

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ Σ.Τ.Ε.Φ
ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ**



**ΕΚΠΟΝΗΣΗ
ΣΠΑΘΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**Επιβλέπουσα: Βασιλική Καραμπάτσου
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός**

ΠΑΤΡΑ 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2	ΤΟ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ ΤΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΟΣ	5
2.1	Το όραμα του 2020.....	5
2.2	Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Αερομεταφορών	8
2.3	Το αεροσκάφος του 2020.....	10
3	ΟΡΙΣΜΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	19
4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ -ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ.....	23
4.1	Γενικά για τις μεθόδους και τους αλγόριθμους.....	23
4.2	Neural Networks - Νευρωνικά δίκτυα.....	24
4.3	Fuzzy logic-Ασαφής λογική	26
4.4	Bayesian Networks	27
4.5	Extreme Value Theory - Θεωρία ακραίας αξίας.....	28
4.6	Genetic Algorithms – Γενετικοί αλγόριθμοι.....	28
5	ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ-ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ	30
5.1	Airman - Airbus.....	30
5.2	FleetCycle Production Manager - Sinex	31
5.3	CMMS - COGZ	32
5.4	Aviation Maintenance, Repair and Overhaul System - Accenture	33
5.5	MAINTelligence - DMSI.....	33
5.6	Condition Red – Inframetrics.....	34
5.7	RBMware - COMSIS	34
5.8	ANSYS - Impact	34
5.9	SWAN - SWANTECH	35
5.10	Airplane Health Management - Boeing.....	36
5.11	Maintenix – Mxi Technologies.....	37
6	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ / ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	39

6.1	Ford ST Louis Assembly Plant (ρομποτικοί οξυγονοκολλητές)	39
6.2	Αμερικάνικο ναυτικό (μηχανήματα πλοίων)	39
6.3	Συστήματα & υπηρεσίες μηχανών Honeywell	40
6.4	Διεθνής αερολιμένας του Πίτσμπουργκ (σύστημα πορτών).....	41
6.5	Σιδηρόδρομος της Bombardier Transportation (σύστημα πορτών).....	42
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	43

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα βιβλιογραφικής έρευνας στα πλαίσια μεθόδων και εργαλείων που είτε εφαρμόζονται σήμερα είτε είναι κατάλληλα για τη μελλοντική ένταξή τους στη συντήρηση αεροσκαφών, αποτελώντας τη βάση για την πραγματοποίηση διαδικασιών προληπτικής συντήρησης (**Predictive Maintenance**). Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για την υπάρχουσα βιομηχανική και ερευνητική κατάσταση στα πλαίσια των διαδικασιών προληπτικής συντήρησης, τα εργαλεία εφαρμογής, τις υπάρχουσες εφαρμογές και τα ερευνητικά αποτελέσματα.

Η προληπτική συντήρηση είναι μια στρατηγική συντήρησης με σκοπό να παρέχει την καλύτερη αναλογία κόστους-κέρδους στις διαδικασίες συντήρησης μέσω της βελτίωσης της δυνατότητας να προβλεφθούν σφάλματα για την αποφυγή βλαβών (και επομένως έκτακτης συντήρησης) και περιττών προγραμματισμένων συντηρήσεων (**Preventive Maintenance**). Αυτό επίσης, απαιτεί μια βελτίωση της πρόβλεψης, λαμβάνοντας υπ' όψη το ελάχιστο κόστος τόσο των διαδικασιών συντήρησης όσο και των συνεπειών των βλαβών. Όπως θα φανεί στη συνέχεια, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν πολλές διαφορετικές μέθοδοι που σχετίζονται με αυτή τη στρατηγική όπως ο προσδιορισμός των ανωμαλιών, η διάγνωση και η πρόγνωση. Η προληπτική συντήρηση, και οι σχετικές στρατηγικές, όπως η συντήρηση που βασίζεται στην κατάσταση του συστήματος (**Condition Based Maintenance**), στηρίζονται στην ύπαρξη αρκετών πληροφοριών και παρέχουν μια καλύτερη αξιολόγηση της παρούσας ή της βραχυπρόθεσμης κατάστασης του αεροσκάφους, σε σύγκριση με την προγραμματισμένη συντήρηση.

2 ΤΟ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ ΤΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΟΣ

2.1 Το όραμα του 2020

Το όραμα του 2020 (**Vision 2020**) [58] έχει προσδιορίσει τη συντήρηση ως έναν από τους κύριους συνεισφέροντες παράγοντες στο κόστος της λειτουργίας μιας αερογραμμής. Πρόσθετη ανάλυση από το Συμβουλευτικό Συμβούλιο για την Έρευνα Αεροναυτικής στην Ευρώπη (**Advisory Council for Aeronautics Research in Europe – ACARE**) έχει δείξει ότι η έρευνα στη μείωση των δαπανών συντήρησης πρέπει να περιληφθεί στη στρατηγική ερευνητική ημερήσια διάταξη (**Strategic Research Agenda - SRA**). Το 2020 ο καταπονεμένος επιβάτης και η επιτήρηση (προστασία) θα ανήκουν στην αεροπορία του παρελθόντος. Δεν θα υπάρχουν πλέον ουρές και ατελείωτη αναμονή για μία καθυστερημένη αναχώρηση ή άφιξη. Από την αρχή ως το τέλος, ολόκληρη η εμπειρία της πτήσης θα είναι σχεδιασμένη, έτσι ώστε, να εξασφαλίσει έναν χαρούμενο ταξιδιώτη και ικανοποιημένο ναυλωτή. Σε όλες τις τιμές ένα αεροπορικό εισιτήριο “αγοράζει” τα τέσσερα C:

CHOICE: Επιλογή

Ο καταναλωτής θα διαμορφώνει το ταξίδι του σε μια παλέτα ικανοποιητικών επιλογών. Θα υπάρχουν περισσότερες πορείες και πτήσεις από και προς τους περισσότερους προορισμούς. Ένα δίκτυο από τοπικά αεροδρόμια θα παρέχει ευκολότερη πρόσβαση στα ταξίδια του αέρα. Το να πετάς, θα είναι πολύ περισσότερο πελατειακή εμπειρία, με επιλογές στο σκάφος, που θα επεκτείνονται σε διαφορετικές κατηγορίες τιμών, ζεστά ή κρύα γεύματα και ταινίες. Οι ευκολίες της καμπίνας θα μπορούν να τροφοδοτούν διαφορετικές ανάγκες, για αυτούς που θέλουν να δουλεύουν για παράδειγμα, ή να παίζουν παιχνίδια, πρόσβαση σε βίντεο ή ακουστικές βιβλιοθήκες, ή να περάσουν το μεγαλύτερο του ταξιδιού τους διαβάζοντας ή απολαμβάνοντας έναν ήσυχο ύπνο.

CONVENIENCE: Ευκολία

Επιπλέον, το ωράριο των αερογραμμών είναι κάτι στο οποίο θα μπορείς να βασίζεσαι. Οι ώρες άφιξης και αναχώρησης θα είναι αξιόπιστες ακόμα και στις ώρες

έντονης κυκλοφορίας, καθώς και σε όλες τις καιρικές συνθήκες, εκτός φυσικά από τις πιο δυσοίωνες περιπτώσεις. Τα αεροδρόμια δε θα είναι πια ένα τεστ για την υπομονή του ταξιδιώτη. Χάρη στον ηλεκτρονικό έλεγχο, στην αυτοματοποιημένη διαχείριση των επισκευών, στην ανεπτυγμένη ευκολία κίνησης των ανθρώπων, το πέρασμα δια μέσω των κτιρίων στα τέλη και των δύο ταξιδιών θα είναι σταθερό και εύκολο. Και φυσικά η πτήση δε θα είναι η απομονωμένη εμπειρία που ήταν στο παρελθόν. Όλα τα οφέλη της κοινωνίας της πληροφόρησης θα είναι διαθέσιμα δια μέσω των προχωρημένων τηλεπικοινωνιών οι οποίες θα συνδέουν το αεροσκάφος με τον υπόλοιπο κόσμο.

COMFORT: Άνεση

Οι ταξιδιώτες έχουν διαφορετικά μεγέθη και διαστάσεις και με βάση αυτό επιλέγουν τις θέσεις και το διαθέσιμο χώρο για τα πόδια. Οι καμπίνες θα είναι πολύ πιο φιλικές στον επιβάτη απ' ό τι ήταν είκοσι χρόνια πριν και θα προσφέρουν το ίδιο καλές ανέσεις κλιματισμού όπως έχουμε στο σπίτι ή στο γραφείο. Το εσωτερικό του αεροσκάφους δε θα κατακλύζεται πλέον από θόρυβο, τις δονήσεις και τα τραντάγματα της ταχύτητας του κινητήρα.

COST: Κόστος

Το 2020, το ευρωπαϊκό σύστημα αερογραμμών θα λειτουργεί με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και θα κάνει πολύ καλύτερη χρήση του αεροσκάφους και το εναέριου χώρου. Επιπλέον, η αγορά αεροσκαφών κατασκευασμένων στην Ευρώπη κοστίζει λιγότερο, ενώ μικρότερα είναι και τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης. Οι εξοικονομήσεις αυτές ωφελούν τη τσέπη του απλού πελάτη.

Εκτός των τεσσάρων C, θα παίζουν ρόλο και τα παρακάτω:

SAFETY: Ασφάλεια

Με βλέψη το 2020, οι ουρανοί θα είναι ασφαλέστεροι από κάθε άλλη φορά επειδή η ασφάλεια έχει παραμείνει η ύψιστη προτεραιότητα των κατασκευαστών και των χειριστών των αεροσκαφών, καθώς και των υπευθύνων εναέριας κυκλοφορίας. Οι

αεροναυπηγική έχει κάνει τεράστια βήματα προς την εξάλειψη ατυχημάτων μέσω σχεδίων και αυτόματων συστημάτων, τα οποία θα μειώσουν το φόρτο εργασίας του πληρώματος και θα βοηθούν αυτούς να παίρνουν σωστές αποφάσεις. Άλλες αιτίες ατυχημάτων αντιμετωπίζονται με τη χρήση αυτόματων συστημάτων παρακολούθησης, σχεδιασμένα ώστε να αντιδρούν άμεσα στην περίπτωση κάποιου προβλήματος.

ENVIRONMENT: Περιβάλλον

Το 2020, το αεροσκάφος θα είναι καθαρότερο και με λιγότερους θορύβους και η συμβολή του κλάδου της αεροναυπηγίας για τη διατήρηση του περιβάλλοντος είναι κατανοητή και εκτιμάται ευρέως. Πολλά από τα προϊόντα θα είναι κατασκευασμένα από ανακυκλώσιμα υλικά και θα έχουν ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παρόλο που τα καύσιμα από τους υδρογονάνθρακες παραμένουν η βασική πηγή ενέργειας, η ένταση και το μέγεθος απορροής ζημιών έχουν ουσιαστικά μειωθεί. Ο θόρυβος του αεροσκάφους δε θα είναι πλέον ένα πολιτικό και κοινωνικό θέμα. Έχει πάψει να είναι μια πραγματική ενόχληση για τους ανθρώπους που ζουν κοντά στα αεροδρόμια χάρη σε μια συντονισμένη προσπάθεια για την ανάπτυξη λιγότερο θορυβωδών μηχανών, τη βελτίωση των λειτουργικών διαδικασιών και των σχεδίων προσγείωσης, καθώς και τη χρήση γύρω από το αεροδρόμιο.

2.2 Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Αερομεταφορών

Το 2020, η Ευρώπη θα έχει καταφέρει να δημιουργήσει ένα άριστο σύστημα διαχείρισης της εναέριας κυκλοφορίας το οποίο θα είναι ικανό να διαχειριστεί την τριπλάσια κυκλοφορία, σε σχέση με σήμερα, χρησιμοποιώντας τον εναέριο χώρο και τα αεροδρόμια, ολοκληρωτικά και με πλήρη ασφάλεια. Αυτό θα επιτευχθεί χάρη στην ανάπτυξη της επικοινωνίας εδάφους και της δορυφορικής επικοινωνίας των συστημάτων αεροπλοΐας καθώς και της ελεύθερης πτήσης. Η ενόχληση από τον θόρυβο θα είναι πολύ μειωμένη και τα μεγάλα αεροδρόμια θα μπορούν να λειτουργούν 24 ώρες το 24ωρο. Το αεροσκάφος θα είναι ικανό να πετά με ασφάλεια σε όλες τις καιρικές συνθήκες και μέσα στον προκαθορισμένο χρόνο κατά 99%.

SECURING GLOBAL LEADERSHIP: Εξασφαλίζοντας παγκόσμια πρωτοπορία

Το 2020, η ευρωπαϊκή αεροναυπηγία θα είναι το νούμερο ένα στον κόσμο. Οι εταιρείες της θα είναι φημισμένες, γνωστές για την ποιότητα των προϊόντων και οι οποίες κερδίζουν περισσότερο από το 50% του μεριδίου της παγκόσμιας αγοράς αεροσκαφών, μηχανών και εξοπλισμού. Παρά το διαφορετικά μεγέθη των εταιρειών αυτών, πρόκειται για μεγάλες πολυεθνικές ή και για μικρές ή μεσαίου μεγέθους εταιρείες, η θέση τους στηρίζεται πάνω σε έναν έντονο ανταγωνισμό σε όλα τα επίπεδα και τομείς, από την έρευνα έως το **design**, από την ανάπτυξη των προϊόντων έως και την υποστήριξη κατασκευής, από τη λειτουργία έως και τη συντήρηση.

Οι πρωτοπόροι στον τομέα είναι πολύ ευέλικτοι και καινοτόμοι, παίρνοντας τεχνολογική δύναμη από ένα πλούσιο δίκτυο ευρωπαϊκών και παγκόσμιων ερευνητικών συνεργασιών. Αυτοί οδηγούν τον κόσμο με το να πρωτοπορούν στην ανάπτυξη της αγοράς και με την ταχύτητα με την οποία μπορούν να διαθέσουν ένα προϊόν από το σχεδιασμό, στην παραλαβή και στη συνέχεια στον πρώτο πελάτη. Αυτοί απολαμβάνουν τα αξιολογικά οφέλη προερχόμενα από την πλήρως ολοκληρωμένη ευρωπαϊκή αγορά, ιδιαίτερα από την πρόσβαση στις μεγάλες αγορές και την ικανότητα να συλλέξουν τους καλύτερα μορφωμένους και εκπαιδευμένους επαγγελματίες της Ευρώπης. Ο δημόσιος τομέας παίζει έναν ανεκτίμητο ρόλο σε αυτήν την επιτυχημένη ιστορία. Οι κυβερνήσεις, μαζί με την Ευρωπαϊκή Ένωση,

επιχειρούν από κοινού προγράμματα όσον αφορά στη διαχείριση του συστήματος αερομεταφορών, το οποίο εκτείνεται από μία απλή αρχή ασφάλειας σε μια ενωμένη προσέγγιση της εναέριας διαχείρισης, καθώς και μια κοινή άποψη για τον σχεδιασμό αεροδρομίων. Με αποφασιστικότητα αυτοί συντονίζουν ένα υψηλά αποτελεσματικό ευρωπαϊκό πλαίσιο για τη συνεργασία στην έρευνα, ενώ χρηματοδοτούν προγράμματα που θέτουν την ευρωπαϊκή βιομηχανία σε ίσο επίπεδο με τους ανταγωνιστές της.

Το 2020 ρυθμιστικά προγράμματα θα παρέχουν ένα καθαρό και σταθερό καθεστώς μέσα στο οποίο η αεροναυπηγική θα αναπτυχθεί και θα προοδεύσει. Οι περισσότεροι κανόνες θα είναι ίδιοι σε όλο τον κόσμο, έτσι ώστε οι επιπτώσεις τους να μην εννοούν ένα συγκεκριμένο σύνολο εθνικών συμφερόντων σε βάρος κάποιου άλλου. Ο κανονισμός αυτού του τομέα της Ευρωπαϊκής Ένωσης τώρα εκτείνεται σε περισσότερο από **30** χώρες. Οι αερογραμμές είναι ελεύθερες να εγκαταστήσουν τις δικές τους πορείες, τις δικές τους ικανότητες και τιμές εισιτηρίων υποκειμένες στους κανόνες ανταγωνισμού και σε μια διευρυμένη εσωτερική αγορά. Η ασφάλεια ρυθμίζεται τώρα από μια αρχή ασφάλειας πανευρωπαϊκής αεροπλοΐας η οποία από καιρό έχει αντικαταστήσει την **Joint Aviation Authorities (JAA)**.

Η αρχή αυτή καλύπτει όλες τις πλευρές ασφάλειας της πολιτικής αεροπορίας συμπεριλαμβανομένων της διαχείρισης εναέριας κυκλοφορίας, των λειτουργιών αεροδρομίων, των βεβαιώσεων αεροσκαφών καθώς και των συναλλασσόμενων αδειών προσωπικού. Ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής ομοιομορφίας έχει επιτευχθεί για τους κανόνες ασφαλείας. Η διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας τώρα εφαρμόζεται σε έναν μόνο ευρωπαϊκό ουρανό, στον οποίο ο εναέριος χώρος είναι κατανομημένος και διαχειρίζεται έτσι, ώστε οι εθνικές υψηλές ζώνες να μην υπάρχουν πια. Οι παροχές υπηρεσιών ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας είτε πρόκειται για ιδιωτικές επιχειρήσεις είτε όχι, έχουν φτάσει υψηλά επίπεδα αποτελεσματικότητας.

2.3 Το αεροσκάφος του 2020

Το αεροσκάφος είναι και σύμβολο αλλά και πραγματικότητα ενός παγκοσμίως ανταγωνιστικού ευρωπαϊκού συστήματος αεροναυπηγικής. Είναι το τελικό προϊόν του ευρωπαϊκού τρόπου οργάνωσης, της επιδότησης των ερευνών και εφαρμογής των καρπών τους. Είναι μια έκφραση του άριστου ταλέντου των Ευρωπαίων και των ικανοτήτων των εταιρειών που ξεκίνησαν και κατάφεραν να αντέξουν τον ανταγωνισμό. Ο σχεδιασμός και η παραγωγή του αεροσκάφους έχει μετατραπεί ειδικότερα από τις νεότερες τεχνολογίες.

Από τις πρώτες φάσεις της σύλληψης της ιδέας, η δομή, τα συστήματα και οι μηχανές έχουν ενσωματωθεί σε συστήματα σχεδιασμού με υπολογιστή (**Computed Aided Design**), επιτρέποντας τεράστιες μειώσεις κόστους παραγωγής και κατασκευαστικού χρόνου. Αυτός είναι και ένας από τους παράγοντες που εξασφαλίζουν φτηνότερα ταξίδια για όλους. Υπήρξαν και άλλες μειώσεις, όπως στο κόστος λειτουργίας και συντήρησης λόγω της καλύτερης διαχείρισης του αεροσκάφους και της χρήσης του, καθώς και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, όπως μια νέα γενιά ελαφρότερων υλικών τα οποία παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση, είναι ανεκτικά στη ζημιά και επισκευάσιμα όσο συχνά απαιτείται. Οι μηχανές ακόμη τροφοδοτούνται με υδρογονάνθρακες, των οποίων οι μολυσμένες εκπομπές μειώνονται σε αποδεκτά επίπεδα από τις πιο αποτελεσματικές καύσεις, τον ελαφρότερο σκελετό των αεροσκαφών και την αεροδυναμική τους. Όμως, τα χαμηλής μόλυνσης κρυογενετικά καύσιμα γίνονται όλο και πιο προσιτά στην τιμή. Καθοδηγούμενη από τις έννοιες “περισσότερο προσιτά στην τιμή, ασφαλέστερα, καθαρότερα, ησυχότερα” η βιομηχανία δουλεύει πάνω σε πιο ανταγωνιστικά σχέδια αεροσκαφών με διαφορετικές διαμορφώσεις, παρόλο που η κλασική κυλινδρική άτρακτος με τις μηχανές να κρατιούνται από χαμηλά φτερά, αποτελεί ακόμη τον κυρίαρχο σχεδιασμό.

Το αεροσκάφος, ακόμη από το στάδιο του υπολογιστικού σχεδιασμού, θέτει τις κατευθύνσεις για τις ανάγκες της κοινωνίας και της αγοράς της επόμενης γενιάς των **super-liners**. Αυτά θα μεταφέρουν τον πληθυσμό ενός μεγάλου χωριού – **1200**

περίπου άνθρωποι – με λαμπρά αποτελεσματική κατανάλωση καυσίμου σε μια νέα διάσταση άνετου και οικονομικού ταξιδιού. Αυτά σίγουρα δεν είναι όλα: επιπλέον η βιομηχανία είναι έτοιμη για την ανάπτυξη πολύ ειδικών αγορών για υπερηχητικά και μεταφορικά αεροσκάφη, καθώς και την ανάπτυξη αεροσκαφών με πρωτοποριακές μεθόδους κάθετης απογείωσης και προσγείωσης.

2.3.1 Εξαρτήματα και εξοπλισμός των συστημάτων

Το **2020**, η ευρωπαϊκή πρωτοπορία όσον αφορά τα αεροσκάφη θα είναι φανερή σε όλον τον κόσμο. Η βιομηχανία στην Ευρώπη θα είναι ο πρωτοπόρος κατασκευαστής και προμηθευτής συστημάτων πλοήγησης και φυσικά οι μηχανές και γενικότερα τα συστήματα θα είναι καλύτερα. Η ικανότητά της, επίσης, θα επεκτείνεται στη διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας (**Air Traffic Management – ATM**) . Η επιτυχία της ευρωπαϊκής λύσης **ATM** υπήρξε τέτοια ώστε να δημιουργηθεί ένα παγκόσμιο στάνταρτ. Το πρόγραμμα έρευνας πρέπει να είναι στην υπηρεσία του οράματος **2020** και στους στόχους που αυτό καθορίζει. Γενικότερα, οι απαιτήσεις του αεροπορικού ταξιδιού, “πιο προσιτό στην τιμή, ασφαλέστερο, καθαρότερο και ησυχότερο”, θα υπαγορεύσουν τις βασικές προτεραιότητες. Επίσης, οι απαιτήσεις του πελάτη για πιο έμπιστες υπηρεσίες θα πρέπει να ικανοποιηθούν. Δεν είναι ο σκοπός αυτής της εξάσκησης να καθορίσει μια λεπτομερή ατζέντα έρευνας. Αυτή θα είναι μια εξελικτική διαδικασία, η οποία θα ήταν καλό μεταξύ άλλων, να οδηγήσει σε μια μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μεγάλα προγράμματα σε κάποιους τομείς κλειδιά, σε μια ικανότητα διατήρησης της διαφάνειας, ολοκλήρωση της αλυσίδας προμηθειών και την παροχή πρόσβασης σε μικρές εταιρείες. Οι στόχοι μας σε πολλούς τομείς τονίζουν την ανάγκη καθορισμού και ρύθμισής τους. Η διαχείριση των κινήσεων του αεροσκάφους στο έδαφος και στον αέρα είναι μια φυσική οικογένεια παρόμοιων τεχνολογιών, ενώ το ίδιο το αεροσκάφος και τα πολύπλοκα συστήματά του, αποτελούν κάτι το διαφορετικό. Πολλά τεχνικά εμπόδια χρειάζεται να ξεπεραστούν με μια ολοκληρωμένη και συγχρονισμένη μέθοδο, εάν επιθυμούμε να πετύχουμε ουσιαστικές αλλαγές στο σύστημα αερομεταφορών.

2.3.2 Περιορίζοντας τις επιπτώσεις του καιρού

Επιθυμούμε συνεχώς να μειώνουμε την ικανότητα του καιρού να δρα ως εμπόδιο στις αποστολές των αεροσκαφών και ως πηγή δυσκολιών και κινδύνου κατά την πτήση. Δεν μπορούμε να ελέγξουμε τον καιρό, αλλά πρέπει να μάθουμε να ζούμε με τα στοιχεία της φύσης και με σταθερό ρυθμό να εξαλείψουμε τη διακοπή των υπηρεσιών που αυτά μπορούν να προκαλέσουν.

2.3.3 Διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης της εναέριας κυκλοφορίας είναι μια πραγματική πρόκληση για την έρευνα και η οποία έχει ήδη θεωρηθεί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η έλλειψη ενός ολοκληρωμένου ευρωπαϊκού συστήματος ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας θέτει πλέον εμπόδια στο ευρωπαϊκό σύστημα εναέριων ταξιδιών και στο περιβάλλον. Χρειαζόμαστε νέες λειτουργικές ιδέες και συστήματα, τα οποία θα επιτρέπουν στα αεροσκάφη να επιχειρούν με όλες τις καιρικές συνθήκες, να πετούν πιο κοντά με λιγότερο ρίσκο, έτσι ώστε να είναι δυνατή μια πιο αποτελεσματική κατανομή του εναέριου χώρου, για τους πολιτικούς και στρατιωτικούς χρήστες, ενώ περιορίζουμε, ταυτόχρονα, όσο πιο πολύ γίνεται, την κατασκευή νέων αεροδρομίων και αεροδιαδρόμων. Επίσης, είναι αναγκαία η εξοικονόμηση καυσίμων, η οποία είναι δυνατή με το να επιτρέπουμε στα αεροσκάφη σε ιδανικές πορείες με βάση την απόσταση, χωρίς περιορισμούς ταχύτητας, και βάζοντας τέλος στις χρονοβόρες διαδικασίες κατά την απογείωση και στο χαρακτηριστικό στοίβαγμα τους στους αεροδιάδρομους μέχρι την εύρεση μιας ελεύθερης “τρύπας” απογείωσης. Ανάμεσα σε άλλα, αυτό σημαίνει την ανάγκη σχεδιασμού συστημάτων για τα αεροσκάφη που σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο λειτουργιών θα συνεργάζονται με αεροπορικές γραμμές, αεροδρόμια και τις διαδικασίες και λειτουργίες διαχείρισης της εναέριας κυκλοφορίας, έτσι ώστε να βελτιώσουμε την απόδοση στη διαχείριση του εναέριου χώρου.

2.3.4 Μια νέα προσέγγιση στην διαχείριση των αεροδρομίων

Τα συστήματα του μέλλοντος, που έχουν ήδη συλληφθεί από τον ανθρώπινο νου και έχουν θεωρητικά περιγραφεί, για τη διαχείριση τόσο των εργασιών που αφορούν τις

εναέριες αποστολές όσο και τις διαδικασίες στη γη, απαιτούνται έντονα. Παρά τις τεχνολογίες αυτοματοποιημένων εισιτηρίων, οι επιβάτες και οι αποσκευές τους μεταχειρίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και 40 χρόνια πριν. Το “just in time” για παράδειγμα έχει ήδη εφαρμοστεί και λειτουργεί στην κατασκευαστική βιομηχανία. Πώς μπορούν όμως αυτές οι αρχές να εφαρμοστούν στους πελάτες των αεροδρομίων; Καινοτόμες λύσεις χρειάζονται επίσης για την ενσωμάτωση του συστήματος αερομεταφορών με άλλους τρόπους μεταφορών.

2.3.5 Οι προκλήσεις της έρευνας

Μόνιμη παρακολούθηση τάσεων

Ευπροσάρμοστα περιβάλλοντα καμπίνας

Υπηρεσίες επιβατών

Προληπτική συντήρηση συστημάτων

Ενσωματωμένα συστήματα πλοήγησης

Συστήματα ATM για τις αερομεταφορές

Καινούρια υλικά και έννοιες δομικής κατασκευής

Μειώσεις στο χρόνο οδήγησης

Ενσωματωμένη κατασκευή και συστήματα συντήρησης

Προχωρημένες μέθοδοι σχεδιασμού

Επικύρωση συστημάτων με τη χρήση μοντέλων και προσομοιώσεων

Σύγχρονη εφαρμοσμένη μηχανική

Ευρωπαϊκό σύστημα αερομεταφορών

Πρωτοποριακές λειτουργικές θεωρίες στα ATM

Προχωρημένα, έξυπνα και ολοκληρωμένα ATM εδάφους

Συστήματα αερομεταφοράς και διαστήματος

Ενσωμάτωση ελικοφόρων αεροσκαφών σε συστήματα ATM

Συστήματα υψηλής πυκνότητας εναέριας κυκλοφορίας

Ικανότητα λειτουργίας σε όλες τις καιρικές συνθήκες

Βελτιωμένη ικανότητα αεροδρομίου και εξελιγμένη διαχείριση

Αυξημένη χρήση της ικανότητας του εναέριου χώρου

Μείωση έλξης δια μέσω συμβατικών και καινούριων μορφών

Πρόσθετα καυσίμων

Θεωρίες προώθησης

Μείωση εκπομπών αερίων

Παραγωγή φιλική στο περιβάλλον, συντήρηση και διαθεσιμότητα

Καλύτερη ενσωμάτωση αεροσκάφους/μηχανής

Προστασία κινδύνου πτήσης

Εξελιγμένα συστήματα ηλεκτρονικής αεροναυτικής

Ανάλυση πιθανότητας και ρίσκου

Υπολογιστικές μέθοδοι

Συστήματα ελέγχου ανθρώπινου λάθους

2.3.6 Το αεροσκάφος του μέλλοντος

Κυριολεκτικά, χιλιάδες συστήματα λειτουργούν μαζί σε ένα μοντέρνο αεροσκάφος: το πλαίσιο του αεροσκάφους, οι μηχανές, τα συστήματα πλοήγησης στο πιλοτήριο είναι κάποια από τα συστήματα υψηλής τεχνολογίας, αλλά και τα καθίσματα, ο χώρος επιβατών και πολλές άλλες τεχνολογίες παίζουν και αυτές τον ρόλο τους. Το ανταγωνιστικό με συνείδηση κόστους ταξίδι που παρέχει επιλογές, άνεση και ευκολία, σε ένα σύστημα αερομεταφορών και το οποίο πρέπει να ταιριάζει περισσότερο στις ανάγκες του πελάτη και πολίτη, το κόστος και η αποδοτικότητα του αεροσκάφους και του σχεδίου του, καθώς και η κατασκευή του, πρέπει να είναι τα πιο ανταγωνιστικά. Πιθανότατα θα προκύψουν νέα σχήματα και μεγέθη από το **2020** για την βελτίωση και τεχνική αποδοτικότητα του συστήματος αερομεταφορών, για την αύξηση της ασφάλειας και για την προστασία του περιβάλλοντος. Τα αεροπλάνα θα μπορέσουν να προσφέρουν πιο αποτελεσματικές και καλές λύσεις και ίσως τελικά καθιερωθούν σαν μια φθηνή εναλλακτική λύση για τη μεταφορά φορτίων και η ευκολία πτήσης θα μπορούσε να γίνει πραγματικότητα με τη χρήση φτερών που αλλάζουν κλίση και τα οποία θα επιτρέπουν κάθετες απογειώσεις και προσγειώσεις. Τα **super-liners** ικανά να μεταφέρουν **1200** ή και παραπάνω επιβάτες ίσως χρειαστούν καινούρια συστήματα αεροδρομίων για τη διαχείρισή τους, αναδιπλούμενα φτερά για την οικονομία χώρου στα αεροδρόμια, καθώς και εισόδους και εξόδους μεγέθους που μια φορά βρίσκαμε μόνο στα επιβατηγά πλοία.

2.3.7 Ασφάλεια και περιβαλλοντικά κέρδη

Εν τω μεταξύ, το σημερινό αεροσκάφος θα συνεχίσει να βελτιώνεται από τις τεχνολογικές προόδους. Τα δεύτερης γενιάς συνθετικά υλικά και η χρήση της υβριδικής ελασματικής ροής πάνω από ολόκληρο το αεροσκάφος θα μπορούσαν να προσφέρουν σημαντικές προσφορές στη μείωση του βάρους του αεροσκάφους και στη μείωση της αντίστασης στον αέρα, μειώνοντας, έτσι, την κατανάλωση καυσίμων. Μεγάλα βήματα για την ασφάλεια θα είναι πιθανά μέσω των ανθρώπινων παραγόντων, την έρευνα και τα ευφυή συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου, τα οποία θα προλαμβάνουν τα προβλήματα και θα δρουν προληπτικά, πριν καν ο πιλότος αντιληφθεί ότι κάτι πάει στραβά. Η σιγουριά του πληρώματος ότι λαμβάνει τις καλύτερες δυνατές αποφάσεις θα επιβεβαιώνεται από ηλεκτρονικά συστήματα. Υπάρχει μια αδιάλλακτη απαίτηση για κάθε βιομηχανία να μειώσουν τις εκπομπές και να βελτιστοποιήσουν τις καύσεις. Αυτοί είναι στόχοι για τους οποίους θα αγωνιστεί και η αεροναυπηγική βιομηχανία. Καθαρότερα και εναλλακτικά καύσιμα, όπως το υδρογόνο, εάν το παραγωγικό του κόστος θα μπορέσει να μειωθεί, ίσως να μπορέσει να βοηθήσει στην μείωση των βλαβερών εκπομπών. Πιο αποδοτικές μηχανές θα είναι επιτεύξιμες και οι οποίες δε θα καίνε μόνο λιγότερα καύσιμα αλλά επίσης θα μειώσουν τις καταστροφικές εκπομπές σε ένα ποσοστό των σημερινών επιπέδων. Αλλά, για να φτάσουμε σε αυτά τα επίπεδα, οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις στην καρδιά της μηχανής, χρειάζεται να αυξηθούν ακόμη περισσότερο και ακόμη, είναι αναγκαίο να βρεθούν τρόποι για την επίτευξη κορυφαίας αποδοτικότητας κατά τη διάρκεια όλης της πτήσης.

Η ψηφιακή επανάσταση επιτρέπει τεράστια βήματα μπροστά στο σχεδιασμό του αεροσκάφους, στην παραγωγή, την κατασκευή, τη συντήρηση και τη λειτουργία, καθώς και στη διαχείριση της εναέριας κυκλοφορίας. Θα υπάρχουν ζωτικές επιπτώσεις στα συστήματα πτήσης, όπου η μεγαλύτερη ενσωμάτωση θα φέρει κορυφαίας απόδοσης λειτουργίες, ελάχιστη κατανάλωση καυσίμων και μεγάλες βελτιώσεις στα δεδομένα ασφαλείας. Τα ενσωματωμένα ηλεκτρονικά συστήματα θα βελτιώσουν τρομερά την αξιοπιστία, θα ελαχιστοποιήσουν τις αιτίες απρογραμμάτιστης συντήρησης και θα επιτρέψουν το άνοιγμα του “Γραφείου και

σπιτιού στον ουρανό”. Σχεδιάζοντας την πορεία, κάνοντας τη μέγιστη εκμετάλλευση των προχωρημένων ηλεκτρονικών, η ατζέντα ερευνών θα πρέπει να αναλυθεί λεπτομερειακώς για επιτρέψει λογικές επιλογές σχετικά με ριζικό άλμα ικανότητας που απαιτείται. Τη στιγμή που θα φτάσει στα ύψιστα επίπεδα, μπορεί τότε να λειτουργήσει σαν φάρος για τη βιομηχανία της αεροναυπηγικής στη Ευρώπη.

2.3.8 Συντήρηση

Οι δραστηριότητες συντήρησης μπορούν να αποτελέσουν τουλάχιστον το **20%** των άμεσων λειτουργικών δαπανών μιας αεροπορικής εταιρείας και έχουν παραμείνει σε αυτό το επίπεδο για πολλά έτη. Εντούτοις, υπάρχει πεδίο για την αύξηση της αποδοτικότητας της διαδικασίας συντήρησης. Παραδείγματος χάριν, υπολογίζεται ότι οι μηχανικοί γραμμών ξοδεύουν **30%** του χρόνου τους προσπαθώντας να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες για να εντοπίσουν και να αποκαταστήσουν τις βλάβες. Επιπλέον, τα λάθη στη διαδικασία συντήρησης μπορούν να επηρεάσουν την ασφάλεια των αεροσκαφών. Σε μια πρόσφατη έρευνα η επίπτωση του ανθρώπινου λάθους σε μια εργασία συντήρησης έχει υπολογιστεί πως συμβάλλει στο **15%** των ατυχημάτων των αεροσκαφών και η μεγάλη πλειοψηφία αυτών των λαθών αποδίδεται στον ανθρώπινο παράγοντα. Η ανάγκη για μια απρογραμμάτιστη συντήρηση μπορεί να προκαλέσει δαπανηρές καθυστερήσεις και ακυρώσεις εάν το πρόβλημα δεν μπορεί να αποκατασταθεί έγκαιρα.

Χρησιμοποιώντας μια βελτιωμένη **διαγνωστική και προγνωστική ικανότητα**, οι τεχνολογίες και οι τεχνικές που εξερευνούνται θα παράσχουν στο πλήρωμα συντήρησης τις καλύτερες πληροφορίες για να εκτελέσουν το στόχο τους. Η λειτουργία υποστήριξης της απόφασης θα δίδει τις οδηγίες σχετικά με τις ενέργειες που λαμβάνονται. Αυτές οι ικανότητες, σε συνδυασμό με την κατάλληλη παρουσίαση στη διεπαφή, αναμένονται να μειώσουν την επίπτωση του ανθρώπινου λάθους στη λειτουργία συντήρησης.

Οι **προληπτικές μέθοδοι συντήρησης** απαιτούν πάρα πολλές πληροφορίες για να δώσουν επαρκή απάντηση στα διάφορα προβλήματα:

- αναγνώριση μη φυσιολογικών καταστάσεων,
- διάγνωση,
- αξιολόγηση των ελαττωμάτων,
- πρόγνωση...

Όλοι αυτοί οι στόχοι απαιτούν μια ανάγκη πραγματογνωμοσύνης για να είναι δυνατός ο χειρισμός τους. Επίσης, η απάντηση των προηγούμενων προβλημάτων απαιτεί το συνυπολογισμό των πληροφοριών από διάφορες πηγές (κραδασμούς, θερμοκρασία, πετρέλαιο...).

Η συντήρηση αφορά όλες τις διαδικασίες και τους πόρους που είναι απαραίτητα για να υποστηρίξουν την προκαθορισμένη λειτουργικότητα και κατάσταση αντικειμένων, μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με το Σουηδικό Πρότυπο Λεξικό Συντήρησης **SS-EN 13306**, η συντήρηση ορίζεται ως:

“Ο συνδυασμός όλων των τεχνικών και διοικητικών ενεργειών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός αντικειμένου, προκειμένου να το διατηρήσει ή να το επαναφέρει, σε μια κατάσταση κατά την οποία θα εκτελεί μια απαιτούμενη λειτουργία”.

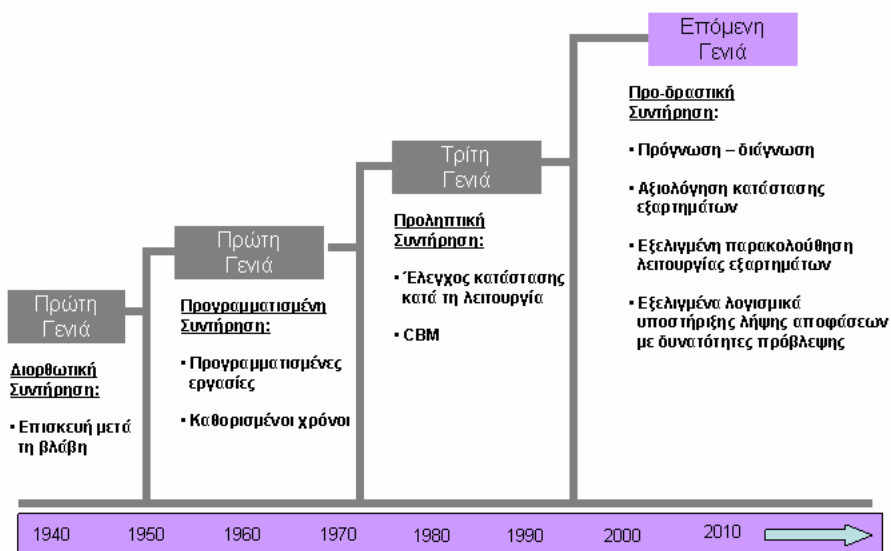
Από τον παραπάνω ορισμό και συγκεκριμένα από την έκφραση “...να το διατηρήσει ή να το επαναφέρει...”, φαίνεται καθαρά ότι υπάρχουν δύο βασικοί τύποι (ή στρατηγικές) συντήρησης. Η πρώτη προσέγγιση αφορά στην προληπτική συντήρηση (**Preventive Maintenance**): να γίνεται συντήρηση με σκοπό να προλαμβάνονται βλάβες ή αστοχίες. Η δεύτερη προσέγγιση είναι η διορθωτική συντήρηση (**Corrective Maintenance**): να γίνεται συντήρηση μετά από βλάβες ή αστοχίες.

Προϋπόθεση της σωστής λειτουργίας της συντήρησης είναι η ύπαρξη μιας στρατηγικής δράσης. Κάθε στρατηγική περιλαμβάνει έναν κύκλο ενεργειών και η επιλογή της εξαρτάται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων:

§ Του μεγέθους της επιχείρησης

- § Της πολιτικής της επιχείρησης
- § Του βαθμού εξέλιξης της επιχείρησης
- § Της διαθεσιμότητας εκπαιδευμένου προσωπικού, κά.

Από τη δεκαετία του **1930**, η εξέλιξη των στρατηγικών συντήρησης μπορούν να χωριστούν σε τρεις γενιές, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Πορεία στρατηγικών συντήρησης

3 ΟΡΙΣΜΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότεροι όροι συντήρησης αεροσκαφών:

Planned Maintenance ή Preventive Maintenance

Προγραμματισμένη Συντήρηση

Οι δραστηριότητες συντήρησης προγραμματίζονται εκ των προτέρων σύμφωνα με τους δείκτες κατασκευής όπως ορίζονται από τις υποδείξεις του αρχικού κατασκευαστή – OEM (**Original Equipment Manufacturer**), τις προδιαγραφές, τις τελευταίες επιθεωρήσεις και άλλες διοικητικές ενδείξεις.

Unplanned maintenance

Απρογραμμάτιστη Συντήρηση

Οι ενέργειες συντήρησης προωθούνται ανάλογα με την κατάσταση των παραμέτρων που λαμβάνουν υπόψη το χρόνο, με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Μερικοί δείκτες είναι:

- Δείκτες επιβίωσης: Είναι ο χρόνος από την τελευταία ρύθμιση, από την τελευταία επισκευή, από την τελευταία αποτυχία.
- Χρονικοί δείκτες: Είναι ο συσσωρευμένος χρόνος λειτουργίας που τρέχει σε καθορισμένες συνθήκες: Σε μη απασχόληση, σε εχθρικό περιβάλλον (θερμοκρασίες), στη μέγιστη ταχύτητα /φόρτιση.
- Δείκτες δραστηριότητας: Αριθμός ξεκινήματων (**start-ups**) του εξοπλισμού.

Controlled maintenance

Ελεγχόμενη Συντήρηση

Οι ενέργειες συντήρησης προωθούνται ανάλογα με την κατάσταση θέση μιας παραμέτρου που συσχετίζεται συνήθως με γνωστές δυσλειτουργίες εξοπλισμού. Οι χαρακτηριστικοί δείκτες είναι εδώ οι κραδασμοί, οι θερμοκρασίες, οι απώλειες απόδοσης, κλπ. Η ελεγχόμενη συντήρηση αναφέρεται συχνότερα ως Συντήρηση βασισμένη στην Κατάσταση (**Condition-Based Maintenance - CBM**) και η χρήση των ανωτέρω δεικτών αναφέρεται συνήθως ως δραστηριότητα Παρακολούθηση

Κατάστασης (**Condition Monitoring**). Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι άλλες τεχνικές, όπως ο Στατιστικός Έλεγχος, μπορούν επίσης να βοηθήσουν.

Η απρογραμμάτιστη και η ελεγχόμενη συντήρηση επιδιώκουν για μια οικονομικώς αποδοτικότερη ανάλυση απ' ό,τι η προληπτική συντήρηση, βελτιώνοντας την αξιοπιστία του εξοπλισμού (αποφεύγοντας τις απροσδόκητες αποτυχίες των μηχανημάτων). Η ελεγχόμενη συντήρηση, εντούτοις, απαιτεί σημαντική επένδυση πόρων.

Proactive Maintenance

Προ-δραστική Συντήρηση

Η πιο πρόσφατη στρατηγική στη συντήρηση, όπου ο στόχος είναι όχι μόνο να ελεγχθεί το προϊόν και να προβλεφθεί η αποτυχία, αλλά να ενεργήσει προκειμένου να διευρυνθεί η διάρκεια ζωής του προϊόντος (αεροσκάφος).

Predictive maintenance (PdM)

Προληπτική Συντήρηση

Οι στρατηγικές θεωρούνται παραδοσιακά κοντά στο **CBM**, δεδομένου ότι υπάρχει η ίδια ανάγκη να ακολουθηθούν κατάλληλοι έμμεσοι δείκτες δυσλειτουργίας. Δηλαδή και οι δύο στρατηγικές είναι βασισμένες στις τεχνικές ελέγχου κατάστασης. Εντούτοις το **CBM** είναι μέθοδος ανίχνευσης (σε ένα περιορισμένο χρονικό πλαίσιο) της πραγματικής κατάστασης των μηχανημάτων. Το **PdM**, από την άλλη πλευρά, εκτελεί ένα μοντέλο «υποβάθμισης» του εξοπλισμού και προβλέπει ιδιαίτερες αποτυχίες, και μπορεί να χρησιμοποιεί τους δείκτες τόσο του **CBM** όσο και της μη σχεδιασμένης συντήρησης.

Diagnosis - Διάγνωση

Η διάγνωση είναι μια πράξη διαπίστωσης της αιτίας και της θέσης του ελαττώματος ή της αποτυχίας¹. Η διάγνωση μπορεί να περιλαμβάνει την ανίχνευση λαθών.

¹ Τροποποιημένος ορισμός από το συνοπτικό λεξικό της Οξφόρδης της τρέχουσας αγγλικής έκτης έκδοσης

Prognosis - Πρόγνωση

Η πρόγνωση είναι μια πράξη που προβλέπει το περιστατικό ενός ελαττώματος².

Degradation - Υποβάθμιση

Μια αμετάκλητη πορεία σε ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου με αιτία είτε το χρόνο, είτε τη χρήση, είτε έναν εξωτερικό παράγοντα.

Παρατήρηση: Μια υποβάθμιση μπορεί να οδηγήσει σε μια αποτυχία.

Event - Γεγονός

Ένα γεγονός είναι ειδικό να προκύψει δείχνοντας ότι μια μη φυσιολογική κατάσταση συνέβη απαιτώντας συντήρηση. Γεγονότα είναι τα 'over-g', 'hard-landing' ή 'bird strike'.

Line maintenance – Συντήρηση ρουτίνας

Έλεγχος ρουτίνας, επιθεώρησης και δυσλειτουργίας κατά τη διάρκεια της στάσης διέλευσης [59].

Hangar maintenance – Συντήρηση υπόστεγου

Ένα αεροπλάνο μπαίνει σε υπόστεγο αεροπλάνων για οποιαδήποτε εργασία συντήρησης, η οποία δεν είναι δυνατόν να γίνει στο διάδρομο προσγείωσης.

Failure – Αστοχία

Μια μόνιμη διακοπή της ικανότητας ενός συστήματος να εκτελέσει μια ζητούμενη αποστολή κάτω από ειδικές συνθήκες λειτουργίας [60].

Παρατήρηση: Η αποτυχία είναι ένα γεγονός, διακεκριμένο από το ελάττωμα, το οποίο είναι μια κατάσταση.

Fault - Σφάλμα

Μια μη αποδεκτή απόκλιση ενός χαρακτηριστικού του συστήματος σε σχέση με μια αποδεκτή, συνηθισμένη ή τυποποιημένη τιμή ή κατάσταση.

² Προσαρμοσμένος ορισμός από το συνοπτικό λεξικό της Οξφόρδης της τρέχουσας αγγλικής έκτης έκδοσης

Fault Detection – Ανίχνευση σφάλματος

Προσδιορισμός των σφαλμάτων που παρουσιάζονται σε ένα σύστημα και του χρόνου ανίχνευσης [61].

Fault Diagnosis – Διάγνωση σφαλμάτων

Προσδιορισμός του είδους, του μεγέθους, του τόπου και του χρόνου της ανίχνευσης ενός σφάλματος. Ακολουθεί την ανίχνευση σφάλματος. Περιλαμβάνει την απομόνωση και τον προσδιορισμό των σφαλμάτων [60].

Fault Isolation – Απομόνωση σφάλματος

Προσδιορισμός του είδους, της θέσης και του χρόνου της ανίχνευσης ενός ελαττώματος. Ακολουθεί την ανίχνευση σφάλματος [60].

Fault Identification – Προσδιορισμός σφάλματος

Προσδιορισμός του μεγέθους και της συμπεριφοράς ενός σφάλματος. Ακολουθεί την απομόνωση σφάλματος.

Monitoring - Παρακολούθηση

Η δραστηριότητα, χειροκίνητη ή αυτόματη, που έχει ως στόχο να παρατηρήσει την πραγματική κατάσταση ενός στοιχείου (εξαρτήματος ή συστήματος).

Repair – Επιδιόρθωση

Φυσική δράση για την επαναφορά της λειτουργίας ενός ελαττωματικού στοιχείου.

4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ - ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ

4.1 Γενικά για τις μεθόδους και τους αλγορίθμους

Ο ρόλος των διαγνωστικών και προγνωστικών αλγορίθμων είναι η παροχή μιας συνεχούς, σε απευθείας σύνδεση ανίχνευσης ελαττωμάτων, η απομόνωση ελαττωμάτων, η παροχή πληροφοριών για το χρονικό διάστημα μέχρι μια πιθανή αποτυχία και ο καθορισμός των ορίων βεβαιότητας ή των διαστημάτων πρόβλεψης. Η κλασσική ανίχνευση ελαττωμάτων και οι προγνωστικοί αλγόριθμοι εξάγουν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα από ακατέργαστα στοιχεία, χρησιμοποιούν συγκεκριμένους ταξινομητές για να προσδιορίσουν τους τρόπους βλάβης, και αναλόγως να προγνώσουν την υπόλοιπη χρήσιμη διάρκεια ζωής των τμημάτων της μηχανής. Στις τρέχουσες διαγνωστικές / προγνωστικές περιοχές εφαρμογής, η εστίαση είναι είτε στα διαγνωστικά είτε τα προγνωστικά, αλλά όχι και στα δύο. Επίσης, οι περισσότερες από αυτές ενδιαφέρονται για τη συνεχή δυναμική μόνο, η οποία δεν ταιριάζει καλά για τα σύνθετα συστήματα που εμφανίζουν διαφορετική δυναμική σε σχέση με τους διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας και τις πατέντες χρήσης.

Τα αρχικά ελαττώματα παρουσιάζονται συχνά ως τάση επιδείνωσης και οδηγούν τελικά στην ανάγκη να εκτελεστούν ακριβείς δραστηριότητες επισκευής και εξέτασης. Η έγκαιρη ανίχνευση των αρχικών ελαττωμάτων επιτρέπει την προληπτική συντήρηση και έχει σημαντική οικονομική σημασία [6]. Η διάγνωση ελαττωμάτων είναι ένας σχετικά ώριμος τομέας με συνεισφορές από πρότυπο-βασισμένες τεχνικές έως και από δεδομένο-οδηγημένες διαμορφώσεις τεχνικών, που κεφαλαιοποιούν πάνω στον υπολογισμό και άλλα "ευφυή" εργαλεία [1],[2].

Οι πρότυπο-βασισμένες τεχνικές χρησιμοποιούν ένα φυσικό πρότυπο και απαιτούν τη λεπτομερή και ολοκληρωμένη κατανόηση του συστήματος [6]. Δεδομένου ότι οι εγκαταστάσεις κατασκευής γίνονται όλο και πιο σύνθετες και ιδιαίτερα πολύπλοκες, χαρακτηρίζονται από μια ιδιαίτερα μη γραμμική δυναμική σύνδεση ποικίλων

φυσικών φαινομένων στις χρονικές και χωρικές περιοχές. Δεν είναι έκπληξη, επομένως, ότι αυτές οι διαδικασίες δεν γίνονται κατανοητές καλά, έτσι ώστε να είναι δύσκολο να χτιστεί ένα ακριβές πρότυπο [3]. Σε ένα δεδομένο-οδηγημένο πρότυπο, τα δεδομένα αναλύονται και χρησιμοποιούνται άμεσα από τα διάφορα εργαλεία ταξινόμησης, όπως η **Fuzzy Logic**, τα Μπαεζιανά δίκτυα (**BN**) και τα Νευρωνικά Δίκτυα (**NN**) [7],[8],[9]. Ένα αυτόματο σύστημα διάγνωσης για ανίχνευση και ταξινόμηση ελαττωμάτων στα ρουλεμάν που χρησιμοποιούν τεχνικές ασαφούς λογικής παρουσιάζεται στο [7]. Μια προσέγγιση δια μέσω νευρωνικού δικτύου στη διάγνωση των ελαττωμάτων στροφών μηχανών επαγωγής παρουσιάζεται στο [8]. Διάφορα χαρακτηριστικά της κατάρτισης και των εφαρμογών δικτύων παρουσιάζονται στο [9].

4.2 Neural Networks - Νευρωνικά δίκτυα

Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων τριάντα ετών, τα νευρωνικά δίκτυα (**Neural Networks - NN**) έχουν μελετηθεί με σκοπό τη σύλληψη σε ένα "μαύρο κιβώτιο" της γενικής σχέσης μεταξύ των μεταβλητών που είναι δύσκολο ή αδύνατο να σχετιστούν αναλυτικά. Ένα νευρωνικό δίκτυο είναι ένα εργαλείο διαμόρφωσης δεδομένων, που είναι σε θέση να συλλάβει και να αντιπροσωπεύσει τις σύνθετες σχέσεις εισαγωγής / εξαγωγής. Ένα νευρωνικό δίκτυο "μαθαίνει" τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών ενδιαφέροντος απλά με τη βοήθεια της έκθεσης στα παραδείγματα της σχέσης [32],[33],[34]. Χαρακτηριστικά, τα νευρωνικά δίκτυα εξομοιώνονται με τη βοήθεια λογισμικού, αν και οι εφαρμογές **hardware** αρχίζουν να γίνονται πιο κοινές. Μερικές από τις τεχνικές μπορούν επίσης να συνδυαστούν μαζί για να επιτύχουν την υψηλότερη διαγνωστική ακρίβεια ελαττωμάτων.

Μια μέθοδος συνδυασμού της **ιδιαίτερης τεχνικής μετατροπής συνημίτονου** με νευρωνικά δίκτυα θεωρήθηκε για να προσδιορίσει τις τροχιές των κεντρικών γραμμών αξόνων των περιστρεφόμενων μηχανημάτων [10]. **Η μετατροπή κυμάτων και τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα** συνδυάστηκαν και εφαρμόστηκαν στη διάγνωση ελαττωμάτων μηχανημάτων [11],[12]. Η μετατροπή κυμάτων χρησιμοποιήθηκε για να προ-επεξεργαστεί δεδομένα και να εξάγει τα χαρακτηριστικά διανύσματα, ενώ τα

τεχνητά νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιορίσουν τους τύπους ελαττωμάτων [11]. Ένα εκπαιδευμένο δυναμικό νευρωνικό δίκτυο κυμάτων πραγματοποίησε επιτυχώς την πρόγνωση ενός ελαττωματικού ρουλεμάν με μια ρωγμή στο εσωτερικό του [12]. Ένας ενσωματωμένος διαγνωστικός αλγόριθμος, ο οποίος συνδύασε ένα **Wavelet Neural Network (WNN)** για την ταξινόμηση των υψηλής συχνότητας στοιχείων και τη **fuzzy logic** (συγκεχυμένη λογική) για την ταξινόμηση των χαμηλής συχνότητας δεδομένων, εξετάστηκε στην αναφορά [13]. Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα από **WNN** και τη συγκεχυμένη λογική που χρησιμοποιούν τη **θεωρία Dempster-Shafer**, ο ενσωματωμένος διαγνωστικός αλγόριθμος είναι σε θέση να προσδιορίσει τα χαμηλής συχνότητας ελαττώματα διαδικασίας και τα υψηλής συχνότητας ελαττώματα ταυτόχρονα.

Στους βιομηχανικούς και κατασκευαστικούς χώρους, η πρόγνωση ερμηνεύεται, έτσι, ώστε να απαντά στην ερώτηση: *ποια είναι η υπόλοιπη χρήσιμη διάρκεια ζωής μιας μηχανής ή ενός εξαρτήματος μόλις ανιχνευθεί και προσδιοριστεί μια επικείμενη συνθήκη αποτυχίας;* Κατά το παρελθόν, οι προγνωστικοί αλγόριθμοι αναπτύχθηκαν με βάση το πιθανολογικό πρότυπο [15] , τα εντατικά έμπειρα συστήματα γνώσης [16], τα πολυωνυμικά νευρωνικά δίκτυα [17] και άλλες τεχνικές. Εντούτοις, αυτές οι μέθοδοι πρέπει ακόμη να παραγάγουν μια συστηματική, αποτελεσματική και ισχυρή προσέγγιση στα προγνωστικά προβλήματα.

Πιο πρόσφατα, δύο κύριες προσεγγίσεις έχουν προκύψει ως πιθανοί υποψήφιοι για την πρόγνωση [18],[26]. Ο πρώτος στηρίζεται στα πρότυπα συστημάτων και τις τεχνικές εκτίμησης συνθηκών για να καθοριστεί η υπόλοιπη χρήσιμη διάρκεια ζωής. Ο δεύτερος χρησιμοποιεί έναν εξολκέα χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και μια μαθημένη συνδυαστική μέθοδο, χαρακτηριστικά μιας τυπικής κατασκευής νευρωνικού δικτύου. Η πρώτη κατηγορία παρακωλύεται από την ανάγκη για ακριβή πρότυπα συστημάτων, ενώ η δεύτερη απαιτεί μια ικανοποιητική βάση δεδομένων που καλύπτει τη δυναμική περιοχή της μηχανής ή τη διαδικασία για λόγους κατάρτισης και επικύρωσης. Μεταξύ της δεύτερης κατηγορίας, τα **δυναμικά κυματικά νευρωνικά δίκτυα (DWNN)** [27] ενσωματώνουν προσωρινές πληροφορίες

και αποθηκευτική ικανότητα στις λειτουργίες τους, έτσι ώστε μπορούν να προβλέψουν στο μέλλον και να εκτελέσουν τις προγνωστικές εργασίες.

Εκτός από την πρόβλεψη της υπόλοιπης χρήσιμης διάρκεια ζωής, είναι κρίσιμο να αξιολογηθεί και η εμπιστοσύνη της πρόβλεψης [28]. Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών, η εκτίμηση του περιθωρίου εμπιστοσύνης έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας περίπλοκες τεχνικές. Μερικές από αυτές βρίσκονται στην *κλασσική βιβλιογραφία πρόβλεψης* [19],[20],[21], ενώ άλλες επινοούνται για τα σύγχρονα πρότυπα πρόβλεψης όπως τα νευρωνικά δίκτυα. Αντίθετα από τις παραδοσιακές πρότυπο-βασισμένες μεθόδους, τα νευρωνικά δίκτυα στοιχείο-οδηγούνται και αυτο-προσαρμόζονται και κάνουν πολύ λίγες υποθέσεις για τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για τα προβλήματα υπό μελέτη. Τα νευρωνικά δίκτυα μαθαίνουν από τα παραδείγματα και συλλαμβάνουν τη λεπτή λειτουργική σχέση μεταξύ των στοιχείων. Κατά συνέπεια, τα νευρωνικά δίκτυα είναι κατάλληλα για τα πρακτικά προβλήματα όπου είναι ευκολότερο να υπάρξουν τα στοιχεία παρά η απόκτηση γνώσης για την διαχείριση του συστήματος που μελετάται. Το **Werbos** [29] αναφέρει ότι τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (**ANNs**) εκπαιδευμένα με αλγόριθμο τύπου **backpropagation** ξεπέρασε τις παραδοσιακές στατιστικές μεθόδους όπως η οπισθοδρόμηση και οι προσεγγίσεις **Box-Jenkins**. Το **νευρωνικό δίκτυο πρόβλεψης εμπιστοσύνης (CPNN)** σχεδιάστηκε βασισμένο στο **γενικό νευρωνικό δίκτυο οπισθοδρόμησης** ως καθολικό προσεγγιστή για τις ομαλές λειτουργίες [25]. Χτίστηκε επάνω στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των προκατόχων του και χρησιμοποίησε έναν κόμβο προσέγγισης της διανομής εμπιστοσύνης στη δομή του για να ολοκληρώσει το στόχο αναπαράστασης της αβεβαιότητας υπό μορφή διανομής εμπιστοσύνης.

4.3 Fuzzy logic-Ασαφής λογική

Η ασαφής λογική (**Fuzzy Logic**) είναι ένας τύπος λογικής που αναγνωρίζει περισσότερο από τις απλές αληθινές και ψεύτικες τιμές. Με την ασαφή λογική, οι προτάσεις μπορούν να αντιπροσωπευθούν με τους βαθμούς αξιοπιστίας και αναλήθειας. Η ασαφής λογική έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε έμπειρα

συστήματα και άλλα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης. Τα έμπειρα συστήματα που βασίζονται στον ασαφή συλλογισμό τείνουν να παρουσιάσουν κάποιο φυσικό βαθμό ευρωστίας σε θορυβώδη ή ελλιπή δεδομένα εισόδου, σε απροσδόκητες διαταραχές και σε λάθη στην τυποποίηση του προβλήματος. Εντούτοις, καλά δεδομένα εισόδου και ο σχεδιασμός βάσεων γνώσης είναι πάντα ουσιαστικά για την κατάλληλη ανίχνευση αποτελεσμάτων.

Οι παραλλαγές του αλγορίθμου ασαφούς λογικής σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους και τεχνολογίες έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς στα διαγνωστικά / προγνωστικά συντήρησης. Δηλαδή, ονομαστικά **Adaptive Fuzzy Logic** (προσαρμοστική ασαφής λογική), **Fuzzy constraint relaxation** (ασαφής χαλάρωση περιορισμού), **Fuzzy rule-based system** (ασαφές σύστημα βασισμένο σε κανόνες).

4.4 Bayesian Networks

Το Μπαεζιανό δίκτυο (επίσης αποκαλούμενο ως δίκτυο πεποίθησης ή αιτιώδες δίκτυο) είναι ένα συνήθως εφαρμοσμένο πρότυπο για την περιγραφή των σχέσεων μεταξύ ενός συνόλου προτάσεων σε ένα Μπαεζιανό διάστημα. Ένα Μπαεζιανό δίκτυο εκφράζεται συνήθως ως άμεση ακυκλική γραφική παράσταση της οποίας κόμβοι αντιπροσωπεύουν τις τυχαίες μεταβλητές και οι της οποίας άκρες αντιπροσωπεύουν τις πιθανολογικές εξαρτήσεις. Κάτω από μια αιτιώδη αντιπροσώπευση, οι άκρες αντιπροσωπεύουν τις άμεσες αιτιώδεις επιρροές. Αυτές οι επιρροές ποσοτικοποιούνται από τις τιμές διανομής πιθανότητας που συνδέονται με κάθε κόμβο. Για να παράγουν την πιθανότητα ενός κόμβου, τις πιθανότητες των κόμβων γονέων τους, καθώς επίσης και τον υπολογισμό των συναρτήσεων διανομής πιθανότητας στις συνδετικές άκρες τους [36].

Τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για την κατασκευή των Μπαεζιανών δικτύων χρησιμοποιώντας ποικιλοτρόπως τις διαθέσιμες πληροφορίες. Οι ιδιότητες των σχετικών αντικειμένων στοιχείων και των πιθανοτήτων τους που εξερευνούνται διαδίδονται στο δίκτυο. Οι προκύπτουσες σχέσεις ιδιοτήτων που εξάγονται από την εξερεύνηση στοιχείων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση του

δικτύου. Μετά από μια στόχο-προσανατολισμένη εξερεύνηση των πληροφοριών και της εξαγωγής των αιτιωδών σχέσεων στα στοιχεία / δεδομένα, ένα κομμάτι του δικτύου θα ενημερωθεί. Το προκύπτον Μπαεζιανό δίκτυο μπορεί είτε να αναφερθεί στο χρήστη είτε να το διαχειριστούμε πάλι για περαιτέρω διαδικασίες ανακάλυψης γνώσης.

Το Μπαεζιανό δίκτυο πεποίθησης (**belief bayesian network (BBN)**) μπορεί να θεωρηθεί ως υψηλού επιπέδου εργαλείο συλλογισμού για την ενσωμάτωση έμφυτης αβεβαιότητας για τη χρήση στην πιθανολογική εξαγωγή συμπεράσματος. Μια βασισμένη σε κανόνες αντιπροσώπευση της γνώσης είναι απλά μια ειδική περίπτωση ενός γενικού **BBN**. Οι διαγνωστικές συμβουλές λειτουργίας βασισμένες σε ένα **BBN** μπορούν να ενισχυθούν περαιτέρω από έναν διαδοχικό αλγόριθμο.

Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν την πιθανολογική προσέγγιση που βασίζεται σε **BBN**, έχουν υιοθετηθεί διατυπώνοντας μια διαγνωστική χαρτογράφηση συμπεράσματος από τις αναγνώσεις αισθητήρων για τον προσδιορισμό της διανομής πιθανότητας του μοντέλου αποτυχίας ενός ελεγχόμενου εξαρτήματος.

4.5 Extreme Value Theory - Θεωρία ακραίας αξίας

Η θεωρία ακραίας αξίας έχει χρησιμοποιηθεί παραδοσιακά στην πρόβλεψη των σπάνιων γεγονότων, ειδικά στην υδρολογία και την αξιοπιστία. Διάφορες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για να προβλέψουν τις ουρές πιθανότητας (που απεικονίζουν τα περιστατικά **extreme**) βασισμένες στα ιστορικά στοιχεία.

4.6 Genetic Algorithms – Γενετικοί αλγόριθμοι

Οι γενετικοί αλγόριθμοι (**Genetic Algorithms - GA**) είναι από τις πιο γνωστές **heuristics** αναζητήσεις και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά συνδυαστικά προβλήματα βελτιστοποίησης. Γενικά, το **GA** λειτουργεί με την κράτηση ενός πληθυσμού ενός σταθερού αριθμού υποψήφια λύσεων (ή χρωμοσωμάτων), οι οποίες αντιπροσωπεύονται από μια ακολουθία αριθμών. Κάθε στοιχείο (ή γονίδιο) ενός χρωμοσώματος χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει ένα ορισμένο

χαρακτηριστικό γνώρισμα της λύσης. Με βάση μια προκαθορισμένη αναπαραγωγική στρατηγική, ορισμένα χρωμοσώματα επιλέγονται ως γονείς και ζευγαρώνουν χρησιμοποιώντας μια λειτουργία διασταυρώσεων για να δημιουργήσουν ένα νέο σύνολο χρωμοσωμάτων απογόνους. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου προκύψει μια συνθήκη τερματισμού [41].

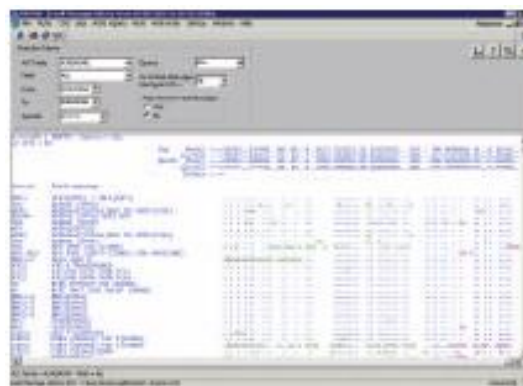
Οι **Sherif** και **Smith** [42] και **Dekker** [43] αναθεώρησαν διάφορες μελέτες που χρησιμοποιούν τα πρότυπα βελτιστοποίησης συντήρησης. Τα παραδείγματα επίσης της εφαρμογής του **GA** στη συντήρηση, π.χ., εξερευνήθηκαν από τους **Zedda** και **Singh** [38] στην περίπτωση της διάγνωσης ελαττωμάτων για την σχετικά καλά οργανωμένης μηχανής **EJ200**. Η έννοια αναπτύχθηκε περαιτέρω από **Sampath et al** [40] και εξετάστηκε στις πιο σύνθετες διαμορφώσεις μηχανών. Η προσέγγιση **Marseguerra et al** [44] συνδέει τη μέθοδο προσομοίωσης **Monte Carlo (MC)**, για μια ρεαλιστικότερη διαμόρφωση της διαδικασίας υποβάθμισης, και τους γενετικούς αλγορίθμους, για την έρευνα του κατάλληλου κατώτατου ορίου υποβάθμισης συστημάτων πέρα από το οποίο η συντήρηση πρέπει να εκτελεσθεί ώστε να βελτιστοποιηθούν ταυτόχρονα οι διαφορετικοί στόχοι.

5 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ-ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

5.1 Airman - Airbus

Το σύστημα **Airbus AIRMAN®** [49] είναι ένα εργαλείο συντήρησης αεροσκαφών διαθέσιμο στα αεροσκάφη της **Airbus** που σχεδιάστηκε για να βελτιώσει την αξιοπιστία των αποστολών με τη μείωση των δραστηριοτήτων προγραμματιστικής συντήρησης. Από την έναρξη παραγωγής των προϊόντων **Airbus** το **1999**, περίπου **40** αερογραμμές πελάτες έχουν εγκαταστήσει το **AIRMAN** σε **830** αεροσκάφη. Από τις νεώτερες χαμηλού κόστους αερογραμμές έως στους καθιερωμένους εθνικούς αερομεταφορείς, σε μικρούς και μεγάλους στόλους, το **AIRMAN** παρέχει απτά οφέλη σε όλους τους τύπους λειτουργιών των αερογραμμών.

Το **AIRMAN** ελέγχει τη δραστηριότητα των συστημάτων των αεροσκαφών κατά τη διάρκεια της πτήσης, περνώντας τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο στις ομάδες υπηρεσιών συντήρησης στο έδαφος. Η κατοχή των πληροφοριών αυτών σε ένα τέτοιο αρχικό στάδιο επιτρέπει στα πληρώματα συντήρησης να βελτιστοποιήσουν το χρόνο προετοιμασιών τους και να προσδιορίσουν σαφώς τις ανάγκες συντήρησης των αεροσκαφών ακόμη πριν την προσγείωσή τους. Η χρήση του **AIRMAN** ελαχιστοποιεί το χρονικό διάστημα που το αεροσκάφος παραμένει εκτός υπηρεσίας λόγω της εργασίας συντήρησης, βοηθώντας συνεπώς τα αεροσκάφη να εκτελούν τις αποστολές τους εγκαίρως. Το **AIRMAN** βοηθά στη μείωση του αριθμού προγραμματιστών συντηρήσεων σε ένα αεροσκάφος. Με την ανάλυση του ιστορικού συντήρησης και βλαβών ενός αεροσκάφους, το σύστημα μπορεί να προσδιορίσει την πιο κατάλληλη δράση για να αποτραπούν μελλοντικά προβλήματα συντήρησης.



Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του διαδικτύου, το **AIRMAN** παρέχει πρόσβαση στα δεδομένα διαμέσω του **web**. Η φιλική προς το χρήστη διεπιφάνεια εργασίας παρέχει την πύλη σε ένα συγκεντρωμένο σύστημα αποθήκευσης, συλλογής και ανάλυσης πραγματικού χρόνου δεδομένων συντήρησης για συγκεκριμένα αεροσκάφη ή το στόλο, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτόνομα ή να ενσωματωθούν εύκολα στα συστήματα IT της αερογραμμής για να παρέχουν τη γνώση για τις διαδικασίες και τις ενέργειες της αερογραμμής.

Μια μελέτη διάρκειας ενός έτους, σε μια κύρια αερογραμμή με **50 fly-by-wire airbus** αεροσκάφη, έδειξε ότι περίπου **3.200** ενέργειες συντήρησης, σχεδόν **900** πειραματικές εκθέσεις ημερολογίων και περισσότερες από **70** καθυστερήσεις αποστολών αποφεύχθηκαν ως αποτέλεσμα της χρησιμοποίησης του **AIRMAN**.

5.2 FleetCycle Production Manager - Sinex

Η **Sinex [50]** είναι δεσμευμένη στην παραγωγή λύσεων που καθιστούν τη συντήρηση των αεροσκαφών ευκολότερη, ασφαλέστερη και παραγωγικότερη για όλους τους συμμετόχους. Το **Sinex FleetCycle® Production Manager** είναι ένα λογισμικό που σχεδιάστηκε για πολλαπλούς χρήστες ενός συστήματος συντονισμού παραγωγής, μέσα στο βαρύ περιβάλλον συντήρησης της αεροπορικής βιομηχανίας. Αυτό το εργαλείο φέρνει τη δύναμη των τεχνολογιών διαδικτύου/ενδοδικτύου άμεσα στο υπόστεγο συντήρησης για τον χειρισμό της σύνθετης διαχείρισης στόχων και την διαχείριση τεράστιου αριθμού δεδομένων που συνδέονται με τους βαριούς ελέγχους συντήρησης. Απλά, το **Production Manager** δίνει στους συμμετόχους τα απαραίτητα εργαλεία για την ολοκλήρωση των εργασιών. Το λογισμικό παρέχει στο προσωπικό συντήρησης την ενημερωμένη πληροφόρηση για τις εργασίες και τις δραστηριότητες που προγραμματίζονται για ολοκλήρωση. Επιτρέπει έναν αποδοτικό συντονισμό και την έγκαιρη παραγγελία των εξαρτημάτων, την ενημέρωση των καταλόγων και την προετοιμασία του εξοπλισμού δοκιμών, αναγκαία για την ολοκλήρωση του προγράμματος εργασιών. Επιπλέον, δημιουργεί ένα αρχειοθετημένο ιστορικό των γεγονότων και δίνει σε όλα τα συμβαλλόμενα μέρη τη δυνατότητα να αξιολογήσουν τις προηγούμενες πρακτικές, δημιουργώντας έτσι

τις συνθήκες για μια συνεχή βελτίωση. Οι καλύτερες πρακτικές μπορούν να καθιερωθούν και να ενσωματωθούν στα σχέδια συντονισμού παραγωγής.

Το **Production Manager** επιτρέπει στα μέλη των ομάδων συντήρησης και στους επικεφαλείς τους γρήγορα και εύκολα να καταλαβαίνουν στερεότυπες και μη εργασίες που προγραμματίστηκαν προς ολοκλήρωση. Παρέχει στους επικεφαλείς τη δυνατότητα να ορίζουν δυναμικά εργασίες στα διάφορα μέλη των ομάδων συντήρησης και να παρέχει πληροφορίες ως προς τους στόχους που έχουν οριστεί, αυτήν την περίοδο, και για το ποιός έχει αναλάβει την ολοκλήρωσή τους. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα να συγκριθεί ο πραγματικός χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση των εργασιών στα αεροσκάφη έναντι του προβλεπόμενου χρόνου για την ολοκλήρωση του έλεγχου συντήρησης. Οι επικεφαλείς, οι επόπτες και η διαχείριση μπορούν γρήγορα να αξιολογήσουν αν και σε ποιους τομείς ο έλεγχος συντήρησης συμβαδίζει σε σχέση με την προβλεπόμενη ημερομηνία ολοκλήρωσης και αξιολογεί οπτικά πότε ο έλεγχος συντήρησης του αεροσκάφους θα ολοκληρωθεί. Σε όλη τη διαδικασία, έγκαιρες ενέργειες μπορούν να πραγματοποιηθούν για να εξασφαλίσουν ότι ο έλεγχος αεροσκαφών θα ολοκληρωθεί σύμφωνα με το πρόγραμμα.

5.3 CMMS - COGZ

Το **COGZ Preventive Maintenance Wizard** περιλαμβάνει τους τυποποιημένους βιομηχανικούς προληπτικούς στόχους συντήρησης. Το πρόγραμμα σχεδιασμού προληπτικής συντήρησης **COGZ** είναι η αυτοματοποίηση για τη λειτουργία διαχείρισης των εργασιών συντήρησης. Το **COGZ CMMS** μπορεί να χρησιμοποιηθεί ουσιαστικά σε οποιοδήποτε αυτοματοποιημένο περιβάλλον συντήρησης που απαιτεί προληπτικά προγράμματα συντήρησης και περιλαμβάνει: στήσιμο λογισμικού συντήρησης, λογισμικού συντήρησης εγκαταστάσεων, λογισμικό συντήρησης οχημάτων, λογισμικό συντήρησης εκπαιδευτικής δυνατότητας, λογισμικό συντήρησης βαρύ εξοπλισμού, λογισμικό ηλεκτρικής προληπτικής συντήρησης, λογισμικό νοσοκομείων **CMMS**, λογισμικό συντήρησης ξενοδοχείων, και πολλών άλλων.

5.4 Aviation Maintenance, Repair and Overhaul System - Accenture

Η **Accenture** ανέπτυξε ένα τυποποιημένο πρότυπο διαδικασίας **MRO** βασισμένο στη γνώση και την εμπειρία παλαιμάχων της αεροβιομηχανίας και που επικυρώνεται από τρεις από τις παγκόσμιες κορυφαίες αερογραμμές.

Οι βασικές ικανότητες του προϊόντος είναι:

- Συστατικό-κεντρική τριοδιάστατη διαχείριση διαμόρφωσης (**3DCM**)
- Διαχείριση κύκλου της ζωής προϊόντων σε περιβάλλοντα συνεργασίας (**CPLM**)
- Ομάδα οδήγησης συντήρησης (**MSG-3**). Αξιοπιστικό-κεντροθετημένη συντήρηση (**RCM**)
- Συνθήκο-βασισμένος σε πραγματικό χρόνο έλεγχος (**CBM**)
- Διάγνωση ανά περίπτωση
- Σημείο των πληροφοριών συντήρησης (**PMI**)
- Διαδικαστικό-κεντροθετημένο οργανωτικό σχέδιο
- Ενσωμάτωση ρύθμισης συμμόρφωσης
- Βελτιστοποίηση χρησιμοποίησης της ικανότητας
- Καιροσκοπικό σχέδιο συντήρησης
- Πεπερασμένο σχέδιο ικανότητας (**FCS**)
- **Six Sigma** συνεχής βελτίωση (**6s CI**)
- Βελτιστοποίηση κατανομής περιουσίας
- Κοστολόγηση με βάση τις δραστηριότητες (**ABC**)
- **Enterprise Profit Optimization™** - Βελτιστοποίηση εταιρικών κερδών(**OEB**)

5.5 MAINTelligence - DMSI

Η **Design Maintenance Systems Inc. (DMSI)** έχει αναπτύξει τα προϊόντα λογισμικού συντήρησης **MAINTelligence Suite**. Αυτή η **suite** προϊόντων είναι ένα ενσωματωμένο αυτοματοποιημένο σύστημα διαχείρισης συντήρησης (**CMMS**) και προφητικό σύστημα συντήρησης (**PdM**). **MAINTelligence Monitor** είναι ένα ενσωματωμένο σύστημα δόνησης, πετρελαίου, θερμογραφίας και επιθεώρησης. Το **MAINTelligence Asset Manager** είναι ένα προηγμένο **CMMS** ικανό να προγραμματίζει **PMs** βασισμένο στο πρόγραμμα και σε συνθήκες. Τα δύο

συστήματα στηρίζονται σε μια κοινή συγγενική πλατφόρμα, έτσι ώστε, να καθιστούν δυνατό το χτίσιμο μιας προσαρμοσμένης βάσης δεδομένων **CMMS**.

5.6 Condition Red – Inframetrics

Το **Condition Red** είναι ένα πακέτο λογισμικού από την **Inframetrics Inc.** που σχεδιάστηκε για να βοηθήσει τα προληπτικά προγράμματα συντήρησης **IR**. Ενσωματώνει μια φωτογραφική μηχανή **IR** με ένα σύστημα ανάλυσης **IR** για να παράγει εκθέσεις αυτόματα. Παρακολουθεί επίσης τον κατάλογο εξοπλισμού εγκαταστάσεων. Κάθε στοιχείο που πρέπει να επιθεωρηθεί συνοδεύεται από τεκμηρίωση με τις αναλυτικές πληροφορίες και μια οπτική ή θερμική εικόνα αναφοράς για λόγους προσδιορισμού. **Condition Red's IR Analysis Wizards** επιτρέπουν στους χρήστες να διευκρινίσουν τα κριτήρια προς ανάλυση και να ταξινομήσουν τα προβλήματα που φαίνονται στην εικόνα.

5.7 RBMware - COMSIS

Το **RBMware** [52] είναι ένα **Reliability Based Maintenance** (βασισμένο στην αξιοπιστία) πακέτο λογισμικού συντήρησης. Μπορεί να ενσωματώσει τις πολλαπλές προληπτικές τεχνολογίες συντήρησης σε ένα, εύχρηστο σύστημα. Το λογισμικό είναι πλήρως συμβατό με το **Y2K** και **MIMOSA**, επιτρέποντας στους τελικούς χρήστες γρήγορα και εύκολα να λάβουν τη μέγιστη απόδοση /αξία από τα προγνωστικά προγράμματα συντήρησής τους. Η δημιουργία βάσεων δεδομένων είναι ευκολότερη απ'ό,τι πριν χρησιμοποιώντας την ενότητα **RBMwizard**. Διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ της ομάδας αξιοπιστίας και άλλων ομάδων των εγκαταστάσεων.

5.8 ANSYS - Impact

Το **ANSYS** [53], εργασία της **Impact**, στοχεύει στην ανάπτυξη των επικυρωμένων προτύπων για την πρόβλεψη προτερημάτων ετοιμότητας. Ο στόχος ήταν να υπολογιστούν οι πολυάριθμες φυσικές τιμές και τα πρότυπα των μεγάλων γρاناζιών για τα **UH-60** ελικόπτερα στο στόλο Αμερικάνικου ναυτικού. Η λύση ήταν να εφαρμοστεί το λογισμικό **ANSYS** για την εκτέλεση της μετατροπής των πρότυπων γρاناζιών ταχυτήτων σε ένα πεπερασμένο πλέγμα τυποποίησης και ανάλυσης

(FEM/FEA) στοιχείων που μπορεί να αναλυθεί. Τα οφέλη χρήσης αυτού του λογισμικού είναι:

- Αυξανόμενη αξιοπιστία αποστολής, καλύτερη σχεδιασμένη συντήρηση για να μειωθεί ο χρόνος διακοπής χρήσης των αεροσκαφών και τις εντυπωσιακά μειωμένες δαπάνες κύκλων ζωής,
- Προσδιορισμένες ευαισθησίες και αβεβαιότητες στα αποτελέσματα των ιδιοτήτων των υλικών και τις ατέλειες κατασκευής στην ικανότητα των εξαρτημάτων,
- Παρέχοντας ανεκτίμητη ρύθμιση ενός προγνωστικού προτύπου στους διάφορους χρόνους στη ζωή ενός εξαρτήματος έτσι ώστε, να μπορεί να αξιολογηθεί και από την άποψη της μακροπρόθεσμης πρόβλεψης ικανότητας (διαχείριση στοιχείων) και μεγαλύτερης βραχυπρόθεσμης ελαχιστοποίησης (αφομοίωση ελαττωμάτων).

5.9 SWAN - SWANTECH

Η **SWANTECH** προσφέρει δυνατότητες ελέγχου συνθηκών, που βασίζεται στην κατοχυρωμένων με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, πρωτοποριακή στη βιομηχανία τεχνολογία για **Stress Wave Analysis (SWAN™)**, ανάλυση κυμάτων που παράγονται κατά το στρεσάρισμα εξαρτημάτων. Όλα τα προϊόντα σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη την εύκολη χρήση, τη διαλειτουργικότητα, και ρυθμιστικότητα, και παρέχουν έναν υψηλό βαθμό προγνωστικής ικανότητας για ανώτερη προγνωστική συντήρηση στις εφαρμογές πελατών και συνεργατών. Οι λύσεις **SWAN** μπορούν να επεκταθούν στις ακόλουθες καταστάσεις:

- για να αυξήσουν τον τρέχοντα εξοπλισμό ελέγχου συνθηκών για μια βελτιωμένη προγνωστική παρακολούθηση των υπάρχοντων εγκατεστημένων μηχανημάτων,
- ως οικονομικώς αποδοτική λύση για τον εξοπλισμό που παραδοσιακά δεν έχει επωφεληθεί από τον έλεγχο συνθηκών,
- κατά τη λειτουργία και σε περιβάλλοντα δοκιμών στοιχείων, και

- ως τεχνολογία που επιτρέπει στους πελάτες να μεταναστεύσουν στο νέο παράδειγμα της προγνωστικής συντήρησης

Τρεις οικογένειες προϊόντων είναι διαθέσιμες: **SWANguard™**, **SWANview™**, και **SWANnet™**. Η **SWANTECH** προσφέρει επίσης τρεις τύπους αισθητήρων **SWAN** ειδικά σχεδιασμένους για να λειτουργούν με τα προϊόντα **SWAN** σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών και των λειτουργικών περιβαλλόντων.

5.10 Airplane Health Management - Boeing

Το **Airplane Health Management (AHM)** [54] της **Boeing** είναι ένα σύστημα μείωσης καθυστερήσεων, ακυρώσεων, μη ολοκληρωμένων πτήσεων με άμεση επιστροφή στο αεροδρόμιο αναχώρησης, και τις παρεκτροπές από τα καθορισμένα σχέδια πτήσης, μέσω της καινοτόμου χρήσης των υπαρχόντων δεδομένων. Οι πρόοδοι στην επεξεργασία δεδομένων, τη μετάδοση και την ανάλυση το καθιστούν δυνατό. Το **AHM** ενσωματώνει την εκ του μακρόθεν συλλογή, τον έλεγχο και την ανάλυση των στοιχείων των αεροπλάνων για να καθορίσει της τρέχουσας και μελλοντικής χρησιμότητας ενός αεροπλάνου. Μετατρέπει τα στοιχεία σε πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ληφθούν λειτουργικές ή **fix-or-fly** αποφάσεις, που μπορούν να κάνουν τη διαφορά μεταξύ του κέρδους και της απώλειας.

Όταν ένα ελάττωμα εμφανίζεται εν πτήσει, το **AHM** διαμέσω της λειτουργίας **Fault Forwarding** (προώθηση βλαβών) επιτρέπει να ληφθούν λειτουργικές αποφάσεις αμέσως, και εάν η συντήρηση απαιτείται, να κανονίσει το απαιτούμενο προσωπικό, τα εξαρτήματα, και τον απαιτούμενο εξοπλισμό.

Το τμήμα προγνωστικών **AHM** σχεδιάζεται για την ενίσχυση στην πρόβλεψη και την επίλυση των προβλημάτων πριν από την αποτυχία. Τα προβλήματα που ίσως ξεκίνησαν και που μπορεί να είναι η αιτία μιας μη προγραμματισμένης συντήρησης, πλέον, μπορούν να επιλυθούν σε προγραμματισμένη βάση.

5.11 **Maintenix – Mxi Technologies**

Το **Maintenix** της **Mxi Technologies** [57], είναι ένα εκτενές σύστημα συντήρησης και εφαρμοσμένης μηχανικής ειδικά σχεδιασμένο να χειριστεί τις μοναδικές περιπλοκές στην συντήρηση αεροσκαφών, της επισκευής, και της εξέτασης, με συνέπεια την αυξανόμενη διαθεσιμότητα αεροσκαφών, του βελτιωμένου προγραμματισμού επίσκεψης συντήρησης, των μειωμένων καταλόγων και της βελτιωμένης διαχείρισης αλυσίδων ανεφοδιασμού, της βελτιωμένης απόδοσης συντήρησης και μείωσης των καθυστερήσεων και των ακυρώσεων .

Χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο και άλλες προοδευτικές τεχνολογίες, η **Maintenix** παρέχει μια ενιαία λύση για περιβάλλοντα γραμμής, βαριά, και συντήρηση καταστημάτων, καθώς επίσης και την υποστήριξη στη μηχανική, στα υλικά και τα διοικητικά τμήματα στόλου. Το σύστημα προσφέρει ασυναγώνιστη διαχείριση διαμόρφωσης και ροής της δουλειάς συντήρησης, καθώς επίσης και βελτιωμένη ενσωμάτωση με το **ERP** και άλλα πληροφοριακά συστήματα. Το **Maintenix** έχει μια σύγχρονη αρχιτεκτονική και παρέχει τις προηγμένες ικανότητες όπως η ανάπτυξη στο **web**, η αυτοματοποιημένη ροή της δουλειάς, ηλεκτρονικές υπογραφές, και υποστήριξη για τις φορητές ασύρματες συσκευές.

Η ενότητα **Maintenix Line Maintenance** περιλαμβάνει: Έλεγχο συντήρησης, προγραμματισμό σταθμών γραμμών, εκτέλεση συντήρησης γραμμών, και διαγνωστικά & προγνωστικά. Με τις διαγνωστικές και προγνωστικές ικανότητές του, το **Maintenix** μετατρέπει τις τεχνολογικές προόδους των ψηφιακών συστημάτων ελέγχου αεροπλάνων σε επιχειρησιακά οφέλη: μειώνοντας τις καθυστερήσεις και τις ακυρώσεις, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα συντήρησης, και μειώνοντας τους καταλόγους εξαρτημάτων και εξοπλισμού που απαιτούνται για τη διαχείριση μη τυποποιημένων εργασιών επίλυσης προβλημάτων.

Το **Maintenix** αυτοματοποιεί την επεξεργασία και την ερμηνεία των μηνυμάτων λάθους των αεροσκαφών, και από τις πειραματικές εκθέσεις **Pilot Reports(PIREPS)** και από, εάν διαθέσιμο, τα μηνύματα **ACARS** από τον εν πλω υπολογιστή

συντήρησης αεροσκαφών. Με την επεξεργασία αυτών των μηνυμάτων σε πραγματικό χρόνο, το **Maintenix** επιτρέπει στις διαδικασίες επίλυσης λαθών και προετοιμασιών (συμπεριλαμβανομένης της εκπλήρωσης των απαιτήσεων εξαρτημάτων) να ξεκινήσουν πολύ πριν την προσγείωση του αεροπλάνου.

Η λειτουργία διάγνωσης & πρόγνωσης στοχεύει στο προσωπικό ελέγχου συντήρησης και στο προσωπικό συντήρησης γραμμών. Μια σελίδα **Fault Resolution** προσδιορίζει τα **PIREPs**, τις



προειδοποιήσεις, και τους συναγερμούς που έχουν προκληθεί στο αεροπλάνο, καθώς επίσης και τα πιθανά ελαττώματα ρίζας που έχουν προσδιοριστεί από **Maintenix**. Το **Maintenix** εκτελεί την αυτοματοποιημένη ανίχνευση λαθών χρησιμοποιώντας μια ή περισσότερες από τις ακόλουθες εισαγωγές:

- το έμπειρο **case-based** σύστημα του **Maintenix** παρέχει ιστορικές διορθωτικές ενέργειες και το ποσοστό τους όσον αφορά την ακρίβεια ή την επιτυχία τους,
- η λογική του **Fault Isolation Manual (FIM)** , επίσης γνωστό ως **Troubleshooting Manual (TSM)** εγχειρίδιο ανίχνευσης και επίλυσης λαθών, και
- οι προκαθορισμένοι τρόποι αποτυχίας και οι τυποποιημένες διορθωτικές ενέργειές τους.

Υποστηρίζοντας τη ροή της δουλειάς κατά τη διαγνωστική/προγνωστική διαδικασία, ο χρήστης μπορεί να επισκεφθεί άλλες σελίδες για να ερευνήσει το ιστορικό συντήρησης του δεδομένου εξαρτήματος ή αριθμό ουράς, συμπεριλαμβανομένων των επαναλαμβανόμενων ελαττωμάτων και των καθυστερημένων βλαβών, και να δει τις λεπτομέρειες από την τεχνική τεκμηρίωση.

6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ / ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

6.1 Ford ST Louis Assembly Plant (ρομποτικοί οξυγονοκολλητές)

Το υπέρυθρο σύστημα στο **Ford's ST.Louis Assembly Plant** έχει αναγνωριστεί ως το "καλύτερο στην κατηγορία" από τη **Ford Productions Systems**, και έχει επιδείξει την ουσιαστική μείωση κόστους και την βελτιώση της ποιότητας. Η υπέρυθρη θερμογραφία έχει αποδειχθεί ως το πιο οικονομικό και πιο αποδοτικό προγνωστικό εργαλείο συντήρησης, που παρέχει γρήγορες επιθεωρήσεις των ρομποτικών οξυγονοκολλητών. Οι εφαρμογές για τις υπέρυθρες επιθεωρήσεις των ρομποτικών οξυγονοκολλητών είναι εκτενείς. Τα πυροβόλα όπλα συγκόλλησης, οι διακλαδώσεις συγκόλλησης, τα καλώδια ελέγχου, τα συστήματα ψύξης, οι μηχανές και οι δακτύλιοι είναι ακριβώς μερικές περιπτώσεις που είναι σε θέση να επιθεωρηθούν. Επιπλέον, είναι σε θέση να προβλέψει τις αποτυχίες πολύ πριν να εμφανιστούν, δίνοντας το χρόνο στα τμήματα συντήρησης να προγραμματίσουν και να σχεδιάσουν τις επισκευές.

Στα πρώτα 2 έτη χρησιμοποίησης των υπέρυθρων ακτίνων ως κύριο προγνωστικό εργαλείο συντήρησης, η συνέλευση του **ST.Louis** απέφυγε έξοδα σχεδόν **\$1,3** εκατομμυρίων. Από αυτό το σύνολο, υπήρξε αποταμίευση **\$160.000** ακριβώς στους ρομποτικούς οξυγονοκολλητές μόνο. Αυτό το σύνολο δεν περιλαμβάνει τα χαμένα οχήματα [45].

6.2 Αμερικάνικο ναυτικό (μηχανήματα πλοίων)

Το ενσωματωμένο σύστημα αξιολόγησης συνθηκών του ναυτικού (**ICAS**) είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει τη συντήρηση και τον προγραμματισμό εργασιών στα συστήματα μηχανημάτων πλοίων. Παρέχει την απόκτηση στοιχείων, την επίδειξη στοιχείων, την ανάλυση εξοπλισμού, τις διαγνωστικές συστάσεις και τις πληροφορίες για την λήψη αποφάσεων από τους χειριστές και το προσωπικό συντήρησης. Επιπλέον, το **ICAS** συνδέεται με άλλα προγράμματα λογισμικού συντήρησης

παρέχοντας ,έτσι, ένα πλήρως ενσωματωμένο σύστημα συντήρησης. Το **ICAS** αξιολογεί τον εξοπλισμό και την κατάσταση των συστημάτων για τη συντήρηση των μηχανημάτων και του εξοπλισμού. Μέσω της χρήσης των μόνιμα εγκατεστημένων αισθητήρων, το σύστημα **ICAS** ελέγχει της ζωτικής σημασίας παραμέτρους των μηχανημάτων σε συνεχή βάση. Το **ICAS** μπορεί να εντοπίσει τη συνθήκη λειτουργίας ενός ιδιαίτερου κομματιού των μηχανημάτων χρησιμοποιώντας στοιχεία απόδοσης παρεχόμενα από τον πελάτη και που συνδέονται με μια λογική διαγνωστική διαδικασία.

Ο τερματικός σταθμός **ICAS** χρησιμοποιείται για απόκτηση στοιχείων, συνθηκών, ανάλυση απόδοσης, τάσεων και την καταγραφή γεγονότων σε ημερολόγιο, και ειδική αξιολόγηση. Διάφοροι τύποι συσκευών αποκτήσης στοιχείων που επεξεργάζονται τα σήματα παραγωγής των αισθητήρων το επεκτείνουν. Ο τερματικός σταθμός **ICAS** είναι, επίσης, αρμόδιος για την παροχή του λειτουργικού περιβάλλοντος στους χρήστες και για την μακροπρόθεσμη αποθήκευση των δεδομένων. Μέσα σε αυτό το περιβάλλον, οι προγνωστικές βελτιώσεις στο πρόγραμμα διαγνωστικών συστημάτων **Diagnostics Systems (PEDS)** στρέφονται στην επίδειξη προγνωστικών βελτιώσεων χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα απαίτησης δεδομένων διαμέσω διεπιφανειών και επιδεικνύοντας τα χρησιμοποιώντας τις εισαγωγές ψευδοαισθητήρων ή απλές βασισμένες στο **WEB** διεπιφάνειες [46].

6.3 Συστήματα & υπηρεσίες μηχανών Honeywell

Μια μονάδα βοηθητικής δύναμης (**APU**) είναι μια μικρή μηχανή στροβίλων αερίου που παρέχει την αεροκίνητη και ηλεκτρική ενέργεια στο αεροπλάνο. Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται για να αρχίσει τις κύριες προωστικές μηχανές, να παρέχει πιεσμένο σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση αέρα για τα συστήματα περιβαλλοντικού ελέγχου των αεροσκαφών, να παρέχει την ηλεκτρική ενέργεια για το φωτισμό, την αεροναυτική ηλεκτρονική και την ενέργεια απαραίτητη στους χώρους των αεροσκαφών στο έδαφος, και για να παρέχει ενέργεια βοηθητική και έκτακτης ανάγκης κατά την πτήση. Η ανάπτυξη των διαγνωστικών αλγορίθμων για μικρές τούρμπο-μηχανές, όπως τα **APUs**, έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε σύγκριση με τις

μεγαλύτερες τούρμπο-μηχανές. Οι απαιτήσεις σχεδίου και ανάπτυξης για τις μονάδες βοηθητικής δύναμης για πολλά έτη έχουν υπογραμμίσει τη μείωση του κόστους και του βάρους συστημάτων **APU**. Στις εγκαταστάσεις αεροσκαφών, οι διαθέσιμοι αισθητήρες **APU** περιορίζονται μόνο στους ουσιαστικούς για τον έλεγχο και την ασφαλή λειτουργία της τούρμπο-μηχανής. Η μείωση του αριθμού αισθητήρων θεωρείται ότι βελτιώσει την αξιοπιστία των συστημάτων. Τα συστήματα αποκτήσεων στοιχείων στα αεροσκάφη περιορίζονται γενικά από τη ικανότητα ροής δεδομένων και την ικανότητα αποθήκευσης στοιχείων των αεροσκαφών και μόνο ένα περιορισμένο ποσό στοιχείων από το **APU** μπορεί να αποθηκευτεί κατά τη διάρκεια ενός κύκλου πτήσης για την μετέπειτα παρακολούθηση των συνθηκών.

6.4 Διεθνής αερολιμένας του Πίτομπουργκ (σύστημα πορτών)

Μια κοινή βιομηχανικό-πανεπιστημιακή συνεργασία έχει πραγματοποιηθεί για να αναπτύξει ένα σύστημα πρωτοτύπων για την παροχή ελέγχου σε πραγματικό χρόνο ενός οχήματος επίγειων μεταφορών στο χώρο των αεροδρομίων με σκοπό τη βελτίωση της διαθεσιμότητας και την ελαχιστοποίηση των αποτυχιών με τον υπολογισμό του κατάλληλου συγχρονισμού για συνθήκο-βασισμένη συντήρηση. Το **hardware** του οχήματος σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και εξετάστηκε για να ελέγχει τα χαρακτηριστικά πορτών (τάση και ρεύμα διαμέσω της μηχανής που ανοίγει και κλείνει τις πόρτες και το χρόνο και τη θέση των πορτών κατά τη μετακίνησή τους), για να προβλέψει γρήγορα μια υποβιβασμένη απόδοση, και για να προλάβει πιθανές αποτυχίες. Εφαρμόστηκε μια προσέγγιση συνδυασμένης στατιστικής και νευρωνικών δικτύων. Το νευρωνικό δίκτυο "μαθαίνει" τις διαφορές μεταξύ των πορτών και μπορεί να συντονιστεί αρκετά εύκολα μέσω αυτής της εκμάθησης. Τα σήματα υποβάλλονται σε επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο και συνδυάζονται με τα προηγούμενα στοιχεία ελέγχου για να υπολογίσουν, χρησιμοποιώντας το νευρικό δίκτυο, την κατάσταση της πόρτας σε σχέση με τις ανάγκες συντήρησης. Το σύστημα πρωτοτύπων εγκαταστάθηκε σε διάφορα σύνολα πορτών οχημάτων στο διεθνή αερολιμένα του Πίτομπουργκ και εξετάστηκε επιτυχώς για αρκετούς μήνες υπό προσομοιωμένες και πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Τα προκαταρκτικά

αποτελέσματα δείχνουν ότι η βελτιωμένη λειτουργική αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα μπορούν να επιτευχθούν [47]. .

6.5 Σιδηρόδρομος της Bombardier Transportation (σύστημα πορτών)

Η περίπτωση της μελέτης **CBM** διεξήχθη για την **Bombardier Transportation**, στη Σουηδία, την άνοιξη του **2002**. Τα μέλη που συμμετείχαν στη μελέτη παρουσιάστηκαν σε ένα υποσύστημα και τους δόθηκε η εργασία να βρουν διαφορετικές ιδέες για το πώς να ελέγξουν τις συνθήκες του συστήματος και συνεπώς να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν την τεχνική **CBM**.

Μετά από συζητήσεις με πολλούς υπαλλήλους της **Bombardier Transportation** η μελέτη οριοθετήθηκε στο **C20 Metro** και στα συστήματα των πορτών του. Τα αποτελέσματα της δοκιμής έδειξαν ότι είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η ίδια τεχνική προσέγγιση με το **CBM** στα οχήματα ραγών όπως συμβαίνει σε μια βιομηχανία εφαρμοσμένης μηχανικής [48].

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Konrad, H. and Isermann, R., "Diagnosis of different faults in milling using drive signals and process models," in Proceedings of the 13th IFAC World Congress, vol.B., Manufacturing, p.91-96, , 1996.
- [2] Shiozaki, J., Shibata, B., Matsuyama, H., and O'shima, E., "Fault diagnosis of chemical processes utilizing signed directed graphs-improvement by using temporal information", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.36, no.4, p.469-74, Nov. 1989.
- [3] S. Mohindra and P. A. Clark, "A Distributed Fault Diagnosis Method Based on Digraph Models: Stead-State Analysis," Computers Chem. Engineering, vol.17, no.2 pp.193-209, 1993.
- [4] K. B. Lim, "A Disturbance Rejection Approach to Actuator and Sensor Placement," Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 20, no. 1, pp. 202-204, January--February 1997.
- [5] Sujoy Sen, Shankar Narasimhan and Kalyanmoy Deb, "Sensor Network Design of Linear Processes Using Genetic Algorithms," Computers Chem. Engineering. vol. 22 no.3, pp. 385-390, 1998
- [6] Gorinevsky, D., Dittmar, K., Mylaraswamy, D., and Nwadiogbu, E., "Model-based diagnostics for an aircraft auxiliary power unit," Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Control Applications, Sept. 18-20, 2002, Glasgow, Scotland, U.K.
- [7] Vicente, S., "Rolling bearing fault diagnostic system using fuzzy logic," 2001 IEEE International Fuzzy Systems Conference.
- [8] Filippetti, F., Granceschini, G., and Tassoni, C., "Neural networks approach to electric machine on-line diagnostics," Fifth European Conference on Power Electronics and Applications, Sept. 13-16, 1993, Page:213-218 vol.4
- [9] Upadhyaya, B.R., Mathai, G., and Eryurek, E., "Development and application of neural network algorithms for process diagnostics," Proceedings of the 29th IEEE Conference on Decision and Control, Dec. 5-7, 1990. Pages: 3277-3282, vol. 6

- [10] Zhao, L.D., and Sheng Z.H., “Combination of discrete cosine transform with neural network in fault diagnosis for rotating machinery”, Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, p.450-4, 2-6 Dec. 1996.
- [11] Wu, Y.S., Sun, Q., Pan, X.F., Li, X.L., Yuan, B., and Tang, X., “The application of wavelet transform and artificial neural networks in machinery fault diagnosis”, Proceedings of ICSP '96 3rd International Conference on Signal Processing, p.1609-12, vol.2, 14-18 Oct. 1996.
- [12] G. Vachtsevanos and P. Wang, “A wavelet network framework for diagnostics of complex engineered systems”, Maintenance and reliability Conference, MARCON 98, Knoxville, May 12-14, 1998.
- [13] P. Wang, N. Propes, N. Khiripet, Y. Li, and G. Vachtsevanos, “An integrated approach to machine fault diagnosis,” IEEE Annual Textile Fiber and Film Industry Technical Conference, Atlanta, May 4-6, 1999.
- [14] P. Wang and G. Vachtsevanos, “Fault prognosis using dynamic wavelet neural networks,” AAAI Symposium, Polo, Alto, March 22-24, 1999.
- [15] Ray, A. and Tangirala, S., 1996. Stochastic modeling of fatigue crack dynamics for on-line failure prognostics, IEEE Transactions on control Systems Technology, vol. 4, no. 4, p. 443-51.
- [16] Lembessis, e., Antonopoulos, G., King, R.E., Halatsis, C., and Torres, J., 1989. CASSANDRA”: an on-line expert system for fault prognosis”, Proceedings of the 5th CIM Europe Conference on Computer Integrated Manufacturing, p. 3717, 17-19.
- [17] Parker, B.E., Jr., Nigor, T.M., Carley, M.P., Barron, R.L., Ward, D.G., Poor, H.V., Rock, D., and DuBois, T.A., 1993. Helicopter gearbox diagnostics and prognostics using vibration signature analysis, Proceedings of the SPIE – The International Society for Optical Engineering, vol. 1965, p. 531-42.
- [18] Hadden, G., Vachtsevanos, G., Bennett, B. and Van Dyke, J., 1999. Machinery Diagnostics and Prognostics/Condition Based Maintenance: A Progress Report, Failure Analysis: A Foundation for Diagnostics and Prognostics

Development, Proceedings of the 53rd Meeting of the Society for Machinery Failure Prevention Technology.

- [19] S.H. Cheung, K.H. Wu, and W.S. Chan, Simultaneous prediction intervals for autoregressive-integrated moving-average models: a comparative study *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 28, no. 3, pp. 297-306, Sep, 1998.
- [20] E.S.Jr. Gardner, A simple method of computing prediction intervals for time series forecasts *Management Science*, vol. 34, no. 4, pp. 541-6, Apr, 1998.
- [21] G. Masarotto, Bootstrap prediction intervals for autoregressions *International Journal of Forecasting*, vol. 6, no. 2, pp. 229-39, Jul, 1990.
- [22] R. Sharda, Neural network for the MS/OR analyst: An application bibliography, *Interfaces*, vol. 24, no. 2 pp. 116-130, 1994.
- [23] A.S. Weigend and N.A. Gershenfeld, *Time Series Prediction: Forecasting the Future and Understanding the Past*, Reading, M.A. Addison-Wesley, 1993.
- [24] P.J. Werbos, Generalization of backpropagation with application to recurrent gas market model *Neural Networks*, vol. 1, pp. 339-356, 1988.
- [25] N. Khiripet, "An architecture for intelligent time series prediction with causal information", Ph.D. Thesis, Georgia Tech, July, 2001
- [26] P. Wang, "Intelligent signal/image processing for fault diagnosis and prognosis," Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology, February 2000.
- [27] G. Vachtsevanos and P. Wang, "An Intelligent Approach To Fault Diagnosis and Prognosis," in *Proceedings on Aerospace Conference*, 2001, vol. 6, pp. 2971-2977.
- [28] N., Khiripet, "An architecture for intelligent time series prediction with causal information," Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology, May 2001.
- [29] P.J. Werbos, Generalization of backpropagation with application to recurrent gas market model *Neural Networks*, vol. 1, pp. 339-356, 1988.
- [30] M. Bengtsson, "Condition Based Maintenance systems – An investigation of technical constituents and organizational aspects", Mälardalen University Licentiate Thesis, 2004.

- [31] Moya, C. C. and Vera, J. C. H. (2003). Evaluation of Condition Based Maintenance through Activity Based Cost. *Maintenance Journal*. Vol. 16, No. 3, pp. 54-61.
- [32] Higgins, L. R. Maintenance Engineering Handbook, 5th Edition, McGraw-Hill, New York, 1995
- [33] Kohonen, T., *Self-Organization and Associative Memory*, Springer Verlag, Berlin, 1984.
- [34] Lippmann, R. P., “An Introduction to Computing with Neural Nets,” *IEEE ASSP Magazine* (April 1987).
- [35] Hecht-Nielsen, R., *Neurocomputing*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1990.
- [36] F.V. Jensen. An introduction to Bayesian networks, Springer, New York (1996).
- [37] S.O.T. Ogaji, S. Sampath, L. Marinai, R. Singh, S.D. Probert, “Evolution strategy for gas-turbine fault-diagnoses”, Applied Energy, Elsevier, 2004
- [38] Zedda M, Singh R. Gas-turbine engine and sensor fault-diagnosis using optimisation techniques, paper AIAA 99-2530. In: AIAA/SAE/ASME/ASEE 35th joint propulsion conference and exhibition, Los Angeles, CA., 20–24 June; 1999
- [39] Zedda M, Singh R. Gas-turbine engine and sensor diagnostics, IS10/UNK010. In: XIV International symposium on air-breathing engines (ISABE), Florence, Italy, 5–10 September; 1999
- [40] Sampath S, Gulati A, Singh R. Artificial intelligence techniques for gas-turbine engine-fault diagnosis. In: 38th Joint propulsion conference and exhibition, Indianapolis; July 2002
- [41] L.D. Chambers, The Practical Handbook of Genetic Algorithms: Applications, CRC Press, Boca Raton, 2001.
- [42] Y.S. Sherif, M.L. Smith, Optimal maintenance models for systems subject to failure – a review, Naval Research Logistics Quarterly 28 (1981) 47–74
- [43] R. Dekker, Application of maintenance optimization models: a review and analysis, Reliability Engineering and System Safety 51 (1996) 229–240.

- [44] M. Marseguerra, E. Zio and L. Podofillini, “Condition-based maintenance optimization by means of genetic algorithms and Monte Carlo simulation”, Reliability Engineering & System Safety, Volume 77, Issue 2, Pages 151-165, 2002
- [45] www.flirthermography.com/media/005calmes.pdf
- [46] www.impact-tek.com/download/papers/p1199_csb.pdf
- [47] www.rutgers.edu/ie/research/working_paper/paper%2003-117.pdf
- [48] www.idp.mdh.se/forskning/amnen/produktprocess/projekt/cbm/publikationer/CBMonRailVehicles.pdf
- [49] <http://www.airbus.com>
- [50] <http://www.sinex.com/products/production.htm>
- [51] <http://www.cogz.com/cmms-overview.htm>
- [52] www.comsys.com
- [53] www.ansys.com
- [54] http://www.boeing.com/commercial/ams/mss/brochures/airplane_health.html
- [55] http://www.mxi.com/template.php?SECTION_ID=maintenix
- [56] <http://www.cogz.com/cmms-overview.htm>
- [57] http://www.mxi.com/template.php?SECTION_ID=maintenix
- [58] http://66.102.9.104/search?q=cache:64aWKSdmkeEJ:ec.europa.eu/research/growth/aeronautics2020/pdf/aeronautics2020_en.pdf+vision+2020+Aeronautics+pdf&hl=el&ct=clnk&cd=1&gl=gr
- [59] World Airlines Technical Operations Glossary, WATOG
- [60] Trends in the Application of Model-Based Fault Detection and Diagnosis of Technical Processes R. Isermann & P. Ballé Control Engineering Practice Vol. 5 No 5 pp 709-799, 1997 Elsevier Science Ltd.