**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**



**ΕΡΓΟΝΟΜΙΑ & ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ STAMP/ACCIMAP ΤΟΥ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΤΗΣΗΣ 3701 PINNACLE AIRLINES**

**ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2019-2020**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗΣ ΘΩΜΑΣ**

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**

**ΠΕΤΡΙΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Α.Μ.: 2016010023**

 **ΜΑΪΟΣ 2020**

Περιεχόμενα

[*Περίληψη* 3](#_Toc50292594)

[*Εισαγωγή* 4](#_Toc50292595)

[*1.* *Πτήση 3701 Pinnacle Airlines* 5](#_Toc50292596)

[*1.1* *Ιστορικό πτήσης* 5](#_Toc50292597)

[*1.2* *Πληροφορίες πληρώματος & αεροσκάφους* 13](#_Toc50292598)

[*2.* *Βασικές αρχές ανάλυσης STEP* 16](#_Toc50292599)

[*3.* *Εφαρμογή μεθόδου STEP στο αεροπορικό ατύχημα της πτήσης 3701 Pinnacle Airlines* 17](#_Toc50292600)

[*4.* *Βασικές αρχές μεθόδου STAMP* 20](#_Toc50292601)

[*5.* *Εφαρμογή μεθόδου STAMP στο αεροπορικό ατύχημα της πτήσης 3701 Pinnacle Airlines* 23](#_Toc50292602)

[*5.1* *Αναγνώριση κινδύνου & Δομή ελέγχου ασφαλείας* 23](#_Toc50292603)

[*5.2* *Ανάλυση αιτιότητας ατυχήματος με την μέθοδο STAMP* 24](#_Toc50292604)

[*5.3* *Αίτια ατυχήματος* 32](#_Toc50292605)

[*6.* *Κατηγοριοποίηση ανθρωπίνων λαθών* 33](#_Toc50292606)

[*7.* *Βασικές αρχές μεθόδου ACCIMAP* 35](#_Toc50292607)

[*8.* *Εφαρμογή μεθόδου ACCIMAP στο αεροπορικό ατύχημα της πτήσης 3701 Pinnacle Airlines* 36](#_Toc50292608)

[*8.1* *Το πλαίσιο ACCIMAP του αεροπορικού ατυχήματος της πτήσης 3701* 36](#_Toc50292609)

[*8.2* *Ανάλυση αιτιότητας ατυχήματος με τη μέθοδο ACCIMAP* 38](#_Toc50292610)

[*9.* *Διορθωτικά μέτρα & προτάσεις* 41](#_Toc50292611)

[*10.* *Σύνοψη & Συμπεράσματα* 43](#_Toc50292612)

[*11.* *Βιβλιογραφία* 44](#_Toc50292613)

# *Περίληψη*

Οι περισσότερες τεχνικές ανάλυσης επικινδυνότητας βασίζονται σε ένα μοντέλο αιτιότητας ατυχήματος. Πολλά από αυτά τα μοντέλα προσδιορίζουν τα ατυχήματα ως απόρροια μιας ακολουθίας γεγονότων, και ενώ είναι αποτελεσματικά για την ανάλυση ατυχημάτων τα οποία έχουν προκληθεί από τη δυσλειτουργία υλικών εξαρτημάτων και για σχετικά απλά συστήματα, χαρακτηρίζονται ως ελλαττωματικά όταν εφαρμόζονται σε συστήματα τα οποία κατέχουν υψηλή πολυπλοκότητα και βασίζονται σε σύνθετο υπολογιστικό λογισμικό. Μέσω των μεθόδων STAMP (System-Theoretic Accident Models and Process) και ACCIMAP, οι οποίες έχουν προταθεί πρόσφατα για τη χρήση τους στα πλαίσια της συστημικής ασφάλειας, παύει να υφίσταται το μοντέλο εύρεσης αιτιότητας ενός ατυχήματος και η αναπροσαρμογή του εκάστοτε φορέα για την αποτροπή του ξανά στο μέλλον, καθώς πλέον εφαρμόζονται περιορισμοί στα υλικά και μη υλικά τμήματα ενός οργανισμού, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την ασφαλή λειτουργία του και θα αποτρέψουν την εμφάνιση ενός πιθανού ατυχήματος. Στις ενότητες που έπονται οι μέθοδοι STAMP και ACCIMAP θα εφαρμοστούν για την ανάλυση του αεροπορικού ατυχήματος των αερογραμμών Pinnacle Airlines με αριθμό πτήσης 3701 στις 14 Οκτωβρίου του 2004. Η παρούσα εργασία εκπονείται στα πλαίσια του μαθήματος Εργονομία & Ασφάλεια Εργασίας, για την παρουσίαση των γεγονότων και των δυσλειτουργιών στο εύρος των κλάδων της ανάλυσης του παρόντος ατυχήματος, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη βελτίωση των μέτρων ασφαλείας και των μεθόδων αποτροπής παρόμοιων ατυχημάτων.

# *Εισαγωγή*

 Οι μεταφορές με χρήση αεροπορικών μέσων αποτελούν διαδικασίες οι οποίες σε περίπτωση ατυχήματος, είναι πιο ευάλωτες σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέσα μεταφορών. Έτσι, καταβάλλονται μεγάλες προσπάθειες για την επίλυση προβλημάτων στο τομέα των πτήσεων, όσο αναφορά τη διερεύνηση της πρέπουσας λειτουργίας των οργανωτικών, τεχνικών και ανθρώπινων στοιχείων των διαδικασιών αυτών. Ο αποτελεσματικότερος τρόπος αντιμετώπισης των παραγόντων ικανών να δημιουργήσουν ένα αεροπορικό ατύχημα, είναι η συνεχής και αδιάκριτη τήρηση των περιορισμών ασφαλείας σε όλα τα επίπεδα της διαδικασίας που περιγράφει μια πτήση. Επιπλέον, οι βελτιώσεις των τεχνικών στοιχείων των μέσων μεταφοράς, των οργανωτικών υπηρεσιών που εξυπηρετούν μια πτήση, των εκπαιδευτικών μοντέλων του εναέριου προσωπικού και τέλος των συνθηκών εργασίας, αποτελούν ενέργειες οι οποίες ελαχιστοποιούν την πιθανότητα ενός αεροπορικού ατυχήματος. Πολλές φορές όμως, η απόκλιση από τις τυποποιημένες διαδικασίες λειτουργίας και η ανικανότητα διαχείρισης έκτακτων καταστάσεων λόγω ελλιπούς εκπαίδευσης, αποτελούν αίτια ικανά να προκαλέσουν ένα αεροπορικό ατύχημα, παρά την εφαρμογή των βελτιώσεων που αναφέρθηκαν και την τήρηση των αναγκαίων περιορισμών ασφαλείας. Στις ενότητες που ακολουθούν, θα πραγματοποιηθεί μια ανάλυση της διαδικασίας της πτήσεως και του προφίλ του ατυχήματος των αερογραμμών Pinnacle Airlines με αριθμό 3701 καθώς και τα πιθανά αίτια δημιουργίας του.

# *Πτήση 3701 Pinnacle Airlines*

Φωτογραφία 1.1: Pinnacle Airlines Bombardier CRJ-200 LR



## *Ιστορικό πτήσης*

 Η πτήση μεταβίβασης αεροσκάφους Bombardier CL-600-2B19, N8396A (CRJ-200) των αερογραμμών Pinnacle Airlines με αριθμό 3701 αναχώρησε από τον εθνικό αερολιμένα του Little Rock στο Arkansas στις 2121 14 Οκτωβρίου 2004, με προορισμό το διεθνή αεροδρόμιο του St. Paul της πόλης Minneapolis. Το πλάνο της πτήσης επισήμανε το καθορισμένο ύψος πορείας στα 33.000 πόδια. Πέντε δευτερόλεπτα μετά την απογείωση του αεροσκάφους, σε ύψος 190 ποδιών έλαβε χώρα ο πρώτος από τους τρείς μεμονωμένους ελιγμούς αύξησης του ρυθμού ανόδου του αεροσκάφους, τοποθετώντας το σε γωνιά ανόδου 22 μοιρών στα 3.000 πόδια ανά λεπτό. Αμέσως μετά, η συσκευή καταγραφής δεδομένων της πτήσης (FDR) ανίχνευσε τις αυτοματοποιημένες λειτουργίες του αεροσκάφους, Stickshaker και Stickpusher να ενεργοποιούνται, μειώνοντας έτσι τη γωνία ανόδου.

 Στις 2125:55, σε ύψος 14.000 ποδιών, το πλήρωμα ενεργοποίησε τη λειτουργία αυτόματου πιλότου, επιτρέποντας στα μέλη του να αλλάξουν θέσεις, γεγονός στο οποίο δεν μπορεί να δοθεί εξήγηση μέσω των απομαγνητοφωνήσεων του ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας και των δεδομένων του FDR. Τέλος, στις 2127:15, σε ύψος 15.000 ποδιών το πλήρωμα απενεργοποίησε τη λειτουργία του αυτόματου πιλότου.

 Στις 2127:17 στο ίδιο υψόμετρο, πραγματοποιήθηκε ο δεύτερος ελιγμός αύξησης ρυθμού ανόδου, τοποθετώντας το σε γωνία ανόδου 17 μοιρών στα 10.000 πόδια ανά λεπτό. Τέλος, μετά από μια σειρά οριζόντιων ελιγμών μικρών γωνιών περίπου στις 2132:40, σε ύψος 24.600 ποδιών και σε οριζόντια θέση, έλαβε χώρα ο τρίτος και τελευταίος ελιγμός αύξησης ρυθμού ανόδου τοποθετώντας το σε γωνία ανόδου μεγαλύτερη των 10 μοιρών σε ρυθμό 9.000 ποδιών ανά λεπτό για σύντομη χρονική διάρκεια. Μετά από αίτημα του κυβερνήτη για άνοδο στα 41.000 πόδια, στις 2135:36, επήλθε η έγκρισή του από τον ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας στις 2136:13, με αποτέλεσμα την εκκίνηση την ανόδου. Η ενεργοποίηση της συσκευής καταγραφής πιλοτηρίου (CVR) έλαβε χώρα στις 2144:44 με τον κυβερνήτη και τον συγκυβερνήτη να συζητάνε για την άνοδο του αεροσκάφους στα 41.000 πόδια. Στις 2152:08 το αεροσκάφος οριζοντιώθηκε σε ύψος 41.000 ποδιών με τελική ταχύτητα πρόωσης τους 163 κόμβους από αρχική ταχύτητα τους 203 στην αρχή της ανόδου. Αργότερα, η συσκευή καταγραφής δεδομένων της πτήσης, επιβεβαίωσε τη χρήση της λειτουργίας αυτόματου πιλότου για την επίτευξη της ανόδου με κάθετη ταχύτητα τα 500 πόδια ανά λεπτό και γωνία προσβολής αρχικά τις 5,7 μοίρες.

 Στις 2152:22 από συνομιλίες του CVR, επιβεβαιώθηκε πως ο κυβερνήτης εγκατέλειψε τη θέση του στο πιλοτήριο για να φέρει ένα αναψυκτικό στον συγκυβερνήτη.

 Η εκτός τυποποιημένων διαδικασιών συμπεριφορά του πληρώματος με την άνοδο του αεροσκάφους στα 41.000 πόδια, το οποίο αποτελεί το μέγιστο ύψος πτήσης για το CRJ-200, ξένισε τον ελεγκτή στο κέντρο ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας του Kansas (ARTCC), ο οποίος στις 2153:42 επικοινώνησε με το πλήρωμα και αρχικά το ρώτησε έτσι ώστε να επιβεβαιώσει το μοντέλο του αεροσκάφους. Τοποθετείται η συνομιλία τους:

- 2153:42 AARTC: “*Δεν σας έχω ξαναδεί \*(αναφορά στο CRJ-200)\* εκεί πάνω στα 41 \*(χιλιάδες πόδια)\*.”*

-2153:51 CAPT: “*Δεν έχουμε επιβάτες, για αυτό αποφασίσαμε να ανέβουμε εδώ πάνω για πλάκα.”*

- 2153:59 CAPT: “*Για την ακρίβεια, αυτό είναι το μέγιστο ύψος λειτουργίας μας.”*

 Στις 2154:07, ο κυβερνήτης του αεροσκάφους άρχισε να εκδηλώνει την ανησυχία του για τη δυνατότητα του αεροσκάφους να διατηρήσει πορεία στο υψόμετρο των 41.000 ποδιών, με τον συγκυβερνήτη να συμφωνεί. Ο προβληματισμός του κυβερνήτη εντάθηκε καθώς στις 2154:32 επικοινώνησε με τον ελεγκτή, πλέον σίγουρος για την αδυναμία του CRJ-200 να διατηρήσει το συγκεκριμένο υψόμετρο, δηλώνοντας τις τιμές των πιθανών υψόμετρων στα οποία θα οποία θα χρειαστεί να μετακινηθεί. Τέλος, στις 2154:36 το FDR ανίχνευσε την ενεργοποίηση της λειτουργίας Stickshaker, με δεδομένα όπως ταχύτητα πρόωσης τους 150 κόμβους και γωνία προσβολής 7,5 μοίρες, τα οποία φανερώνουν την επικείμενη απώλεια ισχύος των κινητήρων του αεροσκάφους.

 Μεταξύ των χρονικών σημείων 2154:45 και 2154:54 ανιχνεύθηκαν 3 ενεργοποιήσεις των αυτοματοποιημένων λειτουργιών Stickshaker και Stickpusher με σκοπό την αποτροπή της απώλειας ισχύος που αναφέρθηκε παραπάνω. Τα δεδομένα του FDR υποδεικνύουν τη μείωση των ταχυτήτων περιστροφής των πτερυγίων των κινητήρων, καθώς και αυτή της ροής καυσίμου προς αυτούς. Τέλος, κατά τη δεύτερη ενεργοποίηση της λειτουργίας Stickpusher, η γωνία προσβολής του αεροσκάφους ανήλθε στις 12 μοίρες, ενώ ακριβώς μετά την τρίτη, η κλίση του αεροσκάφους μειώθηκε από 7 σε -20 μοίρες.

 Στις 2154:57, το FDR κατέγραψε την πέμπτη και τέταρτη ενεργοποίηση των λειτουργιών Stickshaker και Stickpusher αντίστοιχα. Σκοπός αυτών των αυτοματοποιημένων λειτουργειών, είναι η προειδοποίηση των χειριστών του αεροσκάφους για επικείμενη απώλεια ισχύος των κινητήρων. Παρόλα αυτά, το αεροσκάφος συνέχισε να εντείνει τη γωνία προσβολής του στη μέγιστη τιμή που μπορεί να καταγραφεί, τις 27 μοίρες. Η κλίση του αεροσκάφους ανήλθε στις 29 μοίρες, με αποτέλεσμα το αεροσκάφος να εισέλθει σε κατάσταση απώλειας αεροδυναμικής ισχύος. Αμέσως μετά, έλαβε χώρα η στρέψη του αεροσκάφους στην αριστερή του πλευρά, τοποθετώντας το αριστερό του φτερό σε κλίση 82 μοιρών σε σχέση με τον ορίζοντα. Ακολουθώντας την τοποθέτηση της κλίσης του αεροπλάνου στις -32 μοίρες, επήλθε η διακοπή της λειτουργίας των κινητήρων. Στις 2155:06 ο κυβερνήτης δήλωσε σήμα κινδύνου στον ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας και στη συνέχεια εισήγαγε αρκετές τυποποιημένες τιμές στο πηδάλιο του αεροσκάφους με αποτέλεσμα να σταθεροποιήσει την κάθοδο του στα 34.000 πόδια. Αξίζει να σημειωθεί πως, καθ’ όλη τη διάρκεια ανάκαμψης του αεροσκάφους οι στροφές λειτουργίας των κινητήρων συνέχιζαν να μειώνονται, και οι ενδείξεις ροής καυσίμου παρέμειναν μηδενικές.

 Στις 2155:14 λήφθηκε εντολή από τον ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας για μετάβαση σε υψόμετρο 24.000 ποδιών. Ακολουθώντας την επιβεβαίωση του αιτήματος από τον κυβερνήτη 5 δευτερόλεπτα αργότερα, στις 2155:20, προέκυψε η απενεργοποίηση του FDR ως αποτέλεσμα της απώλειας ηλεκτρικού ρεύματος του αεροσκάφους. Οι τελευταίες τιμές περιστροφικής ταχύτητας των συμπιεστών των κινητήρων, καταγράφηκαν ίσες με 46% και 51% για τους κινητήρες 1 και 2 αντίστοιχα.

 Στις 2156:42, ενεργοποιήθηκαν οι διαδικασίες ανάκαμψης από ολοκληρωτική απώλεια ισχύος οι οποίες προϋποθέτουν τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας ίση με 240 κόμβους. Σε υψόμετρο μεταξύ των 21.000 και 13.000 ποδιών, για την επανεκκίνηση των κινητήρων με τη μέθοδο Windmill, η αναγκαία ταχύτητα του αεροσκάφους προσδιορίζεται στους τουλάχιστον 300 κόμβους. Όμως θεωρητικά, η συγκεκριμένη διαδικασία επανεκκίνησης διατρέχει κίνδυνο απώλειας υψομέτρου έως και 5.000 πόδια.

 Με την επαναλειτουργία του FDR στις 2159:16, μέσω της ενεργοποίησης της βοηθητικής μονάδας ισχύος, καταγράφηκαν ενδείξεις οι οποίες εξέφραζαν την συνεχή απώλεια ισχύος των κινητήρων. Επιπλέον, καταγράφηκε η ταχύτητα και το υψόμετρο του αεροσκάφους στους 178 κόμβους και 29.200 πόδια αντίστοιχα.

 Στις 2200:38, έλαβε χώρα η προσπάθεια αύξησης της ταχύτητας του αεροσκάφους από τον συγκυβερνήτη μετά από εντολή του κυβερνήτη, για επιθυμητή τιμή άνω των 300 κόμβων. Το αεροσκάφος τοποθετήθηκε σε κλίση -4.4 μοιρών επιταχύνοντάς έτσι ταχύτητα 200 κόμβων, ενώ στη συνέχεια, μέσα στα επόμενα 25 δευτερόλεπτα μηδένισε την κλίση του διατηρώντας την ως τότε ταχύτητα του. Μετά από δεύτερο αίτημα του κυβερνήτη για την αύξηση της ταχύτητας του αεροσκάφους πάνω από 300 κόμβους, το αεροσκάφος έλαβε κλίση -7.5 μοιρών, επιταχύνοντας στη μέγιστη καταγεγραμμένη ταχύτητα του κατά τη προσπάθεια ανάκαμψης μέσω της μεθόδου Windmill, τους 236 κόμβους. Τέλος, κατά τη διάρκεια των επόμενων 22 δευτερολέπτων, η ταχύτητα του αεροσκάφους μειώθηκε για δεύτερη φορά στη τιμή των 200 κόμβων.

 Οι αποτυχημένες προσπάθειες επανεκκίνησης των κινητήρων ώθησαν το πλήρωμα να χρησιμοποιήσει διαφορετική μέθοδο επαναφοράς. Έτσι, λίγη ώρα μετά τις 2201:51 ο κυβερνήτης ενεργοποίησε τη διαδικασία επανεκκίνησης των κινητήρων μέσω της μεθόδου APU bleed air. Προϋπόθεση για την επιτυχή εφαρμογή της όμως, αποτελεί η διατήρηση σταθερής ταχύτητας μεταξύ 170 και 190 κόμβων.

 Στις 2203:09, ο ελεγκτής εναέριας κυκλοφορίας επικοινώνησε με το πλήρωμα ρωτώντας για τη φύση του σήματος κινδύνου. Ακολούθησε η επισήμανση των προθέσεων του κυβερνήτη για την κάθοδο του αεροσκάφους με σκοπό την επαναφορά του ενός μόνο κινητήρα του. Δεν επισημάνθηκε το γεγονός ότι το αεροσκάφος είχε υποστεί ολική απώλεια ισχύος. Τέλος, ο ελεγκτής αναγνώρισε και επιβεβαίωσε τις προθέσεις του κυβερνήτη. Από τα καταγεγραμμένα δεδομένα του FDR, μέσα στα επόμενα λεπτά σημειώθηκαν τέσσερις ανεπιτυχείς προσπάθειες επανεκκίνησης μέσω της τελευταίας μεθόδου που αναφέρθηκε. Στις 2206:40, ο ελεγκτής ρώτησε το πλήρωμα αν ήθελε να προσγειώσει το αεροσκάφος. Ο κυβερνήτης ανταποκρίθηκε στην ερώτηση του ελεγκτή, δηλώνοντας τη θέληση του να συνεχίσει τις προσπάθειες επανεκκίνησης. Τέλος, στις 2206:54 ο ελεγκτής επικοινώνησε ξανά με το πλήρωμα, ειδοποιώντας το για τη παρουσία του αεροδρομίου της πόλης Jefferson (JEF) εντός κοντινής απόστασης, με τον κυβερνήτη να αναγνωρίζει τη πληροφορία.

 Στις 2209:02, ο κυβερνήτης έδωσε εντολή στον συγκυβερνήτη να επικοινωνήσει με τον ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας και να του προωθήσει το πλαίσιο της κατάστασης, δηλαδή την απώλεια ισχύος και των δύο κινητήρων και την ανάγκη για έκτακτη προσγείωση σε αεροδρόμιο. Ο συγκυβερνήτης για πρώτη φορά πληροφόρησε τον ελεγκτή σχετικά με τη δυσλειτουργία και των δύο κινητήρων. Ακολουθώντας την πρόταση του ελεγκτή για τη προσγείωση του αεροσκάφους στο JEF, ο συγκυβερνήτης δήλωσε πως το αεροσκάφος βρίσκεται σε κάθοδο χάνοντας 500 πόδια ανά λεπτό με απομένων υψόμετρο τα 9500 πόδια, και ότι είναι επείγουσα η προσγείωση στο κοντινότερο αεροδρόμιο μετά από εντολή του κυβερνήτη.

 Μεταξύ του διαστήματος 2210:21 και 221:20, έλαβε χώρα η πληροφόρηση του πληρώματος από τον ελεγκτή σχετικά με τη φύση των ανέμων, τη συχνότητα προσέγγισης, και των παραμέτρων εισαγωγής στο σύστημα ευθυγράμμισης του αεροσκάφους με τον αεροδιάδρομο με αριθμό 30 του αεροδρομίου JEF. Ακολουθώντας την ερώτηση του συγκυβερνήτη στις 2212:24 σχετικά με την οπτική αναζήτηση του αεροδρομίου, ο ελεγκτής παρέδωσε πληροφορίες τοποθεσίας, απόστασης και προσανατολισμού για την προσγείωση του αεροσκάφους. Ένα λεπτό αργότερα, ο ελεγκτής παρέδωσε επιπλέον πληροφορίες στο πλήρωμα για την τοποθεσία του JEF. Στις 2213:37, ο κυβερνήτης ρώτησε τον συγκυβερνήτη αν έχει επιτευχθεί ευθυγράμμιση με τον αεροδιάδρομό. Ακολούθησε δήλωση του συγκυβερνήτη προς τον ελεγκτή σχετικά με την απουσία οπτικής επαφής με τον αεροδιάδρομο. Ο ελεγκτής μετέδωσε ξανά επιπλέον πληροφορίες διεύθυνσης, με τον συγκυβερνήτη να επικοινωνεί δηλώνοντας ότι νομίζει πως κατέχει οπτική επαφή με τον αεροδιάδρομο. Αυτή ήταν η τελευταία μετάδοση του πληρώματος προς τον ελεγκτή.

 Στις 2214:02, ο συγκυβερνήτης ενημέρωσε τον κυβερνήτη πως είχε οπτική επαφή με τον αεροδιάδρομο. Λίγα δευτερόλεπτα αργότερα, στις 2214:17 ο κυβερνήτης εξέφρασε την ανησυχία του σχετικά με την ικανότητα του να προσεγγίσει επιτυχώς τον αεροδιάδρομο και να προσγειώσει το αεροσκάφος. Τοποθετούνται τα δεδομένα που καταγράφηκαν στο πιλοτήριο από το CVR για το διάστημα μεταξύ 2214:17 και 2214:46:

- 2214:17 CAPT: “*Δεν θα τα καταφέρουμε.”*

-2214:38 CAPT: “*Υπάρχει δρόμος; Δεν πρόκειται να φτάσουμε τον αεροδιάδρομο.”*

- 2214:46 CAPT: “*Ας κρατήσουμε το σύστημα προσγείωσης πάνω… δεν θέλω να ακουμπήσω σπίτια.”*

 Πρέπει να σημειωθεί ότι μετά την αριστερή στροφή του αεροσκάφους προς ένα ευθύγραμμό, φωτισμένο τμήμα αυτοκινητόδρομου στις 2214:38, εμφανίστηκε για τελευταία φορά το στίγμα του αεροσκάφους στις 2214:53 στο ραντάρ που κάλυπτε την περιοχή. Η τελευταίες γνωστές συντεταγμένες του αεροσκάφους πριν τη συντριβή του, το τοποθετούν 0.58 ναυτικά μίλια μακριά από το σημείο πρόσκρουσης σε υψόμετρο 930 ποδιών.

 Στις 2214:54, 2214:58 και 2215:00, το CVR κατέγραψε 3 μεμονωμένες ενεργοποιήσεις του συστήματος προειδοποίησης εγγύτητας εδάφους (GPWS) ως: *“σύστημα προσγείωσης πολύ χαμηλά”, “έδαφος πολύ χαμηλά”*, *“ανέβασε το αεροσκάφος”* αντίστοιχα. Στις 2215:03, το CVR κατέγραψε τον κυβερνήτη να δηλώνει πως θα προσκρούσει σε κατοικίες της περιοχής, ενώ 2 δευτερόλεπτα αργότερα κατέγραψε την τέταρτη ενεργοποίηση του GPWS ως: *“ανέβασε το αεροσκάφος”.* Τέλος, στις 2215:06 το CVR κατέγραψε ένα ήχο ο οποίος προσεγγίζει σε ομοιότητα αυτόν μιας πρόσκρουσης, βγαίνοντας εκτός λειτουργίας ένα δευτερόλεπτο αργότερα. Το αεροσκάφος υπέστη ανεπανόρθωτες βλάβες λόγω των δυνάμεων πρόσκρουσης και της φωτιάς που ακολούθησε, ενώ το πλήρωμα απεβίωσε τη στιγμή της πρόσκρουσης.

## *Πληροφορίες πληρώματος & αεροσκάφους*

Κυβερνήτης Αεροσκάφους :

 Ο κυβερνήτης του αεροσκάφους, ηλικίας 31 χρονών κατείχε πιστοποιητικό για υπηρεσία σε αερογραμμές μεταφοράς καθώς και ιατρική πιστοποίηση πρώτης τάξης από τον ομοσπονδιακό οργανισμό αεροπορίας με ημερομηνία έκδοσης 22 Ιουλίου 2004. Για την άσκηση των δικαιωμάτων του πιστοποιητικού του απαραίτητη ήταν η χρήση φακών επαφής. Τέλος, εξέλαβε πιστοποιητικό τύπου CL-65 τον Αύγουστο του 2004. Αξίζει να σημειωθεί πως μέσω του τελευταίου πιστοποιητικού, ο κυβερνήτης κρίνεται ικανός για τη πτήση του αεροσκάφους CL-600-2B19.

 Ο κυβερνήτης προσλήφθηκε από τις αερογραμμές Pinnacle Airlines τον Φεβρουάριο του 2003. Σύμφωνα με τη αίτηση πρόσληψης του, αποφοίτησε από το πανεπιστήμιο αεροναυπηγικής Embry-Riddle της Florida τον Μάιο του 1995, κατέχοντας πτυχίο Bachelor στην αεροναυπηγική επιστήμη. Η αίτηση πρόσληψης υπέδειξε πως απασχολήθηκε ως εκπαιδευτής πτήσεων στο ίδιο πανεπιστήμιο από όπου αποφοίτησε, από τον Αύγουστο του 1996 έως τον Οκτώβριο του 1999. Επιπλέον, απασχολήθηκε ως συγκυβερνήτης αεροσκαφών τύπου British Aerospace Jetstream για τις αερογραμμές Trans States Airlines, από τον Ιανουάριο 1999 έως τον Μάιο του 2000. Τέλος, από τον Ιούνιο του 2000 έως τον Σεπτέμβριο του 2002 απασχολήθηκε ως κυβερνήτης αεροσκαφών τύπου Beech 1900, ενώ το βιογραφικό του υπέδειξε πως είχε λάβει πιστοποιητικό εκπαίδευσης μεγάλου υψομέτρου από τον ομοσπονδιακό οργανισμό αεροπορίας.

 Τα αρχεία πρόσληψης και πτήσεων των αερογραμμών Pinnacle Airlines επιβεβαίωσαν ότι ο κυβερνήτης είχε συγκεντρώσει συνολικά 6.900 ώρες πτήσης, με τις 5.055 από αυτές ως κυβερνήτης, 973 ώρες με αεροσκάφους τύπου CL-65 εκ των οποίων στις 150 από αυτές είχε αναλάβει καθήκοντα κυβερνήτη. Τέλος, κατείχε χρόνο εναέριας υπηρεσίας 667, 154 και 75 ώρες τους τελευταίους 12 μήνες, 90 μέρες και 30 μέρες αντίστοιχα πριν το ατύχημα.

 Συγκυβερνήτης Αεροσκάφους :

 Ο συγκυβερνήτης, ηλικίας 23 χρονών, κατείχε και αυτός πιστοποιητικό για υπηρεσία σε αερογραμμές μεταφοράς, με πιστοποιήσεις ικανότητας προσγείωσης και χειρισμού οργάνων ενδείξεων μονοκινητήριων και δικινητήριων αεροσκαφών. Επίσης, κατείχε ιατρική πιστοποίηση πρώτης τάξης από τον ομοσπονδιακό οργανισμό αεροπορίας με ημερομηνία έκδοσης 14 Ιανουαρίου 2004, με μοναδικό περιορισμό τη χρήση φακών επαφής για την άσκηση των δικαιωμάτων του.

 Ο συγκυβερνήτης προσλήφθηκε από τις αερογραμμές Pinnacle Airlines τον Απρίλιο του 2004. Σύμφωνα με την αίτηση πρόσληψης του, φοίτησε στο κοινοτικό κολέγιο του Broward στη Florida από τον Μάιο του 2001 έως τον Δεκέμβρη του 2003, και ως απόφοιτος έλαβε δίπλωμα διετών σπουδών στον τομέα της επιστήμης πτήσεων. Τον Οκτώβριο του 2002, εντάχθηκε ενεργά στην ακαδημία αεροναυπηγικής του Gulfstream, και έλαβε επακόλουθα τον τίτλο του κυβερνήτη για αεροσκάφη τύπου Beech 1900 στις αερογραμμές Gulfstream International Airlines.

 Τα αρχείο πτήσεων και πρόσληψης των αερογραμμών Pinnacle Airlines επιβεβαίωσαν ότι είχε συγκεντρώσει συνολικά 761 ώρες πτήσεων, αναλαμβάνοντας στις 222 από αυτές καθήκοντα συγκυβερνήτη σε αεροσκάφος τύπου CL-65. Τέλος, κατείχε χρόνο εναέριας υπηρεσίας 380, 192 και 60 ώρες τους τελευταίους 12 μήνες, 90 μέρες και 30 μέρες αντίστοιχα πριν το ατύχημα.

Αεροσκάφος :

 Το αεροσκάφος του ατυχήματος μοντέλου Bombardier CL-600-2B19, με σειριακό αριθμό 7396 παραδόθηκε σε νέα κατάσταση στις αερογραμμές Pinnacle Airlines στις 18 Μαΐου 2000. Στο χρόνο που σημειώθηκε το ατύχημα, το αεροσκάφος είχε συγκεντρώσει συνολικά 10.168 ώρες εναέριας υπηρεσίας και 9.613 κύκλους εργασιών πτήσεως.

 Την ημέρα του ατυχήματος, διευθετημένο για τη μετακίνηση του αεροσκάφους από το αεροδρόμιο του Little Rock σε αυτό του St.Paul ήταν διαφορετικό πλήρωμα από αυτό του ατυχήματος. Το αρχικό πλήρωμα δεν πραγματοποίησε την απογείωση του αεροσκάφους, έχοντας λάβει ειδοποίηση δυσλειτουργίας από το ενσωματωμένο σύστημα ενδείξεων κινητήρων και ειδοποίησης πληρώματος. Το αεροσκάφος επέστρεψε στη πύλη απογείωσης του, ενώ κάποιος υπεύθυνος συντήρησης κλήθηκε να προσδιορίσει το πρόβλημα, χωρίς όμως αποτέλεσμα. Έτσι, δύο μηχανικοί των αερογραμμών Pinnacle Airlines αποστάλθηκαν από το Memphis, Tennessee για την επίλυση του προβλήματος. Το πρόβλημα προσδιορίστηκε στη λειτουργία ενός αισθητηριακού οργάνου εντός του κινητήρα. Τέλος, μετά την αντικατάσταση του, έλαβε χώρα Ο έλεγχος του κινητήρα για 30 λεπτά και επακολούθως το αεροσκάφος χαρακτηρίστηκε κατάλληλο για υπηρεσία.

Το βάρος του αεροσκάφους τη στιγμή της απογείωσης ήταν 39.336 λίβρες, λιγότερο από το μέγιστο επιτρεπτό τις 53.000. Τέλος, το κέντρο βάρους του αεροσκάφους κατά την απογείωση τοποθετούνταν στο 21.6% της τιμής της μέσης αεροδυναμικής χορδής, με ανώτατο και κατώτατο ποσοστό 9.0% και 35.0% αντίστοιχα.

# *Βασικές αρχές ανάλυσης STEP*

 Λόγω του πλήθους και της πολυπλοκότητας των γεγονότων που έλαβαν χώρα κατά της διαδικασία της πτήσης, είναι αναγκαία η συγκέντρωση και η εμφάνιση των ενεργειών των εμπλεκόμενων φορέων σε ένα φύλλο εργασίας, το οποίο παρουσιάζει τη χρονική αλληλουχία των γεγονότων αυτών, τις μεταξύ τους σχέσεις, ενώ μέσω αυτού εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τη συμβολή του κάθε στοιχείου που δρα, στη πρόκληση του ατυχήματος. Η Ανάλυση Ακολουθίας Γεγονότων και Ενεργειών (STEP) αποτελεί μια πολυγραμμική μέθοδο ανάλυσης ατυχημάτων, και χρησιμοποιείται με σκοπό να ξεπεραστούν οι περιορισμοί που τίθενται από τα μονοδιάστατα μοντέλα αίτιου και αποτελέσματος.

 Σε πρώτο στάδιο δημιουργείται ένα φύλλο εργασίας, στο οποίο αποτυπώνεται ένα διάγραμμα ροής με σκοπό τη παρουσίαση της ακολουθίας των γεγονότων του ατυχήματος. Το συγκεκριμένο διάγραμμα αποτελεί ένα πίνακα όπου οι ονομασίες των δραστών τοποθετούνται σε γραμμές στο αριστερό του τμήμα, ενώ οι στήλες του πίνακα ορίζονται από σημεία σε μια χρονοσειρά που τοποθετείται στο άνω μέρος του. Με σκοπό την βέλτιστη κατανόηση της ακολουθίας των ενεργειών του ατυχήματος, το κάθε γεγονός απλοποιείται πλήρως και ορίζεται ως μια μοναδική ενέργεια από ένα μοναδικό δράστη. Τέλος, βασική έννοια της ανάλυσης STEP, αποτελούν οι συνδέσεις των γεγονότων μέσω λογικών σχέσεων ακολουθίας οι οποίες αναπαρίστανται μέσω τόξων σύνδεσης. Το αποτέλεσμα των παραπάνω, είναι η δημιουργία ενός διαγράμματος ροής γεγονότων, αναπαριστώντας τη διαδικασία του εκάστοτε ατυχήματος από την πρώτη αποκλίνουσα ενέργεια στα πλαίσια ασφάλειας της εργασίας, έως και το τελευταίο μη επιθυμητό επιβλαβές γεγονός.

# *Εφαρμογή μεθόδου STEP στο αεροπορικό ατύχημα της πτήσης 3701 Pinnacle Airlines*

 Δεδομένης της πολυπλοκότητας της αλληλουχίας των γεγονότων του ατυχήματος, τοποθετείται παρακάτω το απλοποιημένο διάγραμμα STEP της πτήσης 3701 Pinnacle Airlines με βάση το επίσημο πόρισμα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε. Η χρονοσειρά των γεγονότων τοποθετείται στον άξονα Χ, ενώ οι ονομασίες των δραστών στον άξονα Υ. Όπως προαναφέρθηκε, κάθε γεγονός χαρακτηρίζεται ως μια μοναδική ενέργεια από ένα μοναδικό δράστη. Τέλος, η λογικές ακολουθίες σύνδεσης των γεγονότων παρουσιάζονται με τόξα.

Σχήμα 3.1: Εφαρμογή STEP στο αεροπορικό ατύχημα της πτήσης 3701 Pinnacle Airlines

Δράστες

Χρονοσειρά γεγονότων

2154:57

2152:08

2136:13

2135:36

Ελεγκτής εναέριας κυκλοφορίας:

ARTCC (Kansas)

Άδεια Ανόδου

Αίτημα ανόδου: 41.000 πόδια

Πλήρωμα πτήσεως: Κυβερνήτης Συγκυβερνήτης

Μικρή εναέρια ταχύτητα

Μεγάλη κλίση αεροσκάφους

Άνοδος: 41.000 πόδια

Αεροσκάφος:

CRJ-200

Απώλεια αεροδυναμικής ισχύος

Απενεργοποίηση κινητήρων

Δράστες

Χρονοσειρά γεγονότων

2154:57

2203:30

2156:42

2155:14

Εντολή καθόδου: 24.000 πόδια

Ελεγκτής εναέριας κυκλοφορίας:

ARTCC (Kansas)

Αδυναμία επιτυχούς ανάκαμψης

Πλήρωμα πτήσεως: Κυβερνήτης Συγκυβερνήτης

Έναρξη διαδικασιών ανάκαμψης: APU

Έναρξη διαδικασιών ανάκαμψης διπλής βλάβης κινητήρων

Αεροσκάφος:

CRJ-200

Απενεργοποίηση κινητήρων

Δράστες

Χρονοσειρά γεγονότων

2210:21

2209:02

2206:54

2203:30

Ενημέρωση πληρώματος: Παράμετροι προσγείωσης

Ενημέρωση διαθέσιμου αερολιμένα για προσγείωση: JFK

Ελεγκτής εναέριας κυκλοφορίας:

ARTCC (Kansas)

2η αποτυχία ανάκαμψης

Επικοινωνία με ελεγκτή: Οδηγίες προσγείωσης

Έναρξη διαδικασιών ανάκαμψης: APU

Πλήρωμα πτήσεως: Κυβερνήτης Συγκυβερνήτης

Πορεία έκτακτης προσγείωσης

Αεροσκάφος:

CRJ-200

Δράστες

Χρονοσειρά γεγονότων

2214:38

2214:17

2214:02

2210:21

Ελεγκτής εναέριας κυκλοφορίας:

ARTCC (Kansas)

Ενημέρωση πληρώματος: Παράμετροι προσγείωσης

Πλήρωμα πτήσεως: Κυβερνήτης Συγκυβερνήτης

Πορεία προσέγγισης αεροδιαδρόμου

Εντοπισμός αεροδιαδρόμου προσγείωσης

Αεροσκάφος:

CRJ-200

Έκτακτη αριστερή στροφή

Δράστες

Χρονοσειρά γεγονότων

2215:06

2215:00

2214:38

Ελεγκτής εναέριας κυκλοφορίας:

ARTCC (Kansas)

Πλήρωμα πτήσεως: Κυβερνήτης Συγκυβερνήτης

Πτώση αεροσκάφους

Αεροσκάφος:

CRJ-200

Επικίνδυνη μείωση υψομέτρου

Έκτακτη αριστερή στροφή

# *Βασικές αρχές μεθόδου STAMP*

Βασική αρχή της μέθοδού STAMP κατά την ανάλυση ατυχημάτων, αποτελεί η θεώρηση πως η ύπαρξη πιθανότητας δυσμενών επιπτώσεων σε μια διαδικασία εργασίας, είναι ο ανεπαρκής έλεγχος/επιβολή αναγκαίων περιορισμών ασφάλειας στον σχεδιασμό, στην ανάπτυξη και στην εκτέλεση της. Μια διαδικασία εργασίας αναλύεται σε στοιχεία τα οποία είναι διατεταγμένα με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να υφίστανται σχέσεις ιεραρχικής φύσεως στη δομή την οποία αποτελούν, με την ταυτόχρονη ύπαρξη επιπέδων ελέγχου. Έτσι, όπως προαναφέρθηκε, μοναδικά αίτια δημιουργίας ατυχήματος σύμφωνα με τη συγκεκριμένη θεώρηση, αποτελούν η παραβίαση των περιορισμών ασφαλείας που εφαρμόζονται από τα ανώτερα προς τα κατώτερα τμήματα του συστήματος ή η ανεπιτυχής επιβολή τους.

 Παράλληλα, σκοπός της μεθόδου, αποτελεί η διερεύνηση της λειτουργίας των στοιχείων τα οποία κρίθηκαν ακατάλληλα για διατήρηση των περιορισμών ασφαλείας στα πλαίσια ενός ατυχήματος. Τέλος, το πλαίσιο εφαρμογής της εστιάζει στους θεμελιώδης βρόγχους λειτουργίας και ανάδρασης κάθε στοιχείου της ιεραρχικής αλυσίδας, γεγονός το οποίο την διαφοροποιεί από τις καθιερωμένες τεχνικές διερεύνησης αιτιότητας. Έτσι, κρίνεται αποτελεσματικότερη στην αναγνώριση των σφαλμάτων των διαδικασιών σκέψης δράσης του ανθρώπου για τη πρόληψη ατυχημάτων και τη διατήρηση ασφάλειας σε δομές εργασίας.

 Συνολικά, τα στάδια για την εφαρμογή της μεθόδου STAMP στα πλαίσια διερεύνησης αιτιότητας ατυχήματος συγκεντρώνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1: Στάδια εφαρμογής μεθόδου STAMP

|  |  |
| --- | --- |
| *Αρίθμηση σταδίου* | *Περιγραφή σταδίου* |
| *1.* | *Αναγνώριση του συστήματος και των κινδύνων εμπλεκόμενων στο ατύχημα.* |
| *2.* | *Αναγνώριση των περιορισμών ασφαλείας και αναγκών του συστήματος που σχετίζονται με τους κινδύνους.* |
| *3.* | *Καταγραφή της δομής ελέγχου ασφαλείας για τον περιορισμό του κινδύνου και την εφαρμογή περιορισμών.* |
| *4.* | *Καθορισμός των γενεσιουργών αίτιων του ατυχήματος.* |
| *5.* | *Ανάλυση του ατυχήματος στο υλικό επίπεδο.* |
| *6.* | *Καθορισμός της συμβολής όλων των ανώτερων επιπέδων της δομής ελέγχου στη δημιουργία ανεπαρκούς ελέγχου στο κατώτατο επίπεδο.* |
| *7.* | *Ανάλυση γενικότερων επικοινωνιών και συντονισμού που συνέβαλε στη δημιουργία ατυχήματος.* |
| *8.* | *Διερεύνηση αλλαγών της δομής ελέγχου του συστήματος οι οποίες συνέβαλλαν στη δημιουργία του ατυχήματος.* |
| *9.* | *Ανάπτυξη βελτιωτικών προτάσεων.* |

Σχήμα 4.1: Βασικός βρόγχος ελέγχου διαδικασίας πτήσεως

 Χειριστές αεροσκάφους Κυβερνήτης, Συγκυβερνήτης

Μετρήσεις

Εντολές

Σύστημα αυτόματης πλοήγησης (Αυτόματος πιλότος)

Υποσύστημα Αισθητήρων

Υποσύστημα Χειριστηρίων

Χειραγωγούμενες μεταβλητές

Παρατηρούμενη έξοδος

Αεροσκάφος

Έξοδοι διαδικασίας

Είσοδοι διαδικασίας

Εξωτερικές διαταραχές

# *Εφαρμογή μεθόδου STAMP στο αεροπορικό ατύχημα της πτήσης 3701 Pinnacle Airlines*

## *Αναγνώριση κινδύνου & Δομή ελέγχου ασφαλείας*

 Η απουσία ελέγχου του αεροσκάφους από το πλήρωμα πτήσεως, η οποία προκαλεί πιθανώς απώλειες ζωών, υλικής περιουσίας καθώς και τραυματισμούς, αποτελεί τον κίνδυνο που σχετίζεται με το σύστημα. Έτσι, η δομή ελέγχου ασφαλείας θα πρέπει αρχικά να επιβάλλει τη διατήρηση ενός διευθετημένου πλάνου πτήσεως, και την απουσία απόκλισης των χειριστών από τυποποιημένες διαδικασίες. Τέλος, η ίδια δομή χρειάζεται να διαβεβαιώνει την ικανότητα ανάκαμψης των χειριστών από καταστάσεις έκτακτων συνθηκών.

Σχήμα 5.1: Βασική ιεραρχική δομή ελέγχου ασφαλείας του συστήματος του ατυχήματος

Προγραμματισμός πτήσεων

Αναφορές

Διεθνής οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO)

Ανάδραση

Κανονισμοί ΝομοθέτησηΕποπτεία

Αναφορές Ατυχήματα

Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (FAA)

Κανονισμοί Επιθεωρήσεις

Πιστοποιήσεις

Κανονισμοί

Επιθεωρήσεις

Αναφορές

Ανάδραση

Αερογραμμές Pinnacle Airlines

Ανάδραση

Αναφορές

Διαδικασίες

Εκπαίδευση

Πλήρωμα αεροσκάφους

Έλεγχος κυκλοφορίας (Kansas)

Αναφορές

Διαδικασίες

Επίβλεψη

Κατευθύνσεις

Παρακολουθήσεις

Πιλοτήριο

Ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας

Αιτήματα

Επιβεβαιώσεις

Ραντάρ ελεγκτών

Περιβάλλον

Εναέριος χώρος, επιβατικό προσωπικό

 Το σχήμα 5.1 αναπαριστά την βασική ιεραρχική δομή ελέγχου των διαδικασιών πτήσεων, της οποία η λειτουργία διαβεβαιώνει την ασφαλή διεξαγωγή τους ενώ παράλληλα επιβάλει το σύνολο των αναγκαίων περιορισμών ασφαλείας σε όλα τα επιμέρους επίπεδα της, με σκοπό τη πρόληψη ατυχημάτων. Στην ενότητα που θα ακολουθήσει θα γίνει η διερεύνηση αιτιότητας του ατυχήματος, πραγματοποιώντας ανάλυση των επιμέρους ενεργειών όλων των ενεργά εμπλεκόμενων φορέων και της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης.

## *Ανάλυση αιτιότητας ατυχήματος με την μέθοδο STAMP*

 Η ανάλυση της αιτιότητας του ατυχήματος θα πραγματοποιηθεί στη παρούσα ενότητα, εξετάζοντας τις ενέργειες που τοποθέτησαν το αεροσκάφος σε μη ασφαλή πλαίσια λειτουργίας καθώς και τις αστοχίες στον θεμελιώδη βρόγχο σκέψης-δράσης του ανθρώπου, που συνέβαλλαν στη δημιουργία του ατυχήματος. Για τη διεξαγωγή της ανάλυσης θα επιλεχθούν τα στοιχεία της δομής που συμμετείχαν ενεργά στη διαδικασία της πτήσης, ενώ τέλος θα εξακριβωθούν και θα αναλυθούν τα σφάλματα των νοητικών μοντέλων, οι περιορισμοί ασφάλειας που παραβιάστηκαν και οι καταστάσεις ανεπαρκούς επιβολής ελέγχου ή ελλιπούς ανάδρασης.

Ανάλυση συστήματος στο υλικό επίπεδο:

 Η ανάλυση των γεγονότων του ατυχήματος στο υλικό επίπεδο θα υλοποιηθεί εστιάζοντας στο εναέριο περιβάλλον στο οποίο τοποθετείται το αεροσκάφος. Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν οι σχεδιαστικοί παράγοντες του αεροσκάφους, οι οποίοι σε συνδυασμό με τη λανθασμένη νόηση του πληρώματος συνέβαλλαν στη δημιουργία του ατυχήματος.

 Η εκκίνηση της αλληλουχίας των γεγονότων τα οποία οδήγησαν στη πτώση του αεροσκάφους, πραγματοποιήθηκε πριν την άφιξη του στο υψόμετρο των 41.000 ποδιών. Αρχικά, οι αυτοματοποιημένες λειτουργίες Stickshaker και Stickpusher ως μέτρα αποτροπής της απότομης αύξησης γωνίας ανόδου του αεροσκάφους, μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανεπαρκείς για τη διατήρηση του διευθετημένου υψόμετρου πτήσεως, καθώς παρά την ύπαρξη τους ο πλήρης έλεγχος του αεροσκάφους έγκειται στις ενέργειες του κυβερνήτη και του συγκυβερνήτη. Αναλυτικότερα, το πλήρωμα πτήσεως είναι ικανό να αγνοήσει την ενεργοποίηση των συγκεκριμένων λειτουργιών, και να ρυθμίσει το ίδιο τις παραμέτρους πτήσεως, καθώς του δίνεται αυτή η δυνατότητα λόγω της φύσης του σχεδιασμού των λειτουργειών αυτών. Βέβαια, η αγνόηση της ενεργοποίησης τους μεμονωμένα, δεν θα μπορούσε να δημιουργήσει τις αναγκαίες συνθήκες στο υλικό επίπεδο της ανάλυσης για την πτώση του αεροσκάφους.

 Πιο συγκεκριμένα, πριν την οριζοντίωση του αεροσκάφους στο συγκεκριμένο υψόμετρο, οι απότομοι ελιγμοί αύξησης του ρυθμού ανόδου του, σε συνδυασμό με την αγνόηση των αυτοματοποιημένων λειτουργιών που αναφέρθηκαν είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική πτώση της ταχύτητας του. Το υψόμετρο των 41.000 ποδιών αποτελεί το ταβάνι λειτουργίας του CRJ-200, και έτσι σε συνδυασμό με τη χαμηλή εναέρια ταχύτητα του αεροσκάφους, την παράκαμψη των λειτουργιών που αναφέρθηκαν και τις επακόλουθες υψηλές γωνίες προσβολής επήλθε η απώλεια αεροδυναμικής ισχύος λόγω ανεπάρκειας και διακοπής λειτουργίας των κινητήρων.

 Ανάλυση συστήματος στο επίπεδο των ενεργειών:

 Η ανάλυση των γεγονότων του ατυχήματος στο επίπεδο ενεργειών θα πραγματοποιηθεί εστιάζοντας στις ενέργειες που τοποθέτησαν την διαδικασία της πτήσης σε μη ασφαλή πλαίσια λειτουργίας, στους περιορισμούς που παραβιάστηκαν λόγω των ενεργειών αυτών και στα σφάλματα των νοητικών μοντέλων του πληρώματος που συνολικά οδήγησαν στη πτώση του αεροσκάφους.

 Αρχικά, το πλήρωμα κρίνεται είναι υπεύθυνο βάση νομοθεσίας για τη συμμόρφωση του με τους διεθνής κανονισμούς εναέριας κυκλοφορίας που επιβάλλονται πρώτα από την FAA, (Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας) και σε επόμενο επίπεδο από την εταιρεία που το έχει προσλάβει, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση την εταιρεία αερογραμμών Pinnacle Airlines. Έτσι, η συμμόρφωση με τους κανονισμούς αυτούς, όπως είναι η διατήρηση του διευθετημένου πλάνου πτήσεως, η γνώση των τεχνικών χαρακτηριστικών και των περιορισμών του αεροσκάφους και η ικανότητα ανάκαμψης από απώλεια αεροδυναμικής ισχύος διαβεβαιώνουν την τήρηση των περιορισμών ασφαλείας στα διάφορα επίπεδα της διαδικασίας πτήσεως και τέλος την ασφαλή διεξαγωγή της. Στο σχήμα 5.2 παρουσιάζεται η ανάλυση της διαδικασίας στο επίπεδο των ενεργειών.

Σχήμα 5.2: Ανάλυση του ατυχήματος στο επίπεδο των ενεργειών

*Προϋποθέσεις & Περιορισμοί ασφάλειας που παραβιάστηκαν:*

* Μη διατήρηση διευθετημένου πλάνου πτήσεως στα 33.000 πόδια, άνοδος στα 41.000 πόδια.
* Αγνόηση της ενεργοποίησης των αυτοματοποιημένων λειτουργειών ελάττωσης ρυθμού ανόδου Stickshaker, Stickpusher.

*Πλαίσιο λήψης αποφάσεων:*

* Απουσία επαγγελματικότητας πληρώματος, απόκλιση από τις τυποποιημένες διαδικασίες διεξαγωγής πτήσεως.
* Απουσία προτροπής του ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας για μετάβαση σε υψόμετρο χαμηλότερου του μέγιστου υψόμετρου λειτουργίας του αεροσκάφους.
* Ελλιπής εκπαίδευση/ικανότητα στον χειρισμό εκτάκτων καταστάσεων απώλειας αεροδυναμικής ισχύος.

*Ανεπαρκείς/Λανθασμένες ενέργειες ελέγχου συστήματος:*

* Τρείς σε αριθμό διαδοχικοί απότομοι ελιγμοί αύξησης γωνίας ανόδου.
* Λανθασμένη εφαρμογή των διαδικασιών επαναφοράς των κινητήρων κατά τη διάρκεια της απώλειας αεροδυναμικής ισχύος.
* Αδυναμία στον εντοπισμό του αερολιμένα για την έκτακτη προσγείωση του αεροσκάφους.

*Σφάλματα νοητικού μοντέλου:*

* Έλλειψη εμπειρίας χειρισμού έκτακτων καταστάσεων απώλειας ισχύος των κινητήρων, ελλιπής γνώση τεχνικών περιορισμών του αεροσκάφους.
* Απόκλιση από τις τυποποιημένες διαδικασίες πτήσεως για λόγους προσωπικής εκπλήρωσης.

*Πλήρωμα πτήσεως*

*Κυβερνήτης, Συγκυβερνήτης*

*Αεροσκάφος*

 Συνοψίζοντας, όπως προαναφέρθηκε καμία από τις ενέργειες των ενεργά εμπλεκόμενων φορέων όπως το πλήρωμα του αεροσκάφους και του ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας δεν θα μπορούσε μεμονωμένα να δημιουργήσει συνθήκες ικανές για την πρόκληση του ατυχήματος. Συνδυάζοντας όμως το παρών πλαίσιο λήψης αποφάσεων, το εσφαλμένο νοητικό μοντέλο του πληρώματος πτήσεως, τις ανεπαρκείς και τέλος τις ενέργειες που παραβίασαν τους βασικούς περιορισμούς ασφάλειας της διαδικασίας πτήσης, δημιουργούνται μέσω της αλληλουχίας των γεγονότων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 1.1 οι ικανές συνθήκες για την πτώση του αεροσκάφους.

 Για αρχή η παραβίαση του βασικού περιορισμού της διατήρησης του διευθετημένου υψόμετρου πτήσεως στα 33.000 πόδια και η άνοδος στα 41.000 πόδια, παρά την ενεργοποίηση των λειτουργιών Stickshaker και Stickpusher, τοποθέτησαν το αεροσκάφος σε ευάλωτη αεροδυναμική κατάσταση καθώς λόγω σχεδιασμού δεν είναι ικανό να διατηρήσει το συγκεκριμένο υψόμετρο. Οι ανεπαρκείς ενέργειες για την επαναφορά της λειτουργίας των κινητήρων και προσγείωσης του αεροσκάφους που ακολούθησαν, αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα στη πτώση του αεροσκάφους. Η απουσία επαγγελματικότητας του πληρώματος, η ελλιπής εκπαίδευση του για τη διαχείριση έκτακτων καταστάσεων απώλειας ισχύος και επαναφοράς κινητήρων, καθώς και η απουσία ορθής καθοδήγησης του ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας, όσο αναφορά το υψόμετρο πτήσεως εντός του πλαισίου λήψης αποφάσεων, συνέβαλλαν ενεργά στη πρόκληση του ατυχήματος. Αναφορικά, η ύπαρξη ενός “συλλόγου των 41.000 ποδιών” απαρτιζόμενου από μέλη της αερογραμμής, ώθησε το πλήρωμα στην απόκλιση από την ασφαλή διεξαγωγή της πτήσης για λόγους προσωπικής εκπλήρωσης. Τέλος, το παραπάνω σε συνδυασμό με την έλλειψη εμπειρίας στην ορθή εφαρμογή διαδικασιών ανάκαμψης, στα πλαίσια του εσφαλμένου νοητικού μοντέλου του πληρώματος οριστικοποίησε τη μοίρα του αεροσκάφους.

Ανάλυση συστήματος στο επίπεδο της εταιρείας αερογραμμών:

 Η ανάλυση των γεγονότων του ατυχήματος στο επίπεδο της εταιρείας αερογραμμών θα πραγματοποιηθεί εστιάζοντας στη θέση που κατέχει η διοίκηση της εταιρείας, όσο αναφορά τη ορθή και ασφαλή διεξαγωγή πτήσεων από το προσωπικό που προσλαμβάνει. Ομοίως με τα προηγούμενα, θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν οι περιορισμοί ασφάλειας που παραβιάστηκαν και τα εσφαλμένα μοντέλα νόησης στο επίπεδο διοίκησης της εταιρείας, τα οποία συνέβαλλαν ενεργά στην πρόκληση του ατυχήματος.

 Όπως και το πλήρωμα πτήσεως, η διοίκηση των αερογραμμών κρίνεται υπεύθυνη για τη συμμόρφωση της με τους διεθνείς κανονισμούς ασφαλής διεξαγωγής πτήσεων και εναέριας κυκλοφορίας που εφαρμόζονται από την FAA. Πρωταρχική ευθύνη της εταιρείας, αποτελεί η πρόσληψη προσωπικού ικανού για την ασφαλή διεξαγωγή πτήσεων σε όλα τα επίπεδα που περιγράφουν την συγκεκριμένη διαδικασία. Αυτό συνεπάγεται την ορθή εκπαίδευση του προσωπικού της δηλαδή, την επιβεβαίωση πως το πλήρωμα πτήσεως γνωρίζει τους τεχνικούς περιορισμούς του εκάστοτε χειριζόμενου αεροσκάφους, την απουσία απόκλισης από τα διευθετημένα πλάνα πτήσεως, και τέλος την επιβεβαίωση της ικανότητας τους να αντιμετωπίσουν έκτακτες καταστάσεις. Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζεται η ανάλυση της διαδικασίας στο επίπεδο της εταιρείας αερογραμμών.

Σχήμα 5.3: Ανάλυση του ατυχήματος στο επίπεδο της εταιρείας αερογραμμών

*Εταιρεία Αερογραμμών Pinnacle Airlines*

*Προϋποθέσεις & Περιορισμοί ασφάλειας που παραβιάστηκαν:*

* Ανεπαρκής εκπαίδευση/πληροφόρηση προσωπικού, ρουτίνες ετοιμότητας.
* Αποτυχία επιβολής διατήρησης διευθετημένου πλάνου πτήσεως από το πλήρωμα.
* Απουσία διερεύνησης ικανότητας του πληρώματος πτήσεως για το χειρισμό έκτακτων καταστάσεων.
* Απουσία επίβλεψης και βρόγχων ανάδρασης με σκοπό την ορθή εφαρμογή των διαδικασιών πτήσεως από το πλήρωμα.

*Πλαίσιο λήψης αποφάσεων:*

* Ελλιπής εκπαίδευση/ικανότητα στον χειρισμό εκτάκτων καταστάσεων απώλειας αεροδυναμικής ισχύος.
* Απουσία απαιτούμενης καθοδήγησης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

*Ανεπαρκείς/Λανθασμένες ενέργειες ελέγχου συστήματος:*

* Ανεπαρκής πληροφόρηση των τεχνικών χαρακτηριστικών/περιορισμών του αεροσκάφους.

*Σφάλματα νοητικού μοντέλου:*

* Υπόθεση πως το πλήρωμα πτήσεως είναι ικανό να χειριστεί έκτακτες καταστάσεις.
* Υπόθεση πως ο υπεύθυνος ελεγκτής εναέριας κυκλοφορίας μπορεί να επιβάλλει το διευθετημένο πλάνο πτήσεως.

*Πλήρωμα πτήσεως*

*Κυβερνήτης, Συγκυβερνήτης*

 Στο παρών επίπεδο της ανάλυσης, η κύρια αιτιότητα για την πρόκληση του ατυχήματος τοποθετείται στις περιορισμούς ασφαλείας που παραβιάστηκαν από την διοίκηση της εταιρείας και στα σφάλματα του νοητικού μοντέλου της. Αρχικά, η ελαστική πολιτική της εταιρείας όσο αναφορά θέματα διατήρησης συγκεκριμένου πλάνου πτήσεως, έδωσε τη δυνατότητα στο πλήρωμα να αποκλίνει από τις τυποποιημένες διαδικασίες λόγω απουσίας αυστηρών κυρώσεων. Η αδυναμία της εταιρείας να διερευνήσει την ικανότητα χειρισμού έκτακτων καταστάσεων από το πλήρωμα, δημιούργησε αυτόματα ένα μη ασφαλές εναέριο περιβάλλον για το αεροσκάφος καθώς δεν είναι διαβεβαιωμένη η ορθή εφαρμογή των διαδικασιών ανάκαμψης σε περίπτωση βλάβης ή συμβάντος εκτός του πλάνου πτήσεως. Επιπλέον, η ανεπαρκής εκπαίδευση του προσωπικού και πληροφόρηση περί τεχνικών περιορισμών του αεροσκάφους, καθώς και η απουσία ρουτίνων ετοιμότητας και βρόγχων ανάδρασης για την επίβλεψη και την ορθή εφαρμογή των διαδικασιών πτήσεως από το πλήρωμα, συνέβαλλαν στο μεγαλύτερο βαθμό στη πρόκληση του ατυχήματος στο συγκεκριμένο επίπεδο της ανάλυσης. Τέλος, η πεποίθηση της διοίκησης της εταιρείας πως μπορεί να βασιστεί στο συγκεκριμένο πλήρωμα για την ασφαλή διεξαγωγή της πτήσης, καθώς και στον ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας για τη ρύθμιση των παραμέτρων που τοποθετούν το αεροσκάφος σε ασφαλή πλαίσια μεταφοράς, αποτέλεσε σφάλμα στα πλαίσια του νοητικού της μοντέλου και συνέβαλλε και αυτό σε μεγάλο βαθμό στη πτώση του αεροσκάφους.

## *Αίτια ατυχήματος*

 Σύμφωνα με του ερευνητές της υπηρεσίας που ανέλαβε τη διερεύνηση των συνθηκών πτώσης του αεροσκάφους (National Transportation Safety Board) και το επίσημο πόρισμα που εξάχθηκε, τα αίτια για την πρόκληση του ατυχήματος συγκαταλέγονται στα ακόλουθα:

1. Η αντιεπαγγελματική συμπεριφορά του πληρώματος, η απόκλιση από τις καθιερωμένες διαδικασίες πτήσεως, και οι ανεπαρκείς δεξιότητες χειρισμού του αεροσκάφους τα οποία οδήγησαν σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης στον εναέριο περιβάλλον, από την οποία ήταν αδύνατη η επαναφορά του ελέγχου του συστήματος, εν μέρη λόγω της ανεπαρκούς εκπαίδευσης/προετοιμασίας του πληρώματος.
2. Η αδυναμία του πληρώματος να προετοιμαστεί για έκτακτη προσγείωση σε έγκαιρο χρόνο, και η έλλειψη επικοινωνίας με τον ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας άμεσα μετά την απώλεια ισχύος και των δύο κινητήρων, με σκοπό τη λήψη πληροφοριών για τη δυνατότητα προσγείωσης του αεροσκάφους σε κοντινά αεροδρόμια.
3. Η εσφαλμένη εφαρμογή των διαδικασιών ανάκτησης ισχύος των κινητήρων, το οποίο είχε ως αποτέλεσμα τη διακοπή της περιστροφής των πτερωτών των κινητήρων και κατέστησε την επαναφορά τους αδύνατη.

Τέλος, (1) η αδυναμία επαναφοράς ενός από τους δύο κινητήρες λόγω θερμικής διαστολής (Core Lock Engine Condition), μετά την απώλεια ισχύος του, και (2) η ανεπάρκεια του εγχειρίδιου πτήσης του αεροσκάφους, όσο αναφορά τη σημαντικότητα διατήρησης μιας ελάχιστης εναέριας ταχύτητας για τη συνεχή περιστροφή των πτερωτών των κινητήρων, συνέβαλλαν ως συνθήκες στη πτώση του αεροσκάφους.

# *Κατηγοριοποίηση ανθρωπίνων λαθών*

 Με βάση το πλαίσιο της ανάλυσης λανθανόντων και ενεργών ανθρωπίνων λαθών που προτάθηκε από τον Reason (1990), το μοντέλο HFACS (Human Factors Analysis Classification System) καθιστά ικανή τη κατηγοριοποίηση των επισφαλών ενεργειών μιας διαδικασίας εργασίας σε σφάλματα και παραβιάσεις. Γενικότερα, τα σφάλματα αποτελούν τις πνευματικές ή φυσικές λειτουργίες των εργαζόμενων οι οποίες αποτυγχάνουν να έχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, ενώ οι παραβιάσεις αναφέρονται σε ενέργειες εσκεμμένης παράβλεψης των κανονισμών ασφαλείας της εκάστοτε διεργασίας. Λόγω όμως της αδυναμίας επίτευξης ικανοποιητικού επιπέδου διαχωρισμού μεταξύ σφαλμάτων και παραβιάσεων στις περισσότερες διερευνήσεις ατυχημάτων, η κατηγοριοποίηση των παραπάνω επεκτάθηκε, με την εισαγωγή των πεδίων σφαλμάτων επιδεξιοτήτων, λήψης αποφάσεων και αντίληψης καθώς και παραβιάσεων ρουτίνας και εξαίρεσης. Τέλος, μια τρίτη κατηγορία ανθρωπίνων λαθών εισάγεται για σκοπούς πληρότητας στις αναλύσεις ατυχημάτων, αυτή των ολισθημάτων, όπου οι αποκλίσεις από ένα ορθό σχέδιο δράσης οφείλονται σε ανεπάρκειες σχεδιασμού των εργασιακών συνθηκών.

Έτσι, σύμφωνα με το επίσημο πόρισμα του ατυχήματος, και την ανάλυση STAMP που προηγήθηκε τοποθετείται ο ακόλουθος πίνακας σφαλμάτων, παραβιάσεων και ολισθημάτων εστιάζοντας στις βασικές ενέργειες του πληρώματος του ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας, καθώς και στο γενικότερο πλαίσιο διεργασίας της πτήσης που συνολικά τοποθέτησαν το αεροσκάφος σε ευάλωτη θέση οδηγώντας το στη πτώση του.

Σχήμα 6.1: Κατηγοριοποίηση ανθρωπίνων λαθών της διεργασίας πτήσης

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Επισφαλής ενέργεια* | *Κατηγοριοποίηση* | *Σύντομη περιγραφή*  | *Ενδογενή αίτια* | *Εξωγενή αίτια* |
| Άνοδος στα 41.000 πόδια  | Παραβίαση  | Παραβίαση εξαίρεσης  | Εσκεμμένη αγνόηση των δυνατοτήτων του αεροσκάφους. Απόκλιση μεγάλου βαθμού από το πλάνο πτήσεως  | Ελλιπής ηθική εργασίας  | Ανεπαρκής εκπαίδευση |
| Υψηλοί ρυθμοί ανόδου | Παραβίαση | Παραβίαση ρουτίνας  | 4 επιθετικοί ελιγμοί υψηλής γωνίας ανόδου  | Υπεραπλούστευση | Ανεπαρκής εκπαίδευση, ελλιπής πληροφόρηση  |
| Αδυναμία επιτυχούς εφαρμογής διαδικασιών ανάκαμψης  | Σφάλμα  | Σφάλμα επιδεξιοτήτων  | Αναποτελεσματικός χειρισμός του αεροσκάφους: Αδυναμία διατήρησης συγκεκριμένης εναέριας ταχύτητας | Εσφαλμένο νοητικό μοντέλο | Ανεπαρκής εκπαίδευση  |
| Καθυστερημένη επικοινωνία με τον ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας  | Σφάλμα  | Σφάλμα λήψης αποφάσεων  |  Λανθασμένος χειρισμός έκτακτης κατάστασης | Εσφαλμένες προτεραιότητες στο σχέδιο δράσης | Ανεπαρκής εκπαίδευση, έλλειψη γραπτών οδηγιών |
| Αδυναμία προετοιμασίας για έκτακτη προσγείωση σε έγκαιρο χρόνο  | Σφάλμα | Σφάλμα αντίληψης  | Λανθασμένη κρίση εναέριας ταχύτητας, υψομέτρου | Εσφαλμένο νοητικό μοντέλο | Ανεπαρκής εκπαίδευση, ελλιπής επικοινωνία & συντονισμός  |

# *Βασικές αρχές μεθόδου ACCIMAP*

Όμοια με τη μέθοδο STAMP, η μέθοδος ACCIMAP εξετάζει τις ενέργειες καθώς και τους κοινωνικό-τεχνικούς παράγοντες που συνέβαλλαν στη πρόκληση ενός ατυχήματος, για κάθε επίπεδο της ιεραρχικής δομής του συστήματος που μελετάται. Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου, αποτελεί η κατασκευή ενός διαγράμματος το οποίο αναπαριστά το πλαίσιο διαχείρισης επικινδυνότητας της εκάστοτε διεργασίας. Η προκειμένη γραφική αναπαράσταση του συστήματος αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την διερεύνηση των παραγόντων που χαρακτηρίζουν ένα σύστημα εργασίας ως μη ασφαλές, καθώς και για τον προσδιορισμό των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων επιπέδων λήψης αποφάσεων, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν ένα ατύχημα. Σύμφωνα με τα παραπάνω, διερευνώνται οι δραστηριότητες, οι ενέργειες και οι αποφάσεις που λαμβάνονται στα κατώτερα αλλά και ανώτερα τμήματα του συστήματος, δηλαδή αυτές των εργαζομένων αλλά και των διευθυντικών στελεχών, με σκοπό να προσδιοριστούν οι σχέσεις των περιοχών ευθύνης και αρμοδιοτήτων των στοιχείων του συστήματος. Επιπλέον, εξετάζεται η επικοινωνιακή δομή της διεργασίας, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο διακινούνται οι αναγκαίες πληροφορίες από τα ανώτερα στα κατώτερα κλιμάκια, η αποδοτικότητα των βρόγχων ανάδρασης των πληροφοριών, και ο τρόπος με τον οποίο η καθοδήγηση λαμβάνεται από τους εργαζόμενους. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως η μέθοδος ACCIMAP αποτελεί μέρος ενός γενικότερου συνόλου διαδικασιών διαχείρισης επικινδυνότητας, εξετάζοντας την ανάλυση προηγούμενων ατυχημάτων. Έτσι, η ανάλυση προγενέστερων ατυχημάτων εντός ενός κοινού πλαίσιού διεργασιών, οδηγεί στη δημιουργία διαγνωστικών μοτίβων τα οποία είναι αναγκαία για τον ορισμό των προϋποθέσεων ασφαλούς εργασίας.

# *Εφαρμογή μεθόδου ACCIMAP στο αεροπορικό ατύχημα της πτήσης 3701 Pinnacle Airlines*

## *Το πλαίσιο ACCIMAP του αεροπορικού ατυχήματος της πτήσης 3701*

 Στο σχήμα 7.1 παρουσιάζεται το πλαίσιο της μεθόδου ACCIMAP για το ατύχημα που εξετάζεται. Επειδή η διερεύνηση αιτιότητας του ατυχήματος στη συγκεκριμένη περίπτωση, βασίζεται στην ανάλυση των δραστηριοτήτων όλων των ιεραρχικών επιπέδων της διαδικασίας πτήσης, επιλέχθηκαν ως επίπεδα ανάλυσης αυτό των εξωτερικών οργανισμών, στους οποίους λογοδοτεί η εταιρεία, δηλαδή στη προκειμένη περίπτωση η ομοσπονδιακή διοίκηση αεροπορίας (FAA), το επίπεδο διοίκησης της εταιρείας αερογραμμών Pinnacle airlines, και τέλος το επίπεδο των ενεργειών των χειριστών του αεροσκάφους. Μέσω της συγκεκριμένης δομής, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η κύρια αλληλουχία των γεγονότων που οδήγησε στη πτώση του αεροσκάφους. Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε, με αυτή τη μέθοδο επιτρέπεται η διερεύνηση των ευθυνών κάθε στοιχείου των διαφόρων επιπέδων, καθώς και οι ενέργειες των οποίων κρίθηκαν ανεπαρκείς και συνέβαλλαν στη πρόκληση του ατυχήματος. Στην ενότητα που ακολουθεί, θα γίνει η ανάλυση της βασικής αλληλουχίας των ενεργειών που οδήγησαν στη κατάληξη της πτήσης του αεροσκάφους, και ο προσδιορισμός των ευθηνών των φορέων που παρουσιάζονται.

Σχήμα 8.1: Διάγραμμα ACCIMAP του ατυχήματος της πτήσης 3701 των Pinnacle Airlines

*Εξωτερικοί οργανισμοί*

Αδυναμία εφαρμογής διαδικασιών ανάκαμψης

Αγνόηση ενεργοποίησης λειτουργιών Stickshaker, Stickpusher, άνοδος στα 41.000 πόδια εκτός πλάνου πτήσεως

Αδύνατη επαναφορά ενός κινητήρα (Core Lock Condition)

Καταστροφή αεροσκάφους από τις δυνάμεις πρόσκρουσης και επακόλουθη πυρκαγιά

Πτώση αεροσκάφους

*Κατάληξη*

Αδυναμία έγκαιρης εύρεσης αεροδρομίου για έκτακτη προσγείωση

Απώλεια αεροδυναμικής ισχύος αεροσκάφους

*Γεγονότα Διαδικασίες Συνθήκες*

Αναποτελεσματική ανάδραση πληροφοριών

Ανεπαρκής ηθική ασφάλειας.

Ανεπαρκής εκπαίδευση πληρώματος περί γνώσεων τεχνικών περιορισμών αεροσκάφους, διαχείρισης έκτακτων καταστάσεων

Ανεπάρκεια συστήματος εκπαίδευσης περί διαχείρισης επικινδυνότητας.

Η FAA δεν εντόπισε τις ανεπάρκειες του συστήματος διαχείρισης επικινδυνότητας των Pinnacle Airlines.

*Διοίκηση επιχείρησης*

Οι Pinnacle Airlines δεν εξασφάλισαν τη διατήρηση του πρωτόκολλου ασφάλειας πτήσεων.

Απόκλιση προσωπικού από τις καθιερωμένες διαδικασίες διεξαγωγής πτήσεων εντός των καθορισμένων πλαισίων ασφαλείας

Ελάττωση ταχύτητας λόγω υψηλών γωνιών προσβολής

Αδυναμία διατήρησης ελάχιστης εναέριας ταχύτητας για την επαναφορά των κινητήρων

Το πλήρωμα πτήσεως απεβίωσε

## *Ανάλυση αιτιότητας ατυχήματος με τη μέθοδο ACCIMAP*

 Χρονοσειρά βασικών γεγονότων:

 Με έντονη γραμμοσκίαση παρουσιάζονται τα γεγονότα τα οποία άμεσα οδήγησαν στη πτώση της πτήσης. Αρχικά, οι υψηλοί ρυθμοί ανόδου που επιτευχθήκαν λόγω των μεγάλων γωνιών προσβολής του αεροσκάφους είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της εναέριας ταχύτητας του αεροσκάφους. Ακολουθώντας, η απόκλιση από το διευθετημένο υψόμετρο πτήσης και η άφιξη του αεροσκάφους στα 41.000 πόδια οδήγησαν σε απώλεια ισχύος των κινητήρων, καθώς το αεροσκάφος δεν είναι σχεδιασμένο να διατηρήσει το συγκεκριμένο υψόμετρο. Η θερμική διαστολή των κατά τη λειτουργία των κινητήρων, και η επακόλουθη συστολή τους κατά την απενεργοποίηση τους, δημιούργησε ασυμβατότητα των επιμέρους στοιχείων τους, καθιστώντας την επαναφορά του ενός κινητήρα αδύνατη. Τέλος, η αδυναμία του πληρώματος να τοποθετήσει κατάλληλες εντολές στο πηδάλιο του αεροσκάφους, και να διατηρήσει τις ελάχιστες αναγκαίες τιμές εναέριας ταχύτητας, κατά τις διαδικασίες επαναφοράς των κινητήρων, σε συνδυασμό με τα παραπάνω οδήγησαν στη πτώση του αεροσκάφους. Συνολικά, με την παραπάνω χρονολογική σειρά που παρουσιάστηκαν, τοποθετούνται τα γεγονότα τα οποία οδήγησαν στο θάνατο του πληρώματος πτήσεως και στη καταστροφή του αεροσκάφους.

 Ακολουθώντας την αλληλουχία γεγονότων/ενεργειών που τοποθετούνται σε έγχρωμα πλαίσια, μπορεί να εξαχθεί συνολικά το προφίλ αιτιότητας του ατυχήματος, καθώς και το πως κάθε επίπεδο της ανάλυσης συνέβαλλε στη πρόκληση του. Ο εντοπισμός και διόρθωση ενός από αυτού αποτελεί ικανή συνθήκη για την αποφυγή του ατυχήματος. Τα στοιχεία της δομής σε άχρωμα πλαίσια δεν συνέβαλλαν ενεργά στη κατάληξη του ατυχήματος, δηλαδή στο θάνατο του πληρώματος, είναι αναγκαία όμως για την ερμηνεία της διαδικασίας του ατυχήματος, ενώ η διόρθωση ενός από αυτά δεν συνεπάγεται την αποφυγή της κατάληξης του.

Εξωτερικοί οργανισμοί:

 Η ομοσπονδιακή διοίκηση αεροπορίας (FAA) αναλαμβάνει πρωταρχική ευθύνη στη πρόκληση του ατυχήματος. Η συγκεκριμένη ρυθμιστική αρχή δεν κατείχε επαρκή επίβλεψη και αποτελεσματικούς μηχανισμούς επιβολής των πρωτοκόλλων ασφαλείας πτήσεων στις διάφορες εταιρείες αερογραμμών συμπεριλαμβανόμενου της Pinnacle Airlines. Έτσι, οι ανεπάρκειες του συστήματος διαχείρισης επικινδυνότητας των αερογραμμών δεν εντοπίστηκαν ούτε και διευθετήθηκαν, με αποτέλεσμα τη διατήρηση λανθασμένων και μη ασφαλών για τις διαδικασίες πτήσεων ενεργειών εκ μέρους της εταιρείας αερογραμμών, οι οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Διοίκηση επιχείρησης:

 Σε πρώτο επίπεδο, λόγω της ανεπαρκούς ηθικής της διοίκησης των αερογραμμών σχετικά με την διατήρηση των πλαισίων ασφαλείας πτήσεων, και της απουσίας επίβλεψης της FAA, δόθηκε στο προσωπικό η δυνατότητα απόκλισης από τις καθιερωμένες διαδικασίες πτήσεως. Η απουσία επιθεώρησης του προσωπικού της εταιρείας, είχε ως αποτέλεσμα στη συγκεκριμένη περίπτωση την τοποθέτηση του αεροσκάφους σε ευάλωτη θέση, συμβάλλοντας έτσι στη πτώση του. Επιπλέον, η κατασκευή του προγράμματος εκπαίδευσης του προσωπικού της, με απουσία βαρύτητας στη διαχείριση επικινδυνότητας, είχε ως αποτέλεσμα της ανεπαρκή προετοιμασία/εκπαίδευση του πληρώματος για τη διαχείριση έκτακτων καταστάσεων. Τέλος, οι ανεπάρκειες που εντοπίζονται στα συστήματα ανάδρασης πληροφοριών συνδυασμό με τα παραπάνω αποτυπώνονται στις ενέργειες των χειριστών, οι οποίες συνέβαλλαν στο μεγαλύτερο βαθμό στη πτώση του αεροσκάφους.

Γεγονότα, Διαδικασίες, Συνθήκες:

 Αρχικά, το πλήρωμα παραβίασε το προκαθορισμένο πλάνο πτήσεως με υψόμετρο τα 31.000 πόδια κατά την εκκίνηση της ανόδου του αεροσκάφους στα 41.000 πόδια. Εκτός αυτού, ο τρόπος με τον οποίο επιτεύχθηκε η άνοδος, μέσω διαδοχικών ελιγμών υψηλής γωνίας προσβολής δηλαδή, και η αγνόηση των αυτοματοποιημένων λειτουργιών ασφαλείας Stickshaker και Stickpusher, είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της εναέριας ταχύτητας του αεροσκάφους. Επακόλουθα, επήλθε η απώλεια ισχύος των κινητήρων καθώς το αεροσκάφους λόγω σχεδιαστικών παραγόντων κρίνεται ανίκανο να διατηρήσει το υψόμετρο των 41.000 ποδιών. Η απενεργοποίηση των κινητήρων δημιούργησε σφάλματα ασυμβατότητας των διαστάσεων των στοιχείων τους, λόγω της συστολής τους και κατέστησε την επανεκκίνηση του ενός κινητήρα αδύνατη. Τα ανεπαρκή συστήματα ανατροφοδότησης πληροφοριών της διοίκησης της εταιρείας, συνέβαλλαν στην αδυναμία εντοπισμού αεροδρομίου έγκαιρα για έκτακτη προσγείωση, ενώ παράλληλα η ανεπαρκής εκπαίδευση του πληρώματος είχε αποτέλεσμα την αδυναμία ορθής εφαρμογής διαδικασιών ανάκαμψης ισχύος των κινητήρων. Έτσι, τα όσα αναφέρθηκαν, σε συνδυασμό με την αδυναμία διατήρηση ελάχιστης εναέριας ταχύτητας για την επίτευξη της επαναφοράς των κινητήρων, λόγω ελλιπούς προετοιμασίας του πληρώματος, αποτέλεσαν τις ενέργειες του προσωπικού πτήσεως που οδήγησαν συνολικά στη πτώση και καταστροφή του αεροσκάφους, και στο θάνατο των επιβατών του.

# *Διορθωτικά μέτρα & προτάσεις*

 Ακολουθώντας τις αναλύσεις του ατυχήματος που προηγήθηκαν μέσω των μεθόδων STAMP και ACCIMAP, τοποθετούνται τα επόμενα διορθωτικά μέτρα και προτάσεις. Οι προτάσεις αυτές αναφέρονται στο επίπεδο της διοίκησης των αερογραμμών Pinnacle Airlines, καθώς σε αυτό τοποθετείται η κύρια αιτιότητα των εσφαλμένων δράσεων του πληρώματος που οδήγησε στη πτώση του αεροσκάφους.

* Διαμόρφωση κατάλληλων προγραμμάτων εκπαίδευσης ιπτάμενου προσωπικού, για τη κατανόηση των δυνατοτήτων και τεχνικών περιορισμών του χειριζόμενου αεροσκάφους σε μεγάλα υψόμετρα.
* Προσθήκη διαδικασιών προσομοίωσης απώλειας ισχύος σε μεγάλο υψόμετρο στα προγράμματα εκπαίδευσης των ιπτάμενων, με σκοπό την εκπαίδευση και τη διερεύνηση της ικανότητας των πληρωμάτων, στον εντοπισμό και στην ορθή εφαρμογή διαδικασιών ανάκαμψης του αεροσκάφους.
* Εγκαθίδρυση προγραμμάτων εξοικείωσης και αναγκαίας εκπαίδευσης στο χειρισμό των αεροσκαφών που κατέχουν αυτοματοποιημένες λειτουργίες Stickpusher.
* Εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων ανάδρασης πληροφοριών, μέσω των οποίων θα παρέχεται η αναγκαία καθοδήγηση για την ορθή εφαρμογή διαδικασιών ανάκαμψης, και θα γίνεται αναφορά της ακριβής εναέριας ταχύτητας για την επίτευξη τους.
* Καθοδήγηση για τη διαβεβαίωση της διατήρησης επαγγελματικότητας του πληρώματος, και την απουσία απόκλισης από προκαθορισμένα πλάνα πτήσεως.
* Εξέταση των δεδομένων πτήσης του FDR (Flight Data Recorder), με σκοπό τη διαβεβαίωση της διεξαγωγής πτήσεων εντός των καθιερωμένων διαδικασιών λειτουργίας.
* Δημιουργία προγραμμάτων ανάπτυξης ηθικής της εργασίας των πληρωμάτων, όσο αναφορά την ευθύνη τους για τη διεξαγωγή πτήσεων εντός των πλαισίων ασφάλειας. Στα προγράμματα αυτά θα συμπεριλαμβάνονται οι πληροφορίες πρόσφατων ατυχημάτων και για το πως η απόκλιση από τις τυποποιημένες διαδικασίες πτήσης οδήγησαν σε αυτά.
* Διαβεβαίωση εφαρμογής προγραμμάτων εκπαίδευσης για διαχείριση επικινδυνότητας, και αξιολόγησης πληρώματος στην εναέρια ασφάλεια.

# *Σύνοψη & Συμπεράσματα*

 Όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή της ανάλυσης, οι εναέριες μεταφορές αποτελούν διαδικασίες που χαρακτηρίζονται σε μεγάλο βαθμό ευάλωτες σε περίπτωση ατυχήματος. Αυτό, σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα των συστημάτων διαχείρισης ασφάλειας των διεργασιών πτήσης, έχει ως αποτέλεσμα την αναγκαία διερεύνηση όλων των οργανωτικών επιπέδων της συγκεκριμένης διεργασίας, προκειμένου να εξαχθούν διαδικασίες/μηχανισμοί διατήρησης της εναέριας ασφάλειας. Με την εφαρμογή των μεθόδων STAMP και ACCIMAP για την ανάλυση του κοινωνικό-τεχνικού συστήματος των διεργασιών της πτήσης 3701 των αερογραμμών Pinnacle Airlines, παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν οι ανεπάρκειες στον τρόπο σχεδιασμού και λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης ασφάλειας της επιχείρησης. Πιο συγκεκριμένα, οι κύριοι παράγοντες που συνέβαλλαν στη πτώση του αεροσκάφους, χαρακτηρίζονται ως αποτελέσματα της ανεπάρκειας της πολιτικής της εταιρείας όσο αναφορά την καλλιέργεια επαγγελματικής ευθύνης του προσωπικού της, την ύπαρξη αποτελεσματικού συστήματος ανάδρασης πληροφοριών για την καθοδήγηση του, και την ορθή εκπαίδευση του στο εναέριο περιβάλλον. Οι ανεπάρκειες αυτές στο επίπεδο διοίκησης της εταιρείας αποτυπώθηκαν στις ενέργειες των χειριστών του αεροσκάφους, και λόγω ενός μοναδικού συνδυασμού απροσδόκητων γεγονότων, καταστάσεων αδυναμίας ελέγχου και ανεπαρκών φραγμών διαχείρισης ασφάλειας, επήλθε η πτώση και ο θάνατος του πληρώματος του αεροσκάφους. Τέλος, τα αίτια δημιουργίας ενός ατυχήματος δεν είναι σχεδόν ποτέ αποτέλεσμα ανεπάρκειας ενός και μόνου οργανωτικού επιπέδου μιας διεργασίας, ενώ η πρόληψη τους, έγκειται στη συνεχή και αδιάκριτη εφαρμογή των υπαρχόντων περιορισμών ασφάλειας, σε όλη την έκταση της εκάστοτε δομής διεργασίας.

# *Βιβλιογραφία*

*Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία*

* Branford K., Naikar N., Hopkins A., 2009. GUIDELINES FOR ACCIMAP ANALYSIS*.* 193-212.
* Herrera I., Woltjer R., 2010. Comparing a multi-linear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident analysis. *Reliability Engineering and System Safety,* Vol. 95, 1269-1271.
* Lee S., Bo Moh Y., Tabibzadeh M., Meshkati N., 2017. Applying the AcciMap methodology to investigate the tragic Sewol Ferry accident in South Korea. *Applied Ergonomics,* Vol. 59, 517-525.
* Leveson N., Daouk M., Dulac N., Marais K., 2003. APPLYING STAMP IN ACCIDENT ANALYSIS, Massachusetts Institute of Technology.
* National Transportation Safety Board. 2007. Crash of Pinnacle Airlines Flight 3701, Bombardier CL-600-2B19, N8396A, Jefferson City, Missouri, October 14, 2004. Aircraft Accident Report NTSB/AAR-07/01. Washington, DC.
* Nelson P., 2008. A STAMP ANALYSIS OF THE LEX COMAIR 5191 ACCIDENT, LUND UNIVERSITY SWEDEN.
* Ouyang M., Hong L., Ming-Hui Y., Fei Q., 2010. STAMP-based analysis on the railway accident and accident spreading: Taking the China–Jiaoji railway accident for example. *Safety Science,* Vol. 48*,* 544-555.
* Shappell S., Wiegmann D., 2000 The Human Factors Analysis and Classification System—HFACS, 3-4.
* Tae-eun K., Salman N., Kjell Ivar Ø., 2016. A STAMP-based causal analysis of the Korean Sewol ferry accident. *Safety Science,* Vol. 83, 93-101.

*Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία*

* Δημητρέλλος Α., Κολοσιώνη Μ., 2014. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ STAMP: ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟ ΑΤΥΧΗΜΑ PACIFIC WESTERN AIRLINES 314, Πολυτεχνείο Κρήτης.
* Κοντογιάννης Θ., *ΕΡΓΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.* Θεσσαλονίκη: Τζιόλας.
* Μαυράκης Γ., 2015. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΤΗΣΗΣ 5191 ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ STAMP, Πολυτεχνείο Κρήτης.

*Διαδικτυακοί σύνδεσμοι URL*

* Aviation Safety Network, “Accident Investigation: Final Report”

<https://aviation-safety.net/database/record.php?id=20041014-1>

* Cockpit Voice Recorder Data

<https://www.tailstrike.com/151004.pdf>

* Wikipedia, “Pinnacle Airlines Flight 3701”

 <https://en.wikipedia.org/wiki/Pinnacle_Airlines_Flight_3701>

* YouTube, “They Just Wanted to Have Fun | The Crash of Pinnacle Airlines Flight 3701”

<https://www.youtube.com/watch?v=KXGfJ_CIonA>