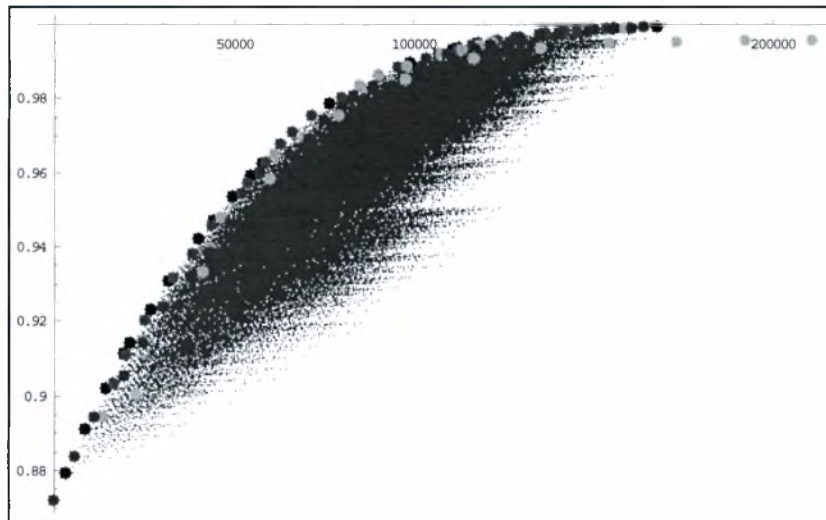
Εάν για το συγκεκριμένο *LRU*, θέλαμε να εξετάσουμε τους πιθανούς συνδυασμούς κόστους – διαθεσιμότητας που προκύπτουν από τις δυνατές συνθέσεις αποθεμάτων για αριθμό *SRUs* όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, προκύπτουν συνολικά 113.400 συνδυασμοί.

Συνδυασμοί σύνθεσης αποθεμάτων

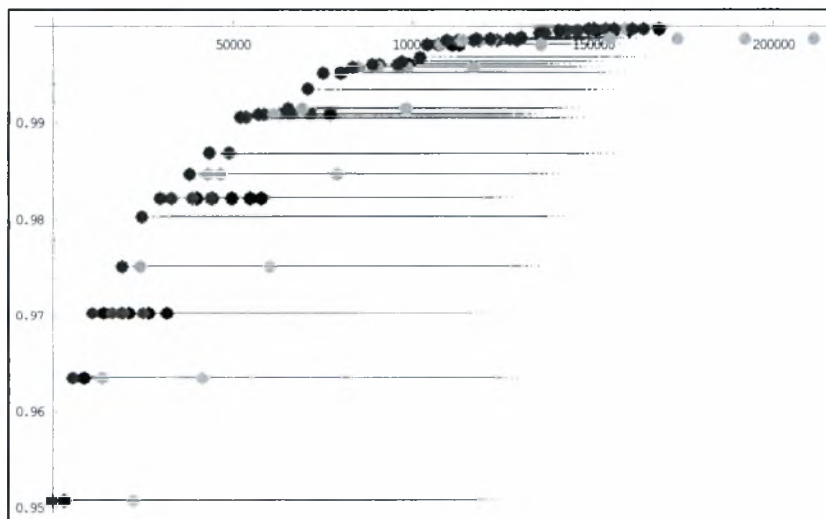
<i>SRU</i>	# <i>SRUs</i> προς εξέταση αρχικής προμήθειας	Σύνολο συνδυασμών
<i>SRU 1</i>	0-8	9
<i>SRU 2</i>	0-6	7
<i>SRU 3</i>	0-5	6
<i>SRU 4</i>	0-4	5
<i>SRU 5</i>	0-4	5
<i>SRU 6</i>	0-3	4
<i>SRU 7</i>	0-2	3
Σύνολο συνδυασμών 7 <i>SRUs</i> :		<b>113.400</b>

Για να εξεταστούν όλοι οι παραπάνω συνδυασμοί σε ένα τυπικό σύστημα Η/Υ 433MHz/256 Ram με την χρησιμοποίηση του προγράμματος Mathematica απαιτείται χρόνος 43 λεπτών, κάνοντας το πρόβλημα ουσιαστικά μη πρακτικό. Ο αντίστοιχος χρόνος που απαιτείται για να λυθεί το πρόβλημα με την Οριακή Ανάλυση στο ίδιο σύστημα, είναι της τάξεως των λίγων δευτερολέπτων. Για τους παραπάνω συνδυασμούς προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα επένδυσης - διαθεσιμότητας:

*Διαθεσιμότητα συναρτήσει του κόστους και της στρατηγικής (χωρίς κανιβαλισμό)*



*Διαθεσιμότητα συναρτήσει του κόστους και της στρατηγικής (λαμβάνοντας υπόψη δυνατότητα κανιβαλισμού)*



Από τα σημεία που απεικονίζονται στα διαγράμματα αυτά, τα κατώτερα σημεία αντιστοιχούν στην επιλογή κοινής σύνθεσης αποθεμάτων για όλα τα *SRUs*. Τα υπόλοιπα σημεία αντιστοιχούν στις συνθέσεις αποθεμάτων που προκύπτουν με βάση τις τέσσερις εφαρμοζόμενες πολιτικές.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ MATHEMATICA

Στο Παράρτημα αυτό, δίνεται ο κώδικας στο *Mathematica* που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων των *case studies*.

Αρχικά εισάγονται τα δεδομένα του προβλήματος, δηλ. ο αριθμός των *LRUs* που υποστηρίζονται, ο αριθμός των *SRUs* ανά *LRU*, ο ρυθμός ζήτησης, ο κύκλος επισκευής, ο αριθμός των αποθεμάτων και το κόστος του κάθε *SRU*. Στην περίπτωση που κάποιο από τα *SRUs* δεν έχει παρουσιάσει διακίνηση, τότε αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη (ή στην ζήτησή του τοποθετείται ενδεικτικά ένας πολύ μικρός αριθμός - όχι το 0). Τα δεδομένα που αναφέρονται παρακάτω, αφορούν την περίπτωση του *MFD*.

```
NumberOfSystems = 76; NumberOfItems = 7; m[1] = 15 * 12 / 32; m[2] = 9 * 12 / 32; m[3] = 6 * 12 / 32; m[4] = 4 * 12 / 32; m[5] = 4 * 12 / 32;
m[6] = 2 * 12 / 32; m[7] = 1 * 12 / 32; T[1] = 8 / 12; T[2] = 8 / 12; T[3] = 8 / 12; T[4] = 8 / 12; T[5] = 8 / 12; T[6] = 8 / 12; T[7] = 8 / 12;
S[1] = 6; S[2] = 20; S[3] = 7; S[4] = 9; S[5] = 2; S[6] = 5; S[7] = 9; c[1] = 5545; c[2] = 8121; c[3] = 5201; c[4] = 5201; c[5] = 3149;
c[6] = 4124; c[7] = 1667; Z[1] = 1; Z[2] = 1; Z[3] = 1; Z[4] = 1; Z[5] = 1; Z[6] = 1; Z[7] = 1; Z[8] = 1;
```

Στην συνέχεια υπολογίζεται η διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται με την υπάρχουσα σύνθεση αποθεμάτων (με ή χωρίς να ληφθεί υπόψη η δυνατότητα κανιβαλισμού), καθώς και το κόστος της σύνθεσης.

```
AvailabilityOfCurrentSparesAllocation =
Product[{{(1 - (1 / (NumberOfSystems + Z[i]))) * (m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x / x!, {x, 0, S[i]}])} }}, {i, 1, NumberOfItems}];
CostOfCurrentSparesAllocation = Sum[c[i] S[i], {i, 1, NumberOfItems}]; Availability0 =
Product[{{(1 - (1 / (NumberOfSystems + Z[i]))) * (m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x / x!, {x, 0, S[i]}])} }}, {i, 1, NumberOfItems}];
HFI = 0; Do[EB0[i, S[i]] = (((m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) * Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x / x!, {x, 0, S[i]}])));
If[EB0[i, S[i]] > HFI, (HFI = EB0[i, S[i]]; hf = i)], {i, 1, NumberOfItems}]; AvailabilityCan = (1 - (HFI / (NumberOfSystems + Z[hf])));
Print["current situation of avail          ", N[AvailabilityOfCurrentSparesAllocation], "          ", N[AvailabilityCan],
      "          ", N[CostOfCurrentSparesAllocation]]
```

Αποτέλεσμα:                      current situation of avail                      0.996709                      0.998072                      320827.

Ακολούθως, για κάθε στρατηγική ξεχωριστά, υπολογίζεται η διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται με το *set* αρχικών τιμών και στην συνέχεια ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία της *Marginal Analysis* που έχουμε περιγράψει στο *Κεφάλαιο 4*, με την αντίστοιχη συνθήκη ελέγχου ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη στρατηγική και μέχρι την επίτευξη της επιδιωκόμενης διαθεσιμότητας.



Αποτέλεσμα:

```

Availability= 0.871993
AvailabilityCan= 0.950658 and Inventory Cost= 0 with spare allocation {0, 0, 0, 0, 0, 0}
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
0
the main cause of failure is item 1 with EBO=3.75 and the estimated Availability is=0.950658%
Availability= 0.879343 and Inventory Cost= 3149 with spare allocation {0, 0, 0, 0, 1, 0, 0}
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
...

...

...

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
30
the main cause of failure is item 2 with EBO=0.038705 and the estimated Availability is=0.999491%
Availability= 0.99895 and Inventory Cost= 160076 with spare allocation {8, 5, 5, 4, 4, 3, 2}
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
31
the main cause of failure is item 1 with EBO=0.0225893 and the estimated Availability is=0.999703%
Availability= 0.99931 and Inventory Cost= 168197 with spare allocation {8, 6, 5, 4, 4, 3, 2}
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

```

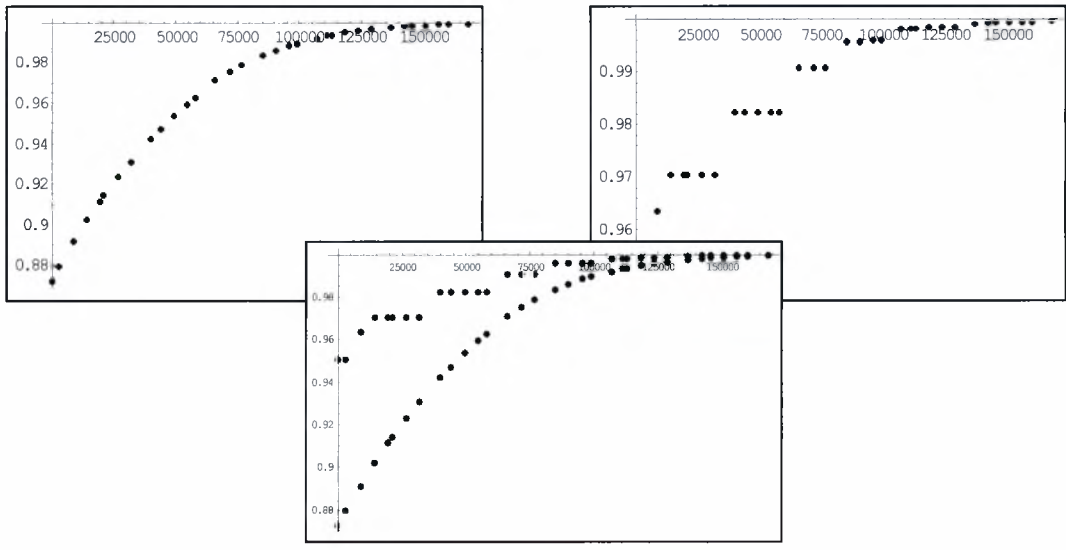
Επιπλέον, για κάθε στρατηγική δημιουργούνται οι καμπύλες κόστους – διαθεσιμότητας που προκύπτουν από την εφαρμογή της *Marginal Analysis* χωρίς να ληφθεί υπόψη η δυνατότητα κανιβαλισμού αλλά και λαμβάνοντας υπόψη την σχετική δυνατότητα. Οι καμπύλες του κόστους – διαθεσιμότητας παρατίθενται στο ίδιο διάγραμμα για σύγκριση.

```

t1 = ListPlot[tEBO1, Axes -> Automatic, PlotRegion -> Automatic, PlotStyle -> {PointSize[0.02]}]
t1can = ListPlot[tEBO1can, Axes -> Automatic, PlotRegion -> Automatic, PlotStyle -> {PointSize[0.02]}]

```

Αποτέλεσμα:



- Στην *strategy 1a* πραγματοποιείται η ίδια ανάλυση με την *strategy 1*, με εξαίρεση ότι στην περίπτωση αυτή το *set* αρχικών τιμών που χρησιμοποιείται καθορίζεται από το:  $S_i = \max\{m_i T_i - 2, 0\}$ :

```
Do[S[i] = Max[{IntegerPart[(m[i] * T[i] - 2)], 0}], {i, 1, NumberOfItems}];
```

- Στην *strategy 2*, η συνθήκη της *Marginal Analysis* που χρησιμοποιείται είναι

$$\eta \Delta_i := \frac{EBO_i(S_i)}{c_i Z_i} \quad \forall i = 1, \dots, I.$$

```
Do[S[i] = 0, {i, 1, NumberOfItems}]; AvailabilityOfCurrentSparesAllocation =
Cstart = 0; Print["Availability= ", N[Availability0]];
Print["AvailabilityCan= ", N[AvailabilityCan], " and Inventory Cost= ", Cstart, " with spare allocation ", Stock[0]];
Print[=====];
Availability = Availability0; TargetAvailability = Input["GIVE TARGET AVAILABILITY"]; While[(Availability <= TargetAvailability),
HFI = 0; Cstart = Cstart + c[q]; loop = loop + 1; S[q] = S[q] + 1; dmax = 0; Stock[loop] = Table[S[i], {i, 1, NumberOfItems}];
(*Do[Print["h times tvn S ", i, " ago ", StartS[i], " paai se ", S[i]]; FinalS[i] = S[i], {i, 1, NumberOfItems}]; Availability =
Product[(1 - (1 / (NumberOfSystems + Z[i])) * (m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x / x!, {x, 0, S[i]}])])^Z[i],
{i, 1, NumberOfItems}];
(*control point*); HFI = 0;
Do[EBO[i, S[i]] = (1/c[i]) * (((m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) * Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x / x!, {x, 0, S[i]}])));
(*Print["for item ", i, " EBO= ", N[EBO[i, S[i]]]]; If[EBO[i, S[i]] > HFI, HFI = EBO[i, S[i]]; q = i], {i, 1, NumberOfItems}];
(*calculates maxEBO number as the previous case*);
HFI = 0; Do[EBO[i, S[i]] = (((m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) * Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x / x!, {x, 0, S[i]}])));
Print["for item ", i, " EBO= ", N[EBO[i, S[i]]]]; If[EBO[i, S[i]] > HFI, (HFI = EBO[i, S[i]]; hf = i)], {i, 1, NumberOfItems}];
AvailabilityCan = (1 - (HFI / (NumberOfSystems + Z[hf]))); Print[
"the main cause of failure is item ", hf, " with EBO=", N[HFI], " and the estimated Availability is=", N[AvailabilityCan], "%";
ca[loop] = {Cstart, Availability}; cacan[loop] = {Cstart, AvailabilityCan};
Print["Availability= ", N[Availability], " and Inventory Cost= ", Cstart, " with spare allocation ", Stock[loop]];
Print[=====];];];
Print[Cstart]; tEBO2 = Table[ca[try], {try, 0, loop}]; tEBO2can = Table[cacan[try], {try, 0, loop}];

Cstart = 0; Print["Availability= ", N[Availability0]];
Print["AvailabilityCan= ", N[AvailabilityCan], " and Inventory Cost= ", Cstart, " with spare allocation ", Stock[0]];
Print[=====];
Availability = Availability0; TargetAvailability = Input["GIVE TARGET AVAILABILITY"]; While[(Availability <= TargetAvailability),
HFI = 0; Cstart = Cstart + c[q]; loop = loop + 1; S[q] = S[q] + 1; dmax = 0; Stock[loop] = Table[S[i], {i, 1, NumberOfItems}];
(*Do[Print["h times tvn S ", i, " ago ", StartS[i], " paai se ", S[i]]; FinalS[i] = S[i], {i, 1, NumberOfItems}]; Availability =
Product[(1 - (1 / (NumberOfSystems + Z[i])) * (m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x / x!, {x, 0, S[i]}])])^Z[i],
{i, 1, NumberOfItems}];
(*control point*); HFI = 0;
Do[EBO[i, S[i]] = (1/c[i]) * (((m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) * Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x / x!, {x, 0, S[i]}])));
(*Print["for item ", i, " EBO= ", N[EBO[i, S[i]]]]; If[EBO[i, S[i]] > HFI, HFI = EBO[i, S[i]]; q = i], {i, 1, NumberOfItems}];
(*calculates maxEBO number as the previous case*);
HFI = 0; Do[EBO[i, S[i]] = (((m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) * Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x / x!, {x, 0, S[i]}])));
Print["for item ", i, " EBO= ", N[EBO[i, S[i]]]]; If[EBO[i, S[i]] > HFI, (HFI = EBO[i, S[i]]; hf = i)], {i, 1, NumberOfItems}];
AvailabilityCan = (1 - (HFI / (NumberOfSystems + Z[hf]))); Print[
"the main cause of failure is item ", hf, " with EBO=", N[HFI], " and the estimated Availability is=", N[AvailabilityCan], "%";
ca[loop] = {Cstart, Availability}; cacan[loop] = {Cstart, AvailabilityCan};
Print["Availability= ", N[Availability], " and Inventory Cost= ", Cstart, " with spare allocation ", Stock[loop]];
Print[=====];];];
Print[Cstart]; tEBO2 = Table[ca[try], {try, 0, loop}]; tEBO2can = Table[cacan[try], {try, 0, loop}];
```



- Στην *strategy 3*, η συνθήκη της *Marginal Analysis* που χρησιμοποιείται είναι

$$\eta \Delta_i := \frac{(EBO_i(S_i) - EBO_i(S_i + 1))}{Z_i} \quad \forall i = 1, \dots, I.$$

```
Do[S[i] = 0, {i, 1, NumberOfItems}]; AvailabilityOfCurrentSparesAllocation =
Product[(1 - (1/NumberOfSystems) * (m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i]) Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x/x!, {x, 0, S[i]}]])),
{i, 1, NumberOfItems});
CostOfCurrentSparesAllocation = Sum[c[i] S[i], {i, 1, NumberOfItems}]; Availability0 =
Product[(1 - (1/NumberOfSystems) * (m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i]) Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x/x!, {x, 0, S[i]}]])),
{i, 1, NumberOfItems});
i = 1; dmax = 0; k = 0; loop = 0; Cstart = Sum[c[i] S[i], {i, 1, NumberOfItems}]; Do[StartS[i] = S[i]; Print[S[i]], {i, 1, NumberOfItems}];
Print["Availability= ", N[Availability0], " and Inventory Cost= ", Cstart]; Stock[0] = Table[S[i], {i, 1, NumberOfItems}];
Print["AvailabilityOfCurrentSparesAllocation ", N[AvailabilityOfCurrentSparesAllocation],
" CostOfCurrentSparesAllocation ", CostOfCurrentSparesAllocation];
HFI = 0; Do[EBO[i, S[i]] = ((m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) * Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x/x!, {x, 0, S[i]}]]));
Print["for item ", i, " EBO= ", N[EBO[i, S[i]]]]; If[EBO[i, S[i]] > HFI, (HFI = EBO[i, S[i]]; q = i), {i, 1, NumberOfItems}];
AvailabilityCan = (NumberOfSystems - HFI) / NumberOfSystems; Print["the main cause of failure is item ",
q, " with EBO=", N[HFI], " and the estimated Availability is=", N[AvailabilityCan], "%"];
ca[0] = {Cstart, Availability0}; cacan[0] = {Cstart, AvailabilityCan};

Cstart = 0; Print["Availability= ", N[Availability0]];
Print["AvailabilityCan= ", N[AvailabilityCan], " and Inventory Cost= ", Cstart, " with spare allocation ", Stock[0]];
Print[{}];
Availability = Availability0; TargetAvailability = Input["GIVE TARGET AVAILABILITY"]; While[(Availability <= TargetAvailability),
Print[loop]; Do[dEBO[i, S[i]] = ((m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) * Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x/x!, {x, 0, S[i]}]] -
(m[i] T[i] - (S[i] + 1) + Exp[-(m[i] T[i])]) * Sum[(S[i] + 1 - x) * (m[i] T[i])^x/x!, {x, 0, (S[i] + 1)}]]));
HFI = 0; (*Print[i]; Print[N[dEBO[i, S[i]]]]; If[dEBO[i, S[i]] > dmax, (dmax = dEBO[i, S[i]]; k = i), {i, 1, NumberOfItems}];
Cstart = Cstart + c[k]; loop = loop + 1; S[k] = S[k] + 1; dmax = 0; Stock[loop] = Table[S[i], {i, 1, NumberOfItems}]; (*Do[
Print["h times tvn S ", i, " apo ", StartS[i], " paei se ", S[i]]; FinalS[i] = S[i], {i, 1, NumberOfItems}]; Availability =
Product[(1 - (1/NumberOfSystems) * (m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i]) Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x/x!, {x, 0, S[i]}]])),
{i, 1, NumberOfItems});
Do[EBO[i, S[i]] = ((m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) * Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x/x!, {x, 0, S[i]}]]));
(*Print["for item ", i, " EBO= ", N[EBO[i, S[i]]]];
If[EBO[i, S[i]] > HFI, HFI = EBO[i, S[i]]; q = i], {i, 1, NumberOfItems}]; Print["to k einai " k];
AvailabilityCan = (NumberOfSystems - HFI) / NumberOfSystems; Print["the main cause of failure is item ",
q, " with EBO=", N[HFI], " and the estimated Availability is=", N[AvailabilityCan], "%"];
ca[loop] = {Cstart, Availability}; cacan[loop] = {Cstart, AvailabilityCan};
Print["Availability= ", N[Availability], " and Inventory Cost= ", Cstart, " with spare allocation ", Stock[loop]];
Print[{}];
Print[Cstart]; tEBO3 = Table[ca[try], {try, 0, loop}]; tEBO3can = Table[cacan[try], {try, 0, loop}];
```

- Στην *strategy 4*, η συνθήκη της *Marginal Analysis* που χρησιμοποιείται είναι

$$\eta \Delta_i := \frac{EBO_i(S_i)}{Z_i} \quad \forall i = 1, \dots, I.$$

```
Do[S[i] = 0, {i, 1, NumberOfItems}]; AvailabilityOfCurrentSparesAllocation =
Product[(1 - (1/NumberOfSystems) * (m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i]) Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x/x!, {x, 0, S[i]}]])),
{i, 1, NumberOfItems});
CostOfCurrentSparesAllocation = Sum[c[i] S[i], {i, 1, NumberOfItems}]; Availability0 =
Product[(1 - (1/NumberOfSystems) * (m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i]) Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x/x!, {x, 0, S[i]}]])),
{i, 1, NumberOfItems});
i = 1; dmax = 0; k = 0; loop = 0; Cstart = Sum[c[i] S[i], {i, 1, NumberOfItems}]; Do[StartS[i] = S[i]; Print[S[i]], {i, 1, NumberOfItems}];
Print["Availability= ", N[Availability0], " and Inventory Cost= ", Cstart];
Stock[0] = Table[S[i], {i, 1, NumberOfItems}]; Print["AvailabilityOfCurrentSparesAllocation ",
N[AvailabilityOfCurrentSparesAllocation], " CostOfCurrentSparesAllocation ", CostOfCurrentSparesAllocation];
HFI = 0; Do[EBO[i, S[i]] = ((m[i] T[i] - S[i] + Exp[-(m[i] T[i])]) * Sum[(S[i] - x) * (m[i] T[i])^x/x!, {x, 0, S[i]}]]));
Print["for item ", i, " EBO= ", N[EBO[i, S[i]]]]; If[EBO[i, S[i]] > HFI, (HFI = EBO[i, S[i]]; q = i), {i, 1, NumberOfItems}];
AvailabilityCan = (NumberOfSystems - HFI) / NumberOfSystems; Print["the main cause of failure is item ", q, " with EBO=",
N[HFI], " and the estimated Availability is=", N[AvailabilityCan], "%"]; ca[0] = {Cstart, Availability0};
cacan[0] = {Cstart, AvailabilityCan};
```



