

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΚΕΔΑΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ STEALTH



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ

ΒΟΜΒΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΚΟΥΡΑΣ ΕΥΓΕΝΙΟΣ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ Τ.Ε.Ι.

ΠΑΤΡΑ 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανολογίας του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας, η οποία εκτείνεται γενικά στα πλαίσια του τομέα ρευστομηχανικής και συγκεκριμένα αποτελεί μια πληροφοριακή ανάλυση πάνω στην τεχνολογία stealth και τα αεροσκάφη που την ενσωματώνουν.

Ειδικότερα, έχει να κάνει με τις τεχνολογίες πτήσης και σκέδασης που έχουν αναπτυχθεί για την ελαχιστοποίηση του οπτικού, του ακουστικού, του θερμικού και το ηλεκτρομαγνητικού ίχνους ενός αεροσκάφους (stealth) με απώτερο σκοπό την αποφυγή του εντοπισμού του απ' την αντίπαλη αεράμυνα.

Ευχαριστούμε θερμά τον επιβλέποντα κ. Ευγένιο Σκούρα, επιστημονικό συνεργάτη του τμήματος Μηχανολογίας για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Αναστασιάδης Γρηγόριος - Βόμβας Βασίλειος

Σεπτέμβριος 2009

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στη μελέτη των τεχνικών πτήσης και σκέδασης αεροσκαφών τεχνολογίας stealth, οι οποίες έχουν κατά κύριο λόγο πολεμικές εφαρμογές. Οι κυριότερες απ' τις τεχνολογίες αυτές είναι : η διατομή ίχνους ραντάρ (R.C.S.), η διασπορά (scattering), η τεχνική faceting, τα υλικά απορρόφησης ακτινοβολίας (R.A.M.), τα διηλεκτρικά υλικά R.A.M., οι απορροφητές Φερρίτη, τα συνθετικά υλικά ,οι συντονισμένοι απορροφητές, οι πυραμιδικοί απορροφητές, οι μαγνητικοί απορροφητές, τα αναλογικά κυκλώματα, το πλάσμα αερίων, η ακύρωση, το υπέρυθρο φάσμα ακτινοβολίας (IR) και του υπέρηχου (υπερηχητική πτήση).

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε 7 κεφάλαια :

Στο 1^ο κεφάλαιο θ' αναφερθούν αναλυτικά όλες τις προσπάθειες και τις τεχνικές που εφαρμόστηκαν απ' την αρχή της αεροπορικής ιστορίας μέχρι την σημερινή εποχή για την δημιουργία ενός όσο το δυνατόν λιγότερου ανιχνεύσιμου αεροσκάφους κι έπειτα στο 2^ο τα σημαντικότερα χρώματα καμουφλάζ που χρησιμοποιήθηκαν.

Στη συνέχεια, στο 3^ο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στο πως δουλεύει ένα ραντάρ και θ' αναλυθεί ο όρος “διατομή ραντάρ (Radar Cross Section – R.C.S.)”, δηλαδή ουσιαστικά το ηλεκτρομαγνητικό ίχνος κάθε αεροσκάφους που είναι εξαιρετικά σημαντικό, επειδή καθορίζει το πόσο εύκολα μπορεί να ανιχνευθεί ένα αεροσκάφος από ένα ραντάρ. Όσο μικρότερο είναι το ίχνος αυτό, το αεροσκάφος θα εντοπίζεται πιο δύσκολα και σε μικρότερες αποστάσεις.

Στο 4^ο κεφάλαιο θα γίνει μια παρουσίαση των κυριότερων στοιχείων ενός αεροσκάφους και θ' αναλυθεί το πώς το κάθε ένα από αυτά επηρεάζει το συνολικό R.C.S.. Παράλληλα θα γίνει αναλυτική αναφορά σε όλες τις γνωστές τεχνικές μείωσης του ηλεκτρομαγνητικού ίχνους, με την κατάλληλη σχεδίαση του αεροσκάφους ή με την χρήση υλικών απορρόφησης ακτινοβολίας και άλλων τακτικών.

Στα κεφάλαια 5^ο και 6^ο θα παρουσιαστούν τα κυριότερα αεροσκάφη που ενσωματώνουν τεχνολογία stealth, απ' τα πρώτα τέτοια αεροσκάφη την δεκαετία του '50 μέχρι και τα σύγχρονα μαχητικά του κοντινού μέλλοντος.

Τέλος, στο 7^ο κεφάλαιο θ' αναφερθούν οι μέχρι σήμερα διαθέσιμες και γνωστές τακτικές και τεχνολογίες αντιμετώπισης των αεροσκαφών τεχνολογίας stealth .

Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα που προκύπτουν απ' την παρούσα πτυχιακή εργασία είναι ότι η τεχνολογία stealth έκανε τα πρώτα της βήματα ήδη από νωρίς και μόλις πριν το τέλος της δεκαετίας του '70. Πέρα όμως απ' τα γνωστά προγράμματα (τεχνολογιών stealth), είναι σχεδόν σίγουρο ότι υπάρχουν κάποιες σχεδιάσεις μυστικές και απόρρητες για τις οποίες θα μαθευτούν πληροφορίες για την ύπαρξή τους, μόνο όταν κάτι τέτοιο αποφασιστεί απ' τους φορείς χρήσης τους, όπως ακριβώς συνέβη και με το F-117 που αποκαλύφθηκε στο κοινό 10 χρόνια μετά την αρχή του προγράμματος.

Η τεχνολογία stealth λοιπόν, εξελίσσεται και επεκτείνεται συνεχώς σ' όλους τους στρατιωτικούς τομείς. Μάλιστα έχουν ήδη κατασκευαστεί πλοία stealth και έχουν εμφανιστεί σχέδια για άρματα μάχης και οχήματα μεταφοράς στρατιωτών. Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις παραπάνω εξελίξεις, καθίσταται σαφές ότι τα μελλοντικά πεδία των μαχών του 21^{ου} αιώνα θα κυριαρχούνται πλήρως από εξελιγμένες κατασκευές stealth όλων των ειδών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός.....	1
1.2 Οι πρώτες αναφορές.....	1
1.3 Η πρώτη επίδειξη ικανοτήτων.....	5

2. ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΓΙΑ ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1 Γενικά.....	7
2.2 Αεροπορικές επιχειρήσεις.....	8
2.3 Καμουφλάζ.....	10
2.3.1 Α' παγκόσμιος πόλεμος.....	10
2.3.2 Β' παγκόσμιος πόλεμος.....	13
2.3.3 Μεταπολεμική περίοδος και σύγχρονη εποχή.....	18
2.4 Ραντάρ : Ένας θανάσιμος αντίπαλος.....	24

3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΟΧΟΥ (R.C.S.)

3.1 Γενικά.....	26
3.2 Τεχνολογία Ραντάρ.....	27
3.3 Αντανάκλασεις – Ακτινοβολίες.....	31
3.4 Πρώτες εφαρμογές εναντίον αεροσκαφών.....	32
3.5 Διατομή ίχνους ραντάρ (Radar Cross Section).....	34
3.6 Διακυμάνσεις του R.C.S.	35
3.7 Παράγοντες επηρεασμού του R.C.S.	38
3.7.1 Διασπορά (Scattering).....	38
3.7.2 Αλληλεπιδράσεις.....	40
3.7.3 Διάθλαση.....	41
3.7.4 Συρόμενα κύματα.....	42
3.7.5 Δίεδρες περιοχές.....	44
3.7.6 Γωνίες.....	45
3.7.7 Κοιλότητες.....	46
3.7.8 Υπολογισμοί του R.C.S.	48

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ STEALTH

4.1 Γενικά.....	50
4.2 Αντανάκλασεις.....	50
4.3 Επίπεδη καλύπτρα.....	52
4.4 Σχεδίαση πτέρυγας.....	53
4.5 Τεχνική Faceting.....	56

4.6 Κοιλότητες.....	57
4.7 Πιλοτήρια.....	62
4.8 Κεραίες.....	63
4.9 Συρόμενα κύματα.....	65
4.10 Μεταφορά φορτίων και όπλων.....	67
4.11 Συνθετικά υλικά.....	70
4.12 Υλικά απορρόφησης ακτινοβολίας ραντάρ (Radar Absorbent Material – R.A.M.).....	71
4.12.1 Συντονισμένοι απορροφητές.....	72
4.12.2 Διηλεκτρικά υλικά R.A.M.	74
4.12.3 Απορροφητές Φερρίτη (Ferrite Absorber).....	75
4.12.4 Πυραμιδικός απορροφητής.....	77
4.12.5 Μαγνητικός απορροφητής.....	79
4.12.6 Αναλογικά κυκλώματα.....	82
4.13 Ακύρωση.....	83
4.14 Πλάσμα αερίων.....	85
4.15 Προστασία στο υπέρυθρο φάσμα (InfraRed-IR) και εκλυόμενη θερμότητα.....	87
4.16 Υπερηχητική πτήση.....	91
4.17 Συμβιβασμοί.....	92
4.18 Καυτά σημεία (hot spots).....	93
4.19 Μετρήσεις.....	94
4.20 Δοκιμές του R.C.S.	97
4.21 Μείωση του R.C.S.	99
4.22 Ραντάρ έρευνας.....	102

5. ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ STEALTH

5.1 Lockheed U-2 “Dragon Lady”	104
5.2 Lockheed SR-71 “Blackbird”	108
5.3 Lockheed F-117 “Nighthawk”	111
5.3.1 Η γέννηση του πρώτου αόρατου μαχητικού	111
5.3.2 Πρόγραμμα “Have Blue”	113
5.3.3 F-117 A : Το τελικό σχέδιο παραγωγής	115
5.3.4 Επιχειρησιακή δράση	119
5.3.5 Το μέλλον του Nighthawk	121

6. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ STEALTH

6.1 Northrop B-2 “Spirit”	123
6.1.1 Γέννηση και ανάπτυξη του προγράμματος	123
6.1.2 Δομή	128
6.1.3 Ηλεκτρονικός εξοπλισμός	132
6.1.4 Σύστημα πρόωσης	134
6.1.5 Οπλισμός	137
6.1.6 Επιχειρησιακή ανάπτυξη	138
6.2 Lockheed Martin F/A – 22 “Raptor”	140
6.2.1. Ιστορικό	140
6.2.2 Δομή – Συστήματα	142
6.2.3 Πρόωση τεχνολογίας αιχμής	148
6.2.4 Οπλισμός	150

6.2.5 Παραγωγή.....	151
6.2.6 Προς υπηρεσία.....	153
6.2.7 Δοκιμάζοντας τις ικανότητες του Raptor.....	155
6.2.8 Στα δύο άκρα του φακέλου πτήσης.....	157
6.2.9 Αξιολογώντας την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα....	159
6.3 Boeing / Sikorsky RAH – 66 “Comanche”.....	160
6.3.1 Η ακύρωση του πρώτου ελικοπτέρου stealth.....	160
6.3.2 Ιστορικό του προγράμματος.....	162
6.3.3 Κατασκευή.....	164
6.3.4 Προωστικό σύστημα.....	167
6.3.5 Επιχειρησιακά χαρακτηριστικά.....	168
6.3.6 Τεχνολογία stealth.....	169
6.3.7 Εξελιγμένα συστήματα και ικανότητες.....	170
6.3.8 Το τέλος του προγράμματος.....	173
6.4 Lockheed Martin F – 35 “Joint Strike Fighter”.....	175
6.4.1 Το πρόγραμμα “Joint Strike Fighter”.....	175
6.4.2 F – 35 : Η τελική σχεδίαση.....	184
6.4.3 Αισθητήρες και ηλεκτρονικά συστήματα.....	185
6.4.4 Το μέλλον του προγράμματος.....	190

7. ANTIMETΡΑ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ STEALTH

7.1 Γενικά.....	192
7.2 Εξέλιξη της τεχνολογίας των ραντάρ.....	192
7.3 Ραντάρ χαμηλών συχνοτήτων.....	194
7.4 Διστατικά ραντάρ.....	197
7.5 Ηλεκτροοπτική ανίχνευση.....	200
7.6 Άλλες τεχνικές.....	203
7.7 Το περιστατικό της κατάρριψης του F -117 A.....	204
7.8 Τα πρώτα σημάδια γήρανσης της τεχνολογίας stealth.....	212
7.9 Το παρόν.....	213
7.10 Το μέλλον.....	216

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Ο όρος “stealth” στην αγγλική γλώσσα έχει τις εξής ερμηνείες: μυστικός, κρυφός, αόρατος, αθόρυβος, φευγαλέος. Στην αεροπορική τεχνολογία ο όρος stealth καθιερώθηκε να προσδιορίζει τα αεροσκάφη εκείνα τα οποία κάνουν χρήση εξελιγμένης τεχνολογίας και διαφόρων ειδικών τεχνικών με σκοπό να περιορίσουν ή να εξαλείψουν τελείως τα ίχνη που αφήνει ένα αεροσκάφος, καθιστώντας το «αόρατο» σε όποιον προσπαθεί να το εντοπίσει.

1.2 ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Λίγο πριν το τέλος της δεκαετίας του 1970, στην Αμερική κυρίως, άρχισαν να δημοσιεύονται για πρώτη φορά κάποια άρθρα σ' εφημερίδες και περιοδικά πάνω στις διαθέσιμες τεχνικές περιορισμού του ηλεκτρομαγνητικού ίχνους ενός αεροσκάφους. Η τεχνολογία αυτή που σταδιακά ονομάστηκε τεχνολογία stealth, με την εφαρμογή της θα επέτρεπε θεωρητικά την μείωση του ίχνους ενός αεροπλάνου σε τέτοιο βαθμό, ώστε αυτό να καθίσταται πρακτικά αόρατο στις οθόνες των ραντάρ.

Λόγω των εμφανών στρατιωτικών πλεονεκτημάτων που θ' απέρρεαν από μια τέτοια τεχνολογία, το ενδιαφέρον του τύπου ήταν αρκετά μεγάλο. Τα επόμενα χρόνια διαδόθηκαν κάποιες πληροφορίες ότι η αμερικανική αεροπορία (Unites States Air Force-U.S.A.F.) έκανε μελέτες πάνω στο θέμα και ίσως να εξέλιξε κάποιο τέτοιο μυστικό αεροπλάνο με ιδιότητες stealth, κάτι που επίσημα όμως είχε διαψευστεί κατηγορηματικά.

Μετά τις πληροφορίες αυτές οι αναφορές στο θέμα αυξήθηκαν εντυπωσιακά σε αριθμό και κυριολεκτικά χιλιάδες λάτρεις της αεροπορικής τεχνολογίας, αμυντικοί αναλυτές κι ερευνητές άρχισαν να ψάχνουν για οποιοδήποτε στοιχείο πάνω στο θέμα, μελετώντας και κατασκοπεύοντας στρατιωτικές εγκαταστάσεις και αεροπορικές βάσεις. Παράλληλα κυκλοφόρησαν διάφορες καλλιτεχνικές απεικονίσεις για το πώς θα μπορούσε να μοιάζει ένα τέτοιο αεροσκάφος.



Εικόνα 1.1 : Καλλιτεχνική απεικόνιση που εμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του '80 και δείχνει ένα υποθετικό σχέδιο γι' αεροσκάφος stealth.

Η τεχνολογία stealth είχε λάβει πια μυθικές διαστάσεις, καθώς κυκλοφορούσαν αμέτρητα σενάρια συνομωσιών και φημολογίας πάνω στο θέμα. Το αποκορύφωμα ήρθε του Ιουλίου του 1986, όταν η Testor Corporation (μια εταιρεία κατασκευής πλαστικών μοντέλων αεροπλάνων υπό κλίμακα) διέθεσε στην αγορά ένα κιτ με την ονομασία "F-19 Stealth Fighter", δηλώνοντας ότι αυτό είναι το σχέδιο του νέου μυστικού αεροσκάφους.



Εικόνα 1.2 : Το περίφημο kit κατασκευής του ανύπαρκτου F-19 που κυκλοφόρησε το 1986 κι έκανε ρεκόρ πωλήσεων.

Επικράτησε μια πρωτοφανής αναστάτωση και μέσα σε λίγες εβδομάδες η εταιρεία πούλησε ή έλαβε παραγγελίες για πάνω από 100.000 τέτοια kit κατασκευής του μοντέλου! Το αμερικανικό υπουργείο αμύνης δήλωσε κατηγορηματικά ότι δεν υπάρχει κανένα τέτοιο αεροσκάφος κι ότι ένα πραγματικό αεροπλάνο με το σχήμα αυτό δεν θα μπορούσε καν να πετάξει. Παρ' όλα αυτά, η Testor δήλωνε ότι το αεροσκάφος είναι υπαρκτό και το μοντέλο της ακριβές κατά 80% τουλάχιστον. Τελικά ύστερα από ένα διάστημα 2 ακόμα χρόνων, η αμερικανική κυβέρνηση κάτω από την αυξανόμενη πίεση που δεχόταν και με σκοπό ενδεχομένως τον εντυπωσιασμό εν όψει των επερχόμενων εκλογών, έλαβε την απόφαση να ενημερώσει τον αμερικανικό λαό για την ύπαρξη ενός υπέρ-απόρρητου και πολύ καλά κρυμμένου αεροσκάφους που είχε καταφέρει να παραμείνει μυστικό για πάνω από 15 χρόνια.

Στις 10/11/1988 το αμερικανικό πεντάγωνο παραδέχτηκε την ύπαρξη του πρώτου στον κόσμο αεροσκάφους stealth και παράλληλα παρουσίασε την πρώτη, εμφανώς ρετουσαρισμένη, φωτογραφία του αεροσκάφους, στην οποία φαινόταν μόνο το περίγραμμα του και κάποια βασικά στοιχεία χωρίς άλλες λεπτομέρειες ή πληροφορίες. Το αεροσκάφος είχε τον κωδικό F-117 και θ' απασχολούσε την δημοσιογραφική κοινότητα για πολλά χρόνια ακόμα μέχρι ν' αποκαλυφθούν τα περισσότερα στοιχεία του προγράμματος απ' τις αρχές της δεκαετίας του '90 κι έπειτα. Λίγες μέρες αργότερα παρουσιάστηκε επίσημα στο κοινό και ένα δεύτερο αεροσκάφος τεχνολογίας stealth, το

βομβαρδιστικό B-2 που είχε αρχίσει ν' αναπτύσσεται εκείνη την εποχή και θα πετούσε για πρώτη φορά 8 μήνες αργότερα.



Εικόνα 1.3 : Φωτογραφία απ' την πρώτη επίσημη παρουσίαση του B-2 στο κοινό στις 22/11/1988.



Εικόνα 1.4 : Η πρώτη επίσημη φωτογραφία του F-117 που παρουσιάστηκε στο κοινό απ' την αμερικανική κυβέρνηση. Είναι σκοπίμως παραποιημένη για την απόκρυψη λεπτομερειών.

1.3 Η ΠΡΩΤΗ ΕΠΙΔΕΙΞΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΩΝ

Το καλοκαίρι του 1990, το Ιράκ με ηγέτη τον Σαντάμ Χουσεΐν εισέβαλε στο γειτονικό κρατίδιο του Κουβέιτ. Αμέσως μια ομάδα δυτικών χωρών, με πρωτοστάτη τις Η.Π.Α., δημιούργησαν έναν συνασπισμό δυνάμεων και απαίτησαν την άμεση αποχώρηση των Ιρακινών δυνάμεων απ' το έδαφος του Κουβέιτ, απειλώντας με χρήση στρατιωτικών μέσων σε αντίθετη περίπτωση. Μετά από διπλωματικές διεργασίες αρκετών μηνών και την ανυποχώρητη στάση του Ιράκ, αποφασίστηκε τελικά η στρατιωτική επέμβαση.

Η αυλαία του πολέμου αυτού (που ονομάστηκε “ο πόλεμος του Κόλπου”) θα «άνοιγε» με την χρήση ενός από τα πιο απόρρητα και τεχνολογικά εξελιγμένα αεροσκάφη στην ιστορία της αεροπορίας μέχρι τότε. Το αεροσκάφος αυτό ήταν το βομβαρδιστικό τύπου stealth, F-117 Nighthawk. Τη νύχτα στις 17/1/1991, οκτώ F-117 κουβαλώντας οπλικό φορτίο 2 τόνων το καθένα, διέσχισαν αόρατα απ' τα εχθρικά ραντάρ μια απόσταση 1600 χμ μέσα στον εναέριο χώρο του Ιράκ με σιγή ασυρμάτου και έφτασαν πάνω απ' την Βαγδάτη, όπου και εξαπέλυσαν τις βόμβες τους εναντίον των προκαθορισμένων στρατιωτικών στόχων με απόλυτη ακρίβεια.

Στη συνέχεια, με τον ίδιο αθέατο τρόπο που διείσδυσαν, επέστρεψαν πίσω στην βάση τους χωρίς να γίνει ποτέ δυνατό να εντοπιστούν από την αντίπαλη Ιρακινή αεράμυνα, που είχε ενεργοποιηθεί πλήρως και έψαχνε τους επιδρομείς με όλα τα μέσα που διέθετε. Παρ' όλο που η Βαγδάτη θεωρούνταν την εποχή εκείνη μία από τις καλύτερες προστατευμένες πόλεις στον κόσμο έναντι μιας αεροπορικής επίθεσης, διαθέτοντας ένα πλήθος αντιαεροπορικών πυραύλων, πυροβόλων και ραντάρ σύγχρονης τεχνολογίας, τίποτα απ' όλα αυτά δεν μπόρεσε ν' απειλήσει ούτε στο ελάχιστο το καινούριο αυτό όπλο, που είχε κρατηθεί καλά κρυμμένο απ' τους Αμερικανούς. Μέσα σε μια νύχτα ο αεροπορικός πόλεμος είχε αλλάξει ριζικά μορφή.



Εικόνα 1.5 : Τα F-117 πολέμησαν για πρώτη φορά στον “Πόλεμο του Κόλπου” το 1991 προκαλώντας παγκόσμια αίσθηση λόγω των πρωτόγνωρων ικανοτήτων τους.

2.ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΓΙΑ ΑΠΟΚΡΥΨΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στις στρατιωτικές επιχειρήσεις και τους πολέμους γενικότερα, ο κύριος στόχος είναι πάντοτε η νίκη και η καταστροφή του αντιπάλου. Για την επίτευξη του στόχου αυτού υπάρχουν χιλιάδες διαφορετικοί παράγοντες και παράμετροι που θα πρέπει να υπολογιστούν καθώς και διάφορα άλλα στοιχεία, τα οποία θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κατά τον σχεδιασμό των επιχειρήσεων. Απ' όλα τα στοιχεία εκείνα που θα πρέπει να επιδιώξει κάποιος σε μια μάχη, υπάρχει ένα που ξεχωρίζει καθώς αν επιτευχθεί αυτό, τότε οι πιθανότητες μιας νίκης αυξάνονται σημαντικά.

Το στοιχείο αυτό είναι ο αιφνιδιασμός. Από την εποχή των πρώτων ακόμα πολέμων που είναι καταγεγραμμένοι στην ιστορία, έχουμε αναφορές για προσπάθειες παραπλάνησης του αντιπάλου, απόκρυψης των στρατιωτών ή αιφνιδιαστικών επιθέσεων σε ανύποπτο χρόνο ή μέρος. Σε πάρα πολλές από αυτές τις περιπτώσεις η έκβαση της μάχης ήταν υπέρ της πλευράς που πέτυχε τον αιφνιδιασμό του αντιπάλου. Το αξίωμα του αιφνιδιασμού παραμένει αναλλοίωτο ως τις μέρες μας, εξαιτίας ακριβώς της μεγάλης του σημασίας σε μια στρατιωτική αναμέτρηση και μάλιστα ισχύει το ίδιο είτε πρόκειται για επιχειρήσεις ξηράς, είτε για ναυτικές, καθώς τέλος για αεροπορικές επιχειρήσεις.

Ο αεροπορικός πόλεμος είναι το τρίτο σκέλος ενός γενικού πολέμου και μάλιστα είναι σημαντικά νεότερο σαν ύπαρξη απ' τ' άλλα δύο σκέλη (τις μάχες ξηράς και τον ναυτικό πόλεμο), καθώς το αεροπλάνο γεννήθηκε μόλις στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Ωστόσο από την εποχή εκείνη μέχρι τις μέρες μας, ο αεροπορικός τομέας αναδείχθηκε σαν ένας απ' τους πιο σημαντικούς και

μελετώντας τις εξελίξεις της σημερινής εποχής, δεν είναι υπερβολή να ειπωθεί ότι οι πόλεμοι τώρα πια κερδίζονται στον αέρα από αυτόν που διαθέτει την μεγαλύτερη αεροπορική ισχύ. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια ιστορική αναδρομή στις προσπάθειες που έγιναν κατά καιρούς, ώστε να μειωθεί το οπτικό ίχνος ενός αεροπλάνου με σκοπό την καθυστέρηση του εντοπισμού του.

2.2 ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ

Το αεροπλάνο σαν όπλο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη ουσιαστικά φορά στον Α' παγκόσμιο πόλεμο (1914-1918). Στην αρχή κυρίως σαν μέσο εναέριας αναγνώρισης και μετάδοσης πληροφοριών και λίγο αργότερα σαν αναχαιτιστικό άλλων αεροσκαφών ή ελαφρού βομβαρδισμού των θέσεων των αντιπάλων. Από πολύ νωρίς στην διάρκεια του πολέμου αυτού, διαπιστώθηκε και εκεί ότι ο αιφνιδιασμός του αντιπάλου σε μια αερομαχία είναι το κλειδί για την νίκη. Ο πιλότος που θα έβλεπε πρώτος το αντίπαλο αεροσκάφος θα είχε και την μεγαλύτερη πιθανότητα να το καταρρίψει.

Το συμπέρασμα αυτό είναι και ένα από τα μεγαλύτερα αξιώματα που διδάσκονται από τότε μέχρι σήμερα στους νεαρούς πιλότους για να επικρατήσουν σε μια αερομαχία. “Εντόπισε τον εχθρό σου πριν σ' εντοπίσει πρώτος αυτός”. Έχει υπολογιστεί ότι στο 70% των περιπτώσεων κατάρριψης ενός μαχητικού αεροσκάφους, ο πιλότος του δεν αντιλήφθηκε ποτέ τον αντίπαλο που του έκανε επίθεση! Βλέπουμε λοιπόν ότι το στοιχείο του αιφνιδιασμού είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε μια εναέρια αναμέτρηση. Μέσα από τα διδάγματα των πρώτων χρόνων του πολέμου και την μελέτη των αερομαχιών αναδείχτηκε ένας προβληματισμός για το πώς θα μπορούσαν τ' αεροπλάνα να γίνουν λιγότερο ορατά στους αντιπάλους.

Η πιο φυσική λύση την εποχή εκείνη ήταν η υιοθέτηση βαφών παραλλαγής για τ' αεροσκάφη σαν ένα είδος καμουφλάζ, αντίστοιχο με τις τακτικές που χρησιμοποιούσαν οι στρατοί τότε, βάφοντας τα οχήματά τους σε παραλλαγές του πράσινου και του καφέ, αλλά και των στρατιωτών που φορούσαν κυρίως χακί στολές. Βέβαια την εποχή εκείνη μια τέτοια κίνηση ήταν αρκετά ριζοσπαστική για τις επικρατούσες αντιλήψεις των πιλότων. Στα χρόνια πριν απ' τον πόλεμο, η ανάπτυξη του αεροπλάνου βασίστηκε κυρίως

στις προσπάθειες κάποιων λίγων εκκεντρικών πλουσίων, που έβλεπαν το όνειρο της πτήσης στον αέρα σαν μια ρομαντική περιπέτεια. Η θέα ενός αεροπλάνου και οι γνώσεις πάνω σ' αυτό ήταν εξαιρετικά σπάνιες στον απλό κόσμο και έτσι οι πιλότοι τους αντιμετώπιζονταν είτε με καχυποψία, είτε με σκωπτική διάθεση σαν γραφικοί τύποι. Η πτήση με αεροσκάφος ήταν ένα παράξενο και ακριβό χόμπι για λίγους.

Με το ξέσπασμα όμως του πολέμου, οι περισσότεροι από αυτούς τους ανθρώπους αποτέλεσαν και τον πυρήνα των μάχιμων πιλότων που θα επάνδρωναν τα πρώτα πολεμικά αεροσκάφη. Τον πρώτο χρόνο του πολέμου, λόγω της πρωτόγονης τεχνολογίας γίνονταν μόνο λίγες αναγνωριστικές πτήσεις με άοπλα αεροσκάφη και έτσι οι συναντήσεις δύο αντίπαλων αεροσκαφών στον αέρα συνέβαινε σπάνια και μάλιστα όταν γινόταν, οι πιλότοι τους συνήθως χαιρετιόντουσαν σαν παλιοί φίλοι (!). Η φρίκη του πολέμου δεν τους άγγιζε ακόμα, καθώς αυτοί έμεναν συνήθως σε κάποιο αεροδρόμιο μακριά από το αληθινό μέτωπο των μαχών και έβλεπαν τον εχθρό μόνο από ψηλά και με σχετική ασφάλεια, αντίθετα με τους απλούς στρατιώτες που ζούσαν κάτω από άθλιες συνθήκες μέσα στα χαρακώματα της πρώτης γραμμής και αντιμετώπιζαν τον θάνατο κάθε στιγμή.

Ακόμα και όταν άρχισαν οι πρώτες σποραδικές αερομαχίες, οι πιλότοι έβλεπαν τους εαυτούς τους σαν τους συνεχιστές των μεσαιωνικών ιπποτών, που πολεμούσαν φορώντας αστραφτερές πανοπλίες καλπάζοντας πάνω στο άλογο τους και επιδεικνύοντας τα χρώματά του οικοσήμου τους. Αντίστοιχα και οι τότε πιλότοι εφορούσαν με τ' αεροπλάνα τους βαμμένα μ' εντυπωσιακά χρώματα θέλοντας να ξεχωρίζουν όσο πιο πολύ μπορούσαν, θεωρώντας ατιμωτική μια μάχη χωρίς να τους έχει δει ο αντίπαλος. Το πιο τρανταχτό παράδειγμα είναι φυσικά του γερμανού πιλότου Μάνφρεντ Φον Ριχτχόφεν, ο οποίος έμεινε στην ιστορία ως ο "Κόκκινος Βαρώνος", επειδή έβαφε το αεροπλάνο του με έντονο κόκκινο χρώμα για να τον ξεχωρίζουν από πολύ μακριά όλοι.



Εικόνα 2.1 : Ένα Fokker Dr-1, ακριβές αντίγραφο ενός απ' τα αεροπλάνα του “κόκκινου Βαρώνου”, βαμμένο μ' έντονο κόκκινο χρώμα για να τον αναγνωρίζουν οι αντίπαλοί του.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις όμως πάνω στ' αεροσκάφη, καθώς και η ίδια απάνθρωπη φύση του πολέμου άλλαξαν τις επικρατούσες αντιλήψεις και την μορφή των μαχών. Ήταν πια φανερό ότι ο καθένας έπρεπε να κάνει ότι μπορεί για να επιβιώσει.

2.3 ΚΑΜΟΥΦΛΑΖ

2.3.1 Α' παγκόσμιος πόλεμος

Τα βρετανικά στρατεύματα είχαν υιοθετήσει στολές χρώματος χακί από τις εμπειρίες τους στους νότιο-αμερικανικούς πολέμους, όπου είχαν πάρει μέρος. Έτσι το χρώμα αυτό ήταν μια λογική επιλογή και για τ' αεροσκάφη τους. Τα γαλλικά αεροσκάφη ξεκίνησαν τον πόλεμο χωρίς καθόλου καμουφλάζ. Ήταν βαμμένα με το χρώμα της εταιρείας τους που συνήθως

ήταν ασημί-γκρι. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε μια βασική παραλλαγή που αποτελούταν από ένα τόνο πράσινου και δύο ή τρεις τόνους του καφέ.

Οι Γερμανοί αντίθετα είχαν διαφορετική προσέγγιση. Στα πρώτα πειράματα που έκαναν χρησιμοποίησαν πολλά διαφορετικά χρώματα και σχέδια βάφοντας το αεροσκάφος, αλλά στη συνέχεια επέλεξαν την χρήση μιας εξαιρετικά πολύπλοκης παραλλαγής που αποτελούταν από ένα πυκνό δίκτυο εξαγωγών με 5 διαφορετικά χρώματα, η οποία ήταν τυπωμένη πάνω στο ύφασμα των πάνινων φτερών και της ατράκτου (τ' αεροσκάφη την εποχή εκείνη κατασκευάζονταν κυρίως από ξύλο και πανί). Τα βομβαρδιστικά που επιχειρούσαν την νύχτα υιοθέτησαν πιο ειδικά χρώματα. Το μαύρο χρώμα ήταν η πρώτη εμφανής λογική επιλογή για ένα αεροσκάφος που ήθελε να κρυφτεί στο σκοτάδι, αλλά κανένας δεν είχε συνειδητοποιήσει ότι για να είναι αποτελεσματικό ένα τέτοιο φινίρισμα θα πρέπει να είναι ματ ώστε να μην αντανακλά το φως απ' τους προβολείς έρευνας.

Έτσι λοιπόν, τα πρώτα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα απογοητευτικά και σχεδόν κανένα αεροσκάφος δε βάφτηκε μαύρο τελικά. Ένα πολύ καλύτερο χρώμα για νυχτερινές επιχειρήσεις εμφανίστηκε το 1918, εξελιγμένο από ένα αγγλικό ερευνητικό κέντρο. Ήταν ένας συνδυασμός γκρι-πράσινου που είχε βελτιστοποιηθεί για νύχτες με πανσέληνο, αλλά δεν πρόλαβε να χρησιμοποιηθεί σε πολλές αποστολές μέχρι το τέλος του πολέμου. Μετά το τέλος του πολέμου, το καμουφλάζ αφαιρέθηκε από τα περισσότερα αεροσκάφη που βάφτηκαν με πιο φανταχτερά χρώματα σύμφωνα με τα εμβλήματα των μονάδων. Μάλιστα, η περίοδος αυτή αναδείχτηκε σε μία από τις πιο σημαντικές στο θέμα της διακόσμησης των αεροσκαφών με σχέδια και χρώματα.



Εικόνα 2.2 : Αγγλικό Sopwith Camel του Α' παγκοσμίου πολέμου, βαμμένο με το τυπικό χακί χρώμα.



Εικόνα 2.3 : Γερμανικό Fokker μ' εξαιρετικά ιδιόμορφη παραλλαγή.



Εικόνα 2.4 : Γερμανικό Albatros D- VII με περίπλοκο καμουφλάζ.

2.3.2 Β' παγκόσμιος πόλεμος

Στα μέσα της δεκαετίας του '30 στην Μεγάλη Βρετανία τα σύννεφα ενός επερχόμενου πολέμου με την Γερμανία ήταν ήδη ορατά κι έτσι σιγά-σιγά τα έντονα χρώματα έδιναν τη θέση τους σε μουντά σχέδια παραλλαγής χαμηλής περιεκτικότητας. Τα καμουφλάζ στ' αεροσκάφη επανήλθε. Το βασικό σχέδιο παραλλαγής της βρετανικής πολεμικής αεροπορίας (Royal Air Force-R.A.F.) περιελάμβανε δύο χρώματα στις επάνω επιφάνειες, ένα σκούρο πράσινο κι ένα σκούρο καφέ, ενώ το κάτω μέρος ήταν βαμμένο μ' ένα πολύ ανοιχτό γκριζο. Επίσης, άλλαξαν και τα εθνόσημα που έγιναν μικρότερα και με λιγότερο έντονα χρώματα. Άλλα έθνη έβαψαν με αντίστοιχο τρόπο τ' αεροσκάφη τους.

Οι Η.Π.Α. επέλεξαν το λαδί χρώμα για τις επάνω επιφάνειες και το γκριζο ή κυανό για τις κάτω. Το αμερικανικό ναυτικό, για αποστολές πάνω απ' την θάλασσα, χρησιμοποίησε παραλλαγές βασισμένες σε σκούρο μπλε ή σε σκούρο γκρι. Ένα τυπικό σχέδιο είχε τις επάνω επιφάνειες σε ματ-γκρι και τις κάτω επιφάνειες σε ανοιχτό γκρι. Για ένα μεγάλο μέρος του πολέμου, η γερμανική πολεμική αεροπορία (Luftwaffe) χρησιμοποίησε ένα διακριτικό δίχρωμο σχέδιο παραλλαγής "θραυσμάτων" για τις ανώτερες επιφάνειες των αεροσκαφών της. Αυτό χρησιμοποίησε δύο πράσινου-σκύρου πράσινου

σαν βάση κι έναν πολύ σκούρο τόνο πράσινου που εφαρμοζόταν με τη μορφή μπαλωμάτων με γωνιακά σβησίματα. Οι κατώτερες πλευρές βαφόντουσαν σε ανοιχτό μπλε.

Καθώς ο πόλεμος προχωρούσε τα σχέδια παραλλαγής εξελισσόταν και στις δύο πλευρές, καθώς νέα βελτιωμένα σχέδια εμφανιζόντουσαν για να εξυπηρετήσουν διάφορους εξειδικευμένους ρόλους ή γεωγραφικές περιοχές. Στην Αγγλία το βασικό σχέδιο εδάφους (“Temperate Land”) με σκούρο πράσινο και σκούρο καφέ, άλλαξε το 1941 αντικαθιστώντας το καφέ μ’ ένα «θαλάσσιο» γκρι. Αυτό το βασικό φινίρισμα (“Temperate sea”) συμπληρώθηκε αργότερα από ένα συνδυασμό σκοτεινού γκριζου που ταίριαζε καλύτερα στ’ αεροσκάφη που πετούσαν πάνω από την Μάγχη, ενώ τ’ αεροσκάφη που πετούσαν σε αποστολές στη βόρεια αφρικανική εκστρατεία και τη Μέση Ανατολή χρησιμοποιούσαν ένα συνδυασμό σκούρου και ανοιχτού καφέ.



Εικόνα 2.5 : Βρετανικό Hawker Hurricane με παραλλαγή “Temperate Land”.



Εικόνα 2.6 : Supermarine Spitfire με παραλλαγή “Temperate Sea”.



Εικόνα 2.7 : Grumman F6F Hellcat με παραλλαγή για επιχειρήσεις πάνω από θάλασσα.

Οι κάτω επιφάνειες βαφόντουσαν γκρι ή μπλε ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή στην οποία το αεροσκάφος επιχειρούσε. Τα νυχτερινά μαχητικά χρησιμοποιούσαν μαύρο ματ χρώμα. Τα πιο πρωτοποριακά χρώματα ήταν εκείνα που εφαρμόστηκαν στ' αεροσκάφη φωτο-αναγνώρισης

πολύ μεγάλου ύψους. Αυτά βαφόντουσαν μ' ένα μόνο ενιαίο χρώμα, που ποίκιλε από διάφορους τόνους του μπλε μέχρι κάποιες αποχρώσεις του ροζ. Το ροζ χρώμα χρησιμοποιήθηκε και απ' την Luftwaffe σε συνδυασμό με διάφορες αποχρώσεις του καφέ γι' αεροσκάφη που επιχειρούσαν-πετούσαν πάνω από έρημο και τ' αποτελέσματα ήταν πολύ ικανοποιητικά. Οι χειμερινές επιχειρήσεις στο ρωσικό μέτωπο απαιτούσαν καινούρια σχέδια παραλλαγών.

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκε άσπρο χρώμα στις πάνω επιφάνειες, ώστε να μειωθεί το οπτικό ίχνος του αεροσκάφους πάνω απ' τις χιονισμένες περιοχές. Κατά την περίοδο της άνοιξης και καθώς στο τοπίο εμφανιζόντουσαν κομμάτια πράσινων περιοχών, αντίστοιχα έβαφαν και στα αεροσκάφη πράσινα «μπαλώματα» πάνω στις άσπρες επιφάνειες. Κατά τις πρώτες νυχτερινές επιχειρήσεις, η Luftwaffe υιοθέτησε ένα ολόμαυρο φινίρισμα παρόμοιο μ' αυτό που χρησιμοποιούσαν τα συμμαχικά αεροσκάφη. Ωστόσο, αντίθετα με τους συμμάχους που δεν άλλαζαν ποτέ τη νυχτερινή παραλλαγή τους, η Luftwaffe δεν έμεινε ευχαριστημένη με τ' αποτελέσματα της απόκρυψης που επιτυγχανόταν κι έκανε διάφορες έρευνες, ώστε να βρει ένα χρώμα καταλληλότερο για χρήση κατά τη διάρκεια της νύχτας. Κατά μεγάλη τους έκπληξη, διαπίστωσαν ότι το ιδανικό φινίρισμα απείχε κατά πολύ απ' το παραδοσιακό μαύρο χρώμα.

Οι δοκιμές έδειξαν ότι ο νυχτερινός ουρανός πάνω απ' την δυτική Ευρώπη περιείχε ακόμα ικανοποιητικότερο φως για να σκιαγραφήσει την σιλουέτα ενός μαύρου χρωματισμένου αεροσκάφους όταν γινόταν θεατό από πλάγια ή από κάτω. Καθώς οι δοκιμές προχωρούσαν, διαπιστώθηκε ότι το καλύτερο αποτέλεσμα επιτυγχανόταν από ένα σχέδιο παραλλαγής που χρησιμοποιούσε ματ αποχρώσεις του μπλε και του γκρι. Το σχήμα αυτό εφαρμόστηκε ευρέως σε όλα τα γερμανικά αεροσκάφη νυχτερινών επιχειρήσεων, όπως το Ju 88 και το He 219. Στην καλύτερη περίπτωση αυτά τα παραδοσιακά σχέδια κάλυψης μπορούσαν μόνο να καθυστερήσουν την οπτική ανίχνευση ενός αεροσκάφους.

Μία πιο διαφορετική προσέγγιση περιλαμβάνει την εφαρμογή σχημάτων και σχεδίων που προορίζονται για να εξαπατήσουν το ανθρώπινο μάτι ώστε να προσδιορίσει λανθασμένα το τί βλέπει. Η πρώτη στρατιωτική εφαρμογή της μεθόδου αυτής ήταν κατά τη διάρκεια του Α' παγκοσμίου πολέμου, όταν τα θωρηκτά του βρετανικού βασιλικού ναυτικού βάφθηκαν

μ' ένα καινούριο είδος παραλλαγής ("dazzle schemes"). Αυτή είχε την μορφή μεγάλων λωρίδων έντονου χρώματος πάνω στο πλάι του πλοίου και είχε σαν σκοπό να διασπάσει το οπτικό περίγραμμα του σκάφους ή να δημιουργήσει μια ψεύτικη προοπτική. Βάφτηκαν επίσης ψεύτικα κύματα στο μέρος της πλώρης, δημιουργώντας έτσι την ψευδαίσθηση σε κάποιον που παρατηρεί το πλοίο από μακριά ότι κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Η ιδέα αυτή απέδωσε αρκετά ικανοποιητικά και χρησιμοποιήθηκε ακόμα πιο επισταμένα και στον Β' παγκόσμιο πόλεμο. Στ' αεροσκάφη συγκεκριμένα, τα χρώματα των παραλλαγών χρησιμοποιήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να σπάνε το περίγραμμά του. Αυτό έγινε εφικτό χρησιμοποιώντας χρώματα που έκαναν έντονη αντίθεση μεταξύ τους, ενώ και το σβήσιμό τους ήταν ακανόνιστο ή και γωνιώδες μερικές φορές.



Εικόνα 2.8 : Curtiss P-40 Warhawk με ροζ βαφή κατάλληλη για την έρημο και μεγάλα υψόμετρα.



Εικόνα 2.9 : Γερμανικό Messerschmitt BF-109 με παραλλαγή δύο τόνων του γκρι.



Εικόνα 2.10 : Άλλο ένα BF-109 με ιδιόμορφο καμουφλάζ μπαλωμάτων.

2.3.3 Μεταπολεμική περίοδος και σύγχρονη εποχή

Με το τέλος του Β' παγκόσμιου πολέμου, το καμουφλάζ εγκαταλείφθηκε για ακόμα μία φορά με τις περισσότερες πολεμικές αεροπορίες ν' αφήνουν τα μαχητικά τους με το μεταλλικό φινίρισμα του εργοστασίου και σήματα ή σχέδια των μονάδων μ' έντονα χρώματα.

Η μελέτη καινούριων βαφών παραλλαγής χαμηλής παρατηρησιμότητας σχεδόν εγκαταλείφθηκε. Το μεταλλικό φινιρίσμα όμως είχε για τα υπερηχητικά αεροσκάφη τα εξής πλεονεκτήματα: μείωνε την οπισθέλκουσα και το συνολικό βάρος (καθώς η βαφή ενός ολόκληρου αεροσκάφους ζυγίζει αρκετά κιλά σε χρώματα), βοηθώντας τα στην επίτευξη μεγαλύτερης ταχύτητας.

Η τακτική του μεταλλικού φινιρίσματος εφαρμοζόταν τόσο σε μαχητικά, όσο και σε βομβαρδιστικά και ίσχυσε κυρίως στις Η.Π.Α. και την Σοβιετική Ένωση. Όμως αυτές οι δύο χώρες επηρέαζαν τις εξελίξεις και σε όλες τις υπόλοιπες χώρες, αφού μόνο αυτές κατασκεύαζαν και πουλούσαν αεροσκάφη σε μαζική παραγωγή. Τελικά δύο γεγονότα αποκατάστησαν την ανάγκη για οπτική κάλυψη στη δεκαετία του '60: το ένα ήταν η κατάρριψη του αμερικανικού κατασκοπευτικού αεροσκάφους Lockheed U-2 πάνω από σοβιετικό έδαφος στις 1/4/1960 με πιλότο τον Gary Powers και το άλλο ήταν το ξέσπασμα του πολέμου του Βιετνάμ. Στην διάρκεια του πολέμου αυτού έγινε αντιληπτό ότι όλα τ' αεροσκάφη ανάλογα με τις αποστολές που αναλάμβαναν, έπρεπε να έχουν καμουφλάζ. Τα βομβαρδιστικά που πετούσαν χαμηλά βιάφτηκαν στις πάνω επιφάνειες με τρία χρώματα: σκούρο πράσινο, ανοιχτό πράσινο και καφέ, ενώ στην «κοιλιά» βιάφτηκαν μ' ένα πολύ ανοιχτό γκρι (παραλλαγή Vietnam).

Τα υψηλά ιπτάμενα αναχαιτιστικά υιοθέτησαν παραλλαγές με αποχρώσεις του γκριζου. Επίσης μειώθηκε βαθμιαία και το μέγεθος των εθνικών διακριτικών των αεροσκαφών, με την τελική έκδοση να έχει ύψος μόνο 38 cm (15 in). Μετά τον πόλεμο του Βιετνάμ, τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις επιχειρήσεις μελετήθηκαν επισταμένα από πολλές χώρες και κυρίως τις Η.Π.Α.. Τα σχέδια των παραλλαγών που χρησιμοποιήθηκαν, χρησίμευσαν ως κύρια βάση για όλα τα μετέπειτα σχέδια και είναι σε χρήση μέχρι και σήμερα από τα σύγχρονα μαχητικά αεροσκάφη. Συγκεκριμένα, για τα τακτικά μαχητικά F-4 Phantom και F-16 Falcon αναπτύχθηκε η παραλλαγή "Compass Ghost" με δύο αποχρώσεις του γκριζου (ανοιχτό – σκούρο), με την ανοιχτότερη απόχρωση να χρησιμοποιείται στα σημεία εκείνα που είναι πιο πιθανό να δημιουργείται σκιά. Επίσης, αναπτύχθηκαν οι παραλλαγές "European 1" και "European 2" με συνδυασμένες αποχρώσεις πράσινου και γκρι για χαμηλά ύψη και οι παραλλαγές "Hill Gray 1" και "Hill Gray 2" με δύο τόνους γκριζου σ' όλες τις επιφάνειες που χρησιμοποιούνται κυρίως απ' το

F-15 Eagle, καθώς και απ' τον αντικαταστάτη του το μαχητικό τεχνολογίας stealth F-22 σε ελαφρώς μεταλλαγμένη μορφή. Οι άλλες χώρες ανέπτυξαν και αυτές τα δικά τους σχέδια παραλλαγών, με τις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης να ξεχωρίζουν ιδιαίτερα λόγω των ιδιόμορφων και εντυπωσιακών καμουφλάζ που δοκίμασαν κατά καιρούς.

Το σημαντικότερο δίδαγμα όμως που αποκομίστηκε απ' όλες τις πολεμικές επιχειρήσεις μέχρι σήμερα είναι ότι κάθε αεροσκάφος ανάλογα με το περιβάλλον που επιχειρεί, θα πρέπει να έχει και την αντίστοιχη παραλλαγή καμουφλάζ. Το δόγμα αυτό εφαρμόζονται πλήρως στην σημερινή εποχή και κάθε πολεμική αεροπορία κάθε χώρας, έτσι ώστε η διαδικασία παραγωγής νέων σχεδίων να εξελίσσεται και να βελτιώνεται συνεχώς. Τα οφέλη που προκύπτουν από το μειωμένο οπτικό ίχνος είναι πολλά και σημαντικά και τελικά οδηγούν στο επιθυμητό αποτέλεσμα: την μείωση των απωλειών των αεροσκαφών.



Εικόνα 2.11 : A-7 E Corsair με παραλλαγή Βιετνάμ.



Εικόνα 2.12 : C-141B Starlifter με παραλλαγή “European one”.



Εικόνα 2.13 : Αμερικανικό F-16C με παραλλαγή “Compass Ghost”.



Εικόνα 2.14 : F-15C της USAF με παραλλαγή “Hillgray”.



Εικόνα 2.15: Ελληνικό F-16D block 52+ με την εξαιρετικά πετυχημένη παραλλαγή “Ghost”.



Εικόνα 2.16 : Sukhoi SU-27 Flanker της Ουκρανικής Π.Α..



Εικόνα 2.17 : Ρωσικό SU-27 SMK με πειραματικό σχέδιο καμουφλάζ.



Εικόνα 2.18 : Ρωσικό SU-30 Flanker με σχέδιο παραλλαγής ερήμου.

2.4 ΡΑΝΤΑΡ : ΕΝΑΣ ΘΑΝΑΣΙΜΟΣ ΑΝΤΙΠΑΛΟΣ

Οι τακτικές που περιγράφηκαν παραπάνω αποσκοπούν στην μείωση του οπτικού ίχνους που έχει ένα αεροσκάφος στον ανθρώπινο οφθαλμό. Οι τρόποι αυτοί λειτουργούσαν μ' έναν αρκετά ικανοποιητικό βαθμό επιτυχίας μέχρι τις αρχές του Β' παγκοσμίου πολέμου, όπου μέχρι τότε τα ανθρώπινα μάτια ήταν και τα μοναδικά μέσα εντοπισμού ενός αεροσκάφους. Εκείνη την περίοδο όμως συνέβη ένα γεγονός που θ' άλλαζε για πάντα τη μορφή του αεροπορικού πολέμου. Η εξέλιξη του ραντάρ και η χρησιμοποίησή του για την ανίχνευση ιπτάμενων στόχων. Το γεγονός αυτό προκάλεσε μια πραγματική επανάσταση στις τακτικές πολέμου.

Τώρα πια χρησιμοποιώντας αυτή τη συσκευή, ένα αεροσκάφος μπορούσε να εντοπιστεί από χιλιόμετρα μακριά. Η αντίπαλη αεράμυνα ενεργοποιούνταν έγκαιρα και ήταν προετοιμασμένη για να το καταρρίψει και τ' αντίπαλα αναχαιτιστικά αεροσκάφη μπορούσαν να κατευθυνθούν εναντίον του, ακόμα και σε συνθήκες μηδενικής ορατότητας μέσα στα σύννεφα ή

τη νύχτα. Ήταν φανερό ότι το καινούριο αυτό μέσο θα πρωταγωνιστούσε ολοκληρωτικά στις μελλοντικές εξελίξεις και πράγματι μέχρι και την σημερινή εποχή, 65 χρόνια αργότερα, το ραντάρ παραμένει το κύριο μέσο ανίχνευσης εναέριων στόχων, πέραν φυσικά των αναρίθμητων άλλων εφαρμογών που έχει στον στρατιωτικό τομέα και την πολιτική ζωή του ανθρώπου. Οι σχεδιαστές των αεροπλάνων γρήγορα αντιλήφθηκαν τις δυνατότητες του καινούριου μέσου και παράλληλα τις αδυναμίες των αεροσκαφών που σχεδίαζαν ν' αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τον καινούριο αυτό κίνδυνο. Μια νέα ριζοσπαστική τεχνολογία θα έπρεπε να εφευρεθεί για την καταπολέμηση αυτού του κινδύνου. Οι βάσεις για την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας τέθηκαν, όταν άρχισε να μελετάται μεθοδικά η λειτουργία των ραντάρ και ξεκίνησαν οι δοκιμές για την δημιουργία κατάλληλων αντιμέτρων.

3.ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΟΧΟΥ (R.C.S.)

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

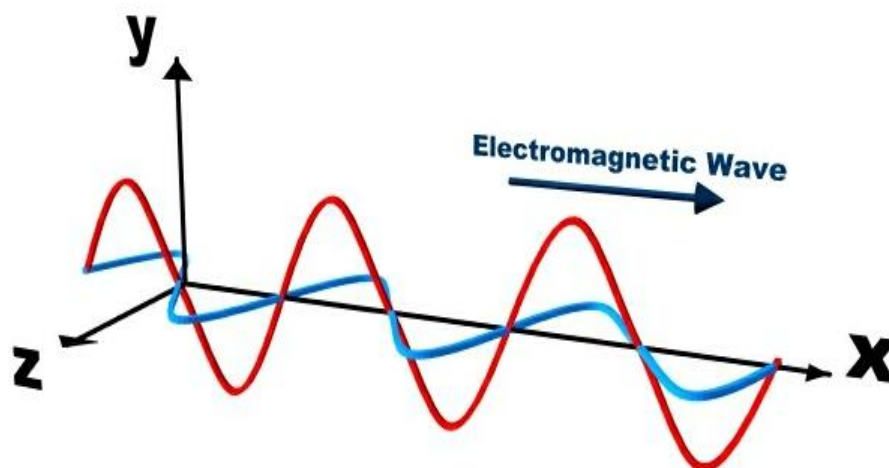
Το κλειδί για την κατανόηση του πως λειτουργεί η τεχνολογία stealth είναι να γίνει κατανοητό πως λειτουργεί ένα ραντάρ και συγκεκριμένα πως η ακτινοβολία ενός ραντάρ αντανακλάται από ένα αεροσκάφος. Η ακτινοβολία ενός ραντάρ είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως είναι για παράδειγμα οι χαμηλότερες συχνότητες που χρησιμοποιούνται στο ραδιόφωνο και στην τηλεόραση και οι υψηλότερες συχνότητες όπως η υπέρυθρη ακτινοβολία και το ορατό φως .

Η βασική θεωρία για την ακτινοβολία αυτή διατυπώθηκε αρχικά τον 19 αιώνα από τον Clerk Maxwell, ο οποίος προέβλεψε τις ιδιότητες της πολύ πριν αναπτυχθεί η τεχνολογία που θα αποδείκνυε τα λεγόμενα του. Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell κι οι εξισώσεις που την περιγράφουν οδήγησαν αργότερα σε αναρίθμητες πρακτικές εφαρμογές και θεωρείται ως μια από τις μεγαλύτερες συλλήψεις του ανθρώπινου πνεύματος. Ο Αϊνστάιν είπε ότι η θεωρητική ανακάλυψη ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος που διαδίδεται με την ταχύτητα του φωτός είναι μια από τις μεγαλύτερες κατακτήσεις στην ιστορία της επιστήμης. Μάλιστα οι πρώτοι άνθρωποι που ασχολήθηκαν με το ραδιόφωνο προσπαθούσαν να βρουν μεθόδους δημιουργίας και εντοπισμού ραδιοκυμάτων, την ύπαρξη των οποίων είχε προβλέψει ο Maxwell.

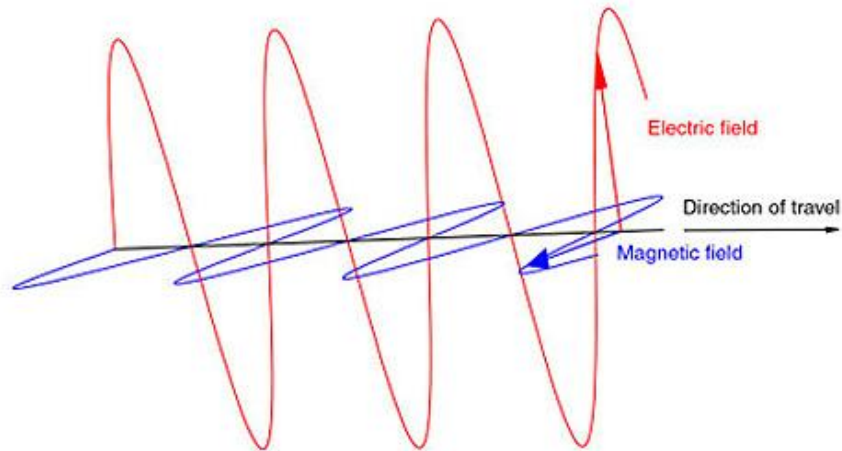
3.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΡΑΝΤΑΡ

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα αποτελείται από δύο στοιχεία: ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο κι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτά τα δύο είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στην διεύθυνση του κύματος. Τα κύματα αυτά έχουν την ίδια συχνότητα και φάση και διαδίδονται προς μια κατεύθυνση, με την ταχύτητα του φωτός, σε μορφή ταλάντωσης.

Σαν “συχνότητα” ορίζεται το πόσες φορές μέσα σ’ ένα δευτερόλεπτο πραγματοποιείται ένας πλήρης κύκλος μιας ταλάντωσης και έχει σαν μονάδα μέτρησης το ‘Hertz’ (από τον Γερμανό φυσικό Heinrich Hertz). Σαν “μήκος κύματος” ορίζεται η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών μιας ταλάντωσης. Το μήκος κύματος εξαρτάται άμεσα απ’ το πραγματικό μέγεθος της κεραίας που εκπέμπει και συνεπώς είναι αλληλοεξαρτώμενα μεγέθη. Αν αυξηθεί η συχνότητα, το μήκος κύματος θα μικρύνει κι αντίστοιχα αν μειωθεί η συχνότητα, το μήκος κύματος θα μεγαλώσει.



An Electromagnetic Wave



Εικόνες 3.1 : Όπως φαίνεται στα σχήματα, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από δύο μεταβαλλόμενα στοιχεία κάθετα μεταξύ τους, ένα ηλεκτρικό (κόκκινο) και ένα μαγνητικό πεδίο (μπλε).

Η λέξη ραντάρ είναι σύντμηση της έκφρασης: Ράδιο Εντοπισμός Και Αποστασιομέτρηση (Radio Detection And Ranging: RADAR).

Ο τρόπος λειτουργίας ενός ραντάρ είναι σχετικά απλός. Η κεραία τους εκπέμπει μια δέσμη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σχετικά υψηλής συχνότητας, η οποία μόλις «χτυπήσει» κάποιο μεταλλικό αντικείμενο αντανακλάται και γυρνάει πίσω στο ραντάρ. Μετρώντας τον χρόνο που μεσολαβεί υπολογίζεται η απόσταση του μεταλλικού αντικειμένου και η διεύθυνσή του.

Συγκεκριμένα η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια παράγεται από ταλαντωτή ή ενισχυτή στον πομπό, αποκτά κυματομορφή (waveform) συγκεκριμένου τύπου κι εκπέμπεται απ' την κεραία του ραντάρ. Οι αντανακλάσεις της ακτινοβολίας αυτής συλλέγονται από κοινή ή διαφορετική κεραία και τροφοδοτούν το σύστημα εντοπισμού ενέργειας του ραντάρ ή δέκτη. Ο δέκτης επεξεργάζεται το σήμα αντανάκλασης για να εξάγει την παρουσία ενός στόχου, αλλά και δεδομένα απόστασης, γωνιακής θέσης και σχετικής ταχύτητας.

Στα παλμικά ραντάρ η απόσταση του στόχου υπολογίζεται με μέτρηση του χρόνου μεταξύ της εκπομπής ραντάρ και λήψης της αντανάκλασης. Η εκπομπή στενής δέσμης ραντάρ επιτρέπει τον προσδιορισμό της διεύθυνσης άφιξης του σήματος αντανάκλασης, απ' την οποία εξάγεται η γωνιακή θέση του στόχου. Εφόσον υφίσταται σχετική κίνηση μεταξύ ραντάρ και στόχου, η φέρουσα συχνότητα του σήματος αντανάκλασης θα υποστεί μετατόπιση ανάλογη της ακτινικής (radial) ταχύτητας του στόχου επιτρέποντας τον υπολογισμό της. Πρόκειται για το φαινόμενο "Doppler", στο οποίο στηρίζεται η διάκριση κινούμενων στόχων από στατικά αντικείμενα.

Τα ραντάρ διακρίνονται γενικά σε παλμικά και Συνεχούς Κύματος (Continuous Wave: CW). Τα τελευταία εκπέμπουν και λαμβάνουν αδιάκοπα με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η απόλυτη προστασία του δέκτη απέναντι στην είσοδο του ισχυρότατου εκπεμπόμενου σήματος, αλλά και θορύβου από τον πομπό εφόσον χρησιμοποιείται μοναδική κεραία. Όταν ο πομπός ενός παλμικού ραντάρ εκπέμπει, η λήψη του δέκτη διακόπτεται από ειδική διάταξη (duplexer).

Τα παλμικά ραντάρ αποδίδουν γενικά ικανοποιητικά απέναντι σε αεροσκάφη με υπόβαθρο τον ουρανό, αλλά για τον εντοπισμό εναέριων στόχων σε χαμηλότερο ύψος πτήσης του ραντάρ, η δέσμη του τελευταίου στρέφεται προς το έδαφος. Έτσι το σύστημα λαμβάνει τις ισχυρές αντανakλάσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από το έδαφος, οι οποίες αποκαλούνται "clutter" και κατά κανόνα δεν επιτρέπουν σε παλμικά ραντάρ να διακρίνουν εναέριους στόχους όταν εκτελούν κατόπτρευση (look-down). Το κύριο αντικείμενο της επεξεργασίας σήματος ραντάρ είναι η απόρριψη του "clutter", το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει επίσης αντανakλάσεις βροχής ή κινουμένων στόχων στο έδαφος. Τα ραντάρ παράγουν επίσης θερμικό θόρυβο, η παρουσία του οποίου είναι μόνιμη. Ο θόρυβος θέτει το θεμελιακό όριο εντοπισμού (detection threshold) οποιουδήποτε ραντάρ. Τέλος, τα ραντάρ δέχονται ηλεκτρονικές επιδράσεις (interference) και εχθρικές παρεμβολές (jamming). Κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας μπορούν να περιορίσουν τις συνέπειες των παρεμβολών. Μετά την απόρριψη του "clutter" και των παρεμβολών, εφόσον ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι επαρκής, επιτυγχάνεται ο υπολογισμός της απόστασης ή και της ταχύτητας του στόχου.



Εικόνα 3.2α : Ένα τυπικό σύστημα ραντάρ με περιστρεφόμενη κεραία. Μία πολύ συνηθισμένη τακτική για την αύξηση της εμβέλειας εντοπισμού είναι η ανύψωση της κεραίας σε μεγάλο ύψος, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερο εύρος θέσης προς τον ορίζοντα.



Εικόνα 3.2β : Ραντάρ με περιστρεφόμενη κεραία πάνω σ' ερπυστριοφόρο.

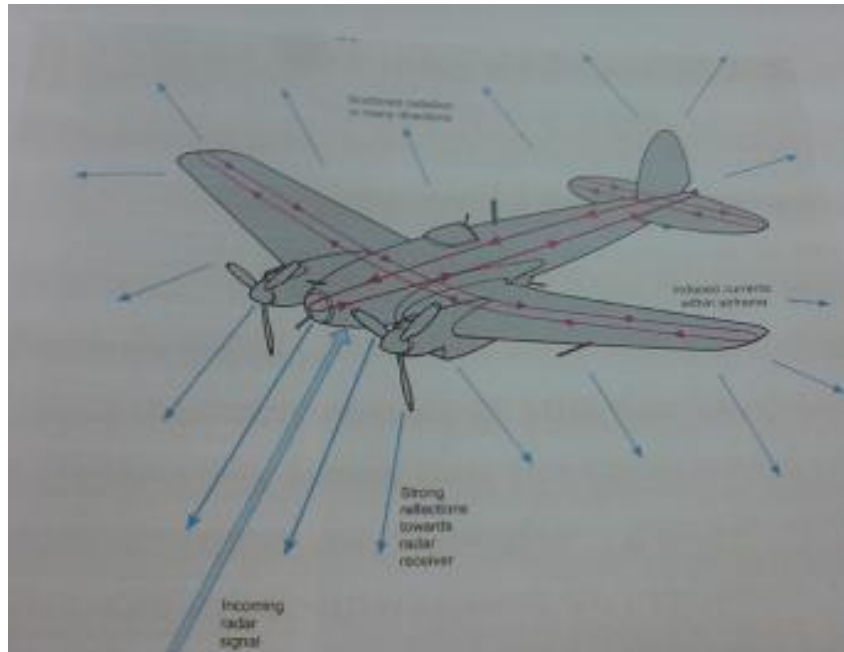
3.3 ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Όταν κάποιοι Βρετανοί επιστήμονες άρχισαν να εργάζονται πάνω στα πρώτα ραντάρ, το 1935 αμέσως συνειδητοποίησαν ότι πάρα πολύ μεγάλη σημασία είχε η δυνατότητα αντανάκλασης στόχου. Για να' ναι αποτελεσματική η καινούρια μέθοδος εύρεσης αεροσκαφών, θα έπρεπε η αντανάκλαση του στόχου να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη.

Επίσης θα έπρεπε η δέσμη ακτινοβολίας του ραντάρ να είναι όσο το δυνατόν ισχυρότερη, λόγω της τεχνολογίας που χρησιμοποιούνταν τότε κι η χρησιμοποιούμενη συχνότητα θα έπρεπε να είναι τέτοια ώστε τ' αεροσκάφη – στόχοι ν' αντανακλούν πίσω στο ραντάρ έντονα.

Η χρήση της λέξης “αντανακλούν” αποδίδει απλοποιημένα μια πολύ περιπλοκότερη διαδικασία. Η δέσμη του ραντάρ δεν αναπηδά απλώς όπως μια μπάλα πάνω σ' έναν τοίχο. Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα συναντήσει έναν αγωγό, όπως ένα σύρμα, δημιουργούνται μέσα στον αγωγό ηλεκτρικά και μαγνητικά ρεύματα με την ίδια συχνότητα. Μ' αυτόν τον τρόπο λειτουργεί μια κεραία ραδιόφωνου, δηλαδή το ηλεκτρομαγνητικό κύμα απ' τον πομπό δημιουργεί ένα πολύ μικρό ρεύμα στην κεραία του δέκτη που στη συνέχεια ο δέκτης ενισχύει. Στον πομπό η διαδικασία είναι αντίστροφη, όπου η κεραία του τροφοδοτείται από ένα ηλεκτρικό ρεύμα με κατάλληλη συχνότητα. Το ρεύμα αυτό στην συνέχεια δημιουργεί ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που εκπέμπεται από την κεραία. Συνεπώς η διαδικασία αυτή «λειτουργεί» αμφίδρομα, όπου ένα ηλεκτρικό ρεύμα σ' έναν αγωγό μπορεί να δημιουργήσει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα κι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα μπορεί να δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό ρεύμα σ' έναν αγωγό.

Αυτή είναι κι η βασική αρχή του φαινομένου που προκαλεί την αντανάκλαση από ένα αεροσκάφος ή οποιοδήποτε άλλου μεταλλικού αντικειμένου απ' την ακτινοβολία ενός ραντάρ. Όταν η ακτινοβολία του ραντάρ «χτυπήσει» τον στόχο, θα δημιουργηθούν μέσα του ηλεκτρικά και μαγνητικά ρεύματα που στη συνέχεια με τη σειρά τους θα δημιουργήσουν ένα άλλο ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το οποίο είναι κι αυτό που «βλέπει» το ραντάρ στην πορεία σαν αντανακλώμενη ηχώ.



Εικόνα 3.3 : Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας της αντανάκλασης που δημιουργείται προς κάθε κατεύθυνση, όταν ένα κύμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας «χτυπήσει» ένα αεροσκάφος.

3.4 ΠΡΩΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΝΑΝΤΙΟΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

Απ' τις μελέτες τους πάνω στις κεραίες, οι μηχανικοί που εξέλιξαν τα πρώτα αγγλικά ραντάρ ήξεραν ήδη ότι ένα σύρμα το μήκος του οποίου αντιστοιχούσε στο μισό του μήκους κύματος της ακτινοβολίας του ραντάρ, θ' αντανakλούσε έντονα την ακτινοβολία αυτή. Αν υποθετηθεί ότι η πτέρυγα ενός αεροσκάφους θα συμπεριφερόταν με τον ίδιο τρόπο όπως ένα απλό σύρμα, αυτό θα σήμαινε ότι η καλύτερη χρησιμοποιούμενη συχνότητα θα έπρεπε να είναι αυτή, της οποίας το μήκος κύματος της είναι διπλάσιο απ' το μήκος της πτέρυγας ενός τυπικού βομβαρδιστικού αεροσκάφους της περιόδου εκείνης.

Την εποχή εκείνη η τελευταία γενιά γερμανικών βομβαρδιστικών ξεκινούσε πτητικές δοκιμές και τ' αντίστοιχα βρετανικά βομβαρδιστικά ετοιμαζόντουσαν για τις Πρώτες πτήσεις και κατ' αυτόν τον τρόπο υπήρχε μια πρώτη εκτίμηση για τις διαστάσεις του εμπετάσματος των φτερών των πιθανών στόχων. Αν και μια επόμενη γενιά βαρύτερων βομβαρδιστικών με εμπέτασμα περίπου 30 m μπορούσε ήδη να προφητευτεί, οι μηχανικοί των

ραντάρ αποφάσισαν ότι ένα μήκος 25 m ήταν μια καλή συμβιβαστική λύση και έτσι συντόνισαν τα μηχανήματα τους σε συχνότητα 6 MHz που έδινε μήκος κύματος 50 m.

Δυστυχώς η συχνότητα αυτή αποδείχτηκε αναξιόπιστη λόγω διάθλασης στην ιονόσφαιρα. Έτσι δοκιμάστηκαν συχνότητες των 11.5 MHz (26 m) και αργότερα των 23 MHz (13 m), όπου τελικά η τελευταία κρίθηκε ικανοποιητική και προτιμήθηκε σαν βάση για το πρωτοποριακό την εποχή εκείνη δίκτυο ραντάρ με τη ονομασία “Chain Home” που στηνόταν κοντά στις νότιες ακτές της Αγγλίας.

Η χρήση συχνότητας μεγέθους 23 MHz ήταν υπερβολικά συντηρητική θεωρητικά. Πρακτικά όμως, ήταν σχεδόν ιδανική καθώς οι πομποί και οι δέκτες που απαιτούνταν, μπορούσαν ν’ αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας τις γνώσεις απ’ την ήδη υφισταμένη τεχνολογία βραχέων κυμάτων του ραδιόφωνου. Οι ενθουσιώδεις ραδιοερασιτέχνες που σταθερά μείωναν τα χρησιμοποιούμενα μήκη κύματος (μεγαλύτερες συχνότητες) απ’ τα 80 m (3.75 MHz) στα 40 m (7.5 MHz) και μετέπειτα στα 20 m (14 MHz) κατά την διάρκεια της μεσοπολεμικής εποχής του ραδιοφωνικού πειραματισμού, αποδείχτηκαν μια πολύτιμη πηγή καλά εκπαιδευμένου ανθρώπινου δυναμικού για την επάνδρωση των σταθμών ραντάρ του δικτύου “Chain Home”, καθιστώντας το ικανό για λειτουργία όλη την διάρκεια του 24ωρου κατά τα πρώτα στάδια του Β’ Παγκοσμίου Πολέμου.



Εικόνα 3.4 : Τμήμα των πανύψηλων κεραιών ραντάρ του δικτύου “Chain Home” που ήταν στην ουσία το πρώτο επιχειρησιακό σύστημα ραντάρ αεράμυνας στον κόσμο. Συνολικά υπήρχαν δεκάδες τέτοιες κεραιές κατά μήκος των Βρετανικών ακτών στη διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου.

Κατά την διάρκεια του Πολέμου, οι μηχανικοί σε Αγγλία και Γερμανία ανακάλυψαν ότι περαιτέρω αύξησης στην χρησιμοποιούμενη συχνότητα είχαν ελάχιστη επίδραση στην ανίχνευση του στόχου. Όμως η αυξημένη συχνότητα (μικρότερο μήκος κύματος) δημιουργούσε μια στενότερη δέσμη ακτινοβολίας από ένα δεδομένο μήκος κεραιάς. Έτσι η χρήση ακόμη υψηλότερων συχνοτήτων αποδείχτηκε το κλειδί στην επίτευξη βελτιωμένης ακρίβειας και ευκρίνειας. Μετά την λήξη του πολέμου οι περιορισμοί ασφαλείας πάνω στην τεχνολογία ραντάρ που είχε αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό με τεράστιο όγκο δεδομένων, χαλάρωσαν αρκετά επιτρέποντας έτσι την έκδοση πολλών βιβλίων και εγχειριδίων πάνω στο θέμα.

3.5 ΔΙΑΤΟΜΗ ΙΧΝΟΥΣ PANTAP (Radar Cross Section)

Μελετώντας τα εγχειρίδια αυτά γίνεται αμέσως αντιληπτό το πόσο πολύ είχαν προχωρήσει οι μηχανικοί του 1940 στην μελέτη της περίπλοκης διαδικασίας με την οποία η ακτινοβολία ενός ραντάρ αντανακλάται από ένα αεροσκάφος. Ακολουθούν κάποια αποσπάσματα από τα εγχειρίδια αυτά τα οποία σε γενικές γραμμές ισχύουν μέχρι και σήμερα: “Είναι ιδιαίτερα

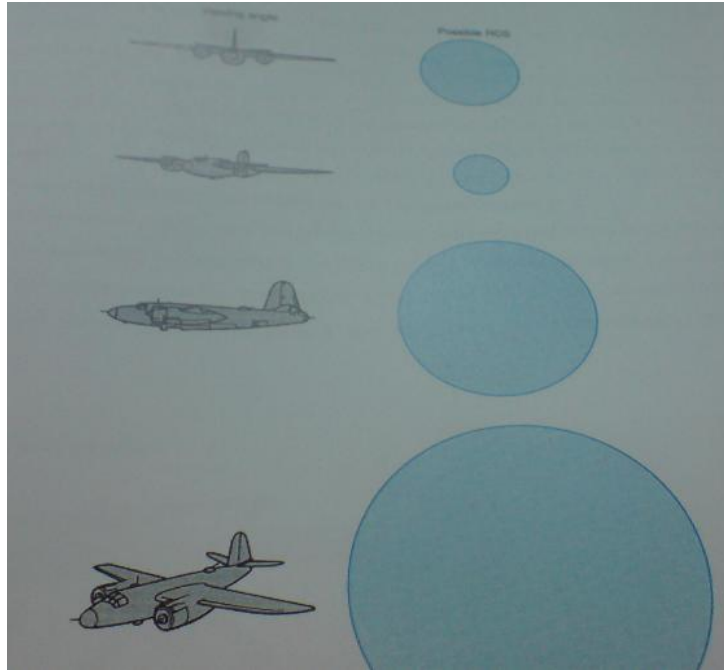
σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε πως η διατομή ενός δεδομένου στόχου θα εξαρτάται όχι μόνο από το μήκος κύματος αλλά και από την γωνιά από την οποία ο στόχος θα φωτίζεται απ' το ραντάρ (γωνιά θέασης)”, “Οι διακυμάνσεις που εμφανίζονται στο ίχνος που αφήνει ένα αεροσκάφος στο ραντάρ σε σχέση με την γωνιά θέασης του οφείλονται στις παρεμβολές από αντανακλώμενα ηλεκτρομαγνητικά κύματα από διαφορετικά μέρη του ίδιου αεροσκάφους ... μονό σε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις μπορεί το ίχνος να υπολογιστεί ακριβώς , για τους περισσότερους στόχους πρέπει να εξάγεται συμπέρασμα από τα δεδομένα του ραντάρ”.

Για να καθοριστεί το ίχνος ενός αεροσκάφους, δηλαδή η διατομή ραντάρ του (Radar Cross Section), θα πρέπει να υπολογιστεί το μέγεθος μιας φανταστικής σφαίρας, η οποία θ' αντιπροσωπεύει το ίδιο πόσο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας με το αεροσκάφος - στόχο. Το R.C.S (σε τετραγωνικά μέτρα) θα είναι η περιοχή ενός κύκλου με την ίδια διάμετρο που έχει η φανταστική αυτή σφαίρα.

Στην δεκαετία του 1940 είχε υπολογιστεί ότι ένα ελαφρύ αεροσκάφος Taylorcraft είχε R.C.S. 16m^2 , ενώ ένα βομβαρδιστικό B-17 είχε R.C.S. 74m^2 . Όμως μονό μια πρόχειρη εκτίμηση του R.C.S. μπορεί να γίνει με υπολογισμό δεδομένων . Ακόμη κι αν κάποιος ολοκληρώσει τους υπολογισμούς για το πραγματικό αεροσκάφος, η σύγκριση του υπολογισμένου με το παρατηρούμενο R.C.S. θα είναι εξαιρετικά δύσκολη λόγω της μεγάλης επίδρασης της γωνιάς θέασης του στόχου.

3.6 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΟΥ R.C.S

Για την επαλήθευση της υπόθεσης αυτής έγιναν δοκιμές μ' ένα ελαφρύ δίκινητήριο ελικοφόρο βομβαρδιστικό B-26 Invader. Σε παρά πολλές περιπτώσεις το επίπεδο της ακτινοβολίας του ραντάρ που αντανακλώταν μπορούσε να διαφέρει κατά 15 dB όταν η γωνιά θέασης του στόχου άλλαζε κατά μόλις $1/3$ μιας μοίρας .



Εικόνα 3.5 : Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών που παρουσιάζει η διατομή ραντάρ R.C.S. ενός αεροσκάφους ανάλογα με την γωνία θέασής του απ' το ραντάρ.

Το decibel (dB) είναι μια μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται κατά κόρον στα ηλεκτρονικά συστήματα. Το «κλειδί» για την καλύτερη κατανόηση της μονάδας αυτής είναι να γίνει αντιληπτό ότι περιγράφει μια αναλογία μεταξύ δύο τιμών κι ότι μεταβάλλεται λογαριθμικά και όχι αριθμητικά. Αυτό σημαίνει για παράδειγμα ότι μια αύξηση 3 dB αντιστοιχεί σε αριθμητικό διπλασιασμό, ενώ μια αύξηση 10 dB αντιστοιχεί σε δεκαπλάσια αριθμητική αύξηση. Έτσι τα πειράματα με το B-26 έδειξαν ότι μια μεταβολή κατά 1/3 της μοίρας μπορούσε να επηρεάσει την μέτρηση του R.C.S. κατά έναν συντελεστή επί 32. Πειράματα που πραγματοποιήθηκαν μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο έδειξαν ότι στην πράξη το R.C.S. αληθινών στόχων μπορεί ν' αλλάζει μέχρι και κατά 80 dB.

Ένας παράγοντας που επίσης επηρέαζε ιδιαίτερα το R.C.S. ήταν η θέση της έλικας, ενώ κι η περιστροφή της επηρέαζε άμεσα την επιστροφή της ακτινοβολίας. Τα πειράματα με το B-26 έδειξαν ότι το κλείσιμο της δεξιάς μηχανής του, μείωνε τα R.C.S. στον δεξιό τομέα του αεροσκάφους (ώρα 2 με ώρα 5) κατά ένα τεράστιο νούμερο. Παρά πολλές έρευνες κατά τις δεκαετίες

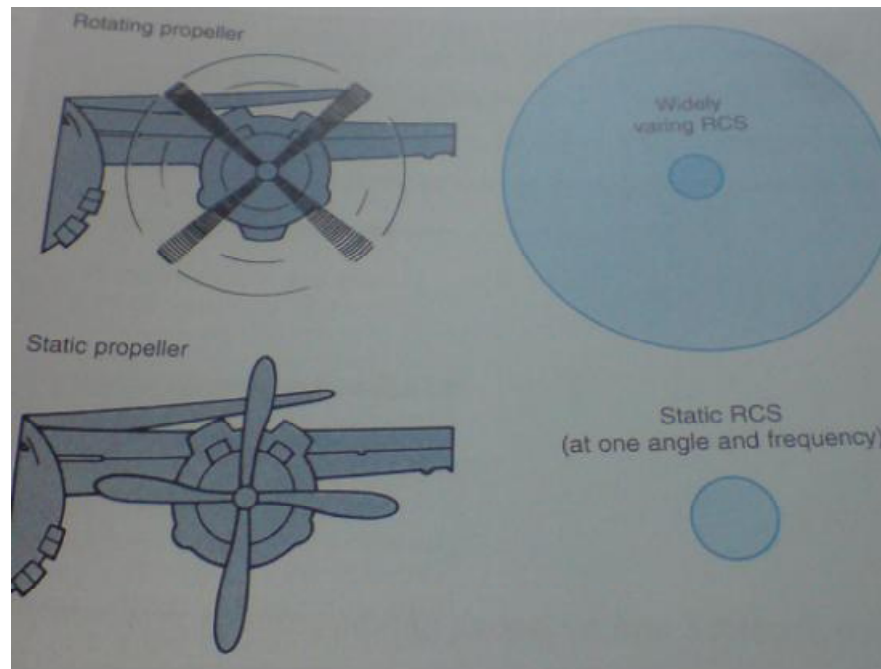
του '50 και '60 αφιερώθηκαν στην μελέτη των μηχανισμών που επηρεάζουν την αντανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από διάφορα αντικείμενα.

Πολλά από τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών παραμένουν απόρρητα μέχρι και σήμερα, αλλά από λίγες διαθέσιμες πληροφορίες που υπάρχουν από διαρροές φαίνεται ότι παρ' όλο που το φαινόμενο που προκαλούσε την αντανάκλαση της ακτινοβολίας από διάφορα αντικείμενα γινόταν καλύτερα κατανοητό, το πρόβλημα του υπολογισμού και πρόβλεψης του R.C.S. παρέμενε άλυτο.

Όμως δύο γεγονότα της περιόδου εκείνης συνέβαλαν στο επόμενο μεγάλο άλμα της τεχνολογίας αυτής: το πρώτο ήταν ο πόλεμος του Βιετνάμ, όπου για πρώτη φορά αμερικανικά μαχητικά αεροσκάφη βρέθηκαν αντιμέτωπα με σύγχρονη αντιαεροπορική άμυνα κατευθυνόμενη με ραντάρ. Το δεύτερο γεγονός ήταν η ανακάλυψη του υπέρ-υπολογιστή. Τα ογκώδη αυτά κι ασύλληπτα γρήγορα για την εποχή μηχανήματα αναπτύχθηκαν για δύο βασικές εφαρμογές: την διάσπαση κωδικών κρυπτογράφησης και την εξομοίωση των εξαιρετικά περίπλοκων διαδικασιών κι αντιδράσεων που λαμβάνουν μέρος στην καρδιά μιας πυρηνικής ή θερμό-πυρηνικής έκρηξης. Μόλις αρκετά απ' αυτά τα μηχανήματα κατασκευάστηκαν που κάλυπταν μερικώς τις προαναφερθείσες ανάγκες, οι μηχανικοί των ραντάρ χρησιμοποιούσαν τις τεράστιες δυνατότητες τους για την επίλυση των προβλημάτων της πρόβλεψης του R.C.S..

Για να κατανοηθούν οι διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους ένα αεροσκάφος ή ένας πύραυλος αντανακλούν την ακτινοβολία του ραντάρ, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην Αρχή που διατυπώθηκε νωρίτερα: "Όταν η ακτινοβολία του ραντάρ «χτυπήσει» τον στόχο θα δημιουργηθούν μέσα σ' αυτόν ηλεκτρικά και μαγνητικά ρεύματα, τα οποία στην συνέχεια θα δημιουργήσουν ένα άλλο ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Αυτό το τελευταίο είναι κι αυτό που τελικά «βλέπει» το ραντάρ μετά σαν αντανακλώμενη ηχώ".

Αυτό είναι που οι μηχανικοί stealth και ραντάρ ονομάζουν "διασπορά" (ή "διασκορπισμός"), με το νέο κύμα να ονομάζεται "πεδίο διασποράς". Η τεχνολογία stealth είναι η τέχνη του ελέγχου της διασποράς αυτής έτσι ώστε να περιορίζεται στο ελάχιστο η ακτινοβολία που επιστρέφει στο ραντάρ, άρα να περιορίζεται αντίστοιχα και το ίχνος του αεροσκάφους.



Εικόνα 3.6 : Στα ελικοφόρα αεροσκάφη η θέση κι η κίνηση της έλικας επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό το R.C.S..

3.7 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΗΡΕΑΣΜΟΥ ΤΟΥ R.C.S.

3.7.1 Διασπορά (Scattering)

Το μήκος κύματος ενός κύματος ραντάρ μπορεί να έχει 3 πιθανές σχέσεις με τις διαστάσεις του στόχου: μπορεί να είναι μεγαλύτερο, να έχει περίπου τις ίδιες διαστάσεις ή να είναι μικρότερο. Σε κάθε περίπτωση θα υπάρχει διαφορετικός τύπος διασποράς:

A) Αν είναι πολύ μεγαλύτερο από το αεροσκάφος-στόχο, τότε όλα τα μέρη του φωτίζονται απ' το ίδιο μέρος της ακτινοβολίας και το αποτέλεσμα είναι γνωστό σαν διασπορά "Rayleigh". Υπό τέτοιες συνθήκες μόνο το συνολικό μέγεθος του στόχου είναι σημαντικό και το R.C.S. είναι σχετικά ανάλογο με το μέγεθος του αεροσκάφους. Η χαμηλότερη συχνότητα που συνήθως χρησιμοποιείται στα στρατιωτικά ραντάρ είναι περίπου 100 MHz, αυτό σημαίνει ότι το μεγαλύτερο μήκος κύματος που θα ληφθεί από ένα μαχητικό είναι περίπου 3 m. Στις περισσότερες περιπτώσεις το μέγεθος αυτό

είναι πολύ μικρότερο από ένα αεροσκάφος, έτσι η διασπορά Rayleigh παίζει ελάχιστη σημασία αν και μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο όταν θέλουμε να προβλέψουμε το R.C.S. μικρών μερών όπως στόμια πυροβόλων, εισαγωγές αέρα, πλέγματα και προεξοχές.

B) Στη περίπτωση που το μήκος κύματος είναι κοντά στις διαστάσεις του στόχου τότε παρατηρείται συντονισμένη διασπορά. Η συμπεριφορά του στόχου κάτω από τέτοιες συντονισμένες ή σχεδόν συντονισμένες περιπτώσεις (γνωστές σαν “περιοχή Mie”) είναι και η πιο δύσκολη να προβλεφθεί. Η συνολική γεωμετρία του στόχου είναι πολύ σημαντικά καθώς κάθε μέρος του επηρεάζει όλα τα υπόλοιπα μέρη. Συντονισμός μπορεί να προκληθεί μεταξύ των αντανακλώμενων κυμάτων και των κυμάτων που «έρπονται» πάνω στο αεροσκάφος. Το R.C.S. (“περιοχής Mie”) που προκύπτει εξαρτάται πάρα πολύ απ’ την γωνιά θέασης του στόχου και μπορεί να έχει μαζικές διακυμάνσεις.

Γ) Όταν το μήκος κύματος είναι πολύ μικρότερο απ’ τον στόχο, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών μερών του είναι ελάχιστες κι ο στόχος μπορεί να παρομοιαστεί σαν μια συλλογή ανεξάρτητων κέντρων διασποράς της ακτινοβολίας. Το εισερχόμενο κύμα ακτινοβολίας λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο όπως το φως με τους νόμους της οπτικής, έτσι οι μηχανικοί της τεχνολογίας stealth χρησιμοποιούν συσκευές Γεωμετρικής Οπτικής (Geometric Optics ή G.O.) για να μπορέσουν να υπολογίσουν το R.C.S..

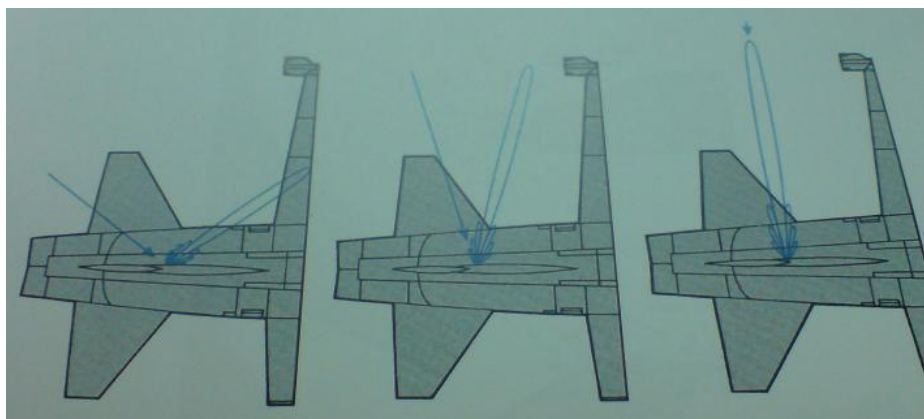
Ο μικρότερος στρατιωτικός στόχος για τα περισσότερα ραντάρ θα είναι μαχητικό jet ή ένας πύραυλος cruise. Ένα ελαφρύ μαχητικό έχει σύνηθες μήκος περίπου 14 m ενώ ένας πύραυλος περίπου 6,5 m. Τα κατευθυνόμενα εναντίον τους σήματα ενός ραντάρ θα έχουν μήκος κύματος που θα ποικίλλει μεταξύ 2 cm και 3 cm. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο στόχος θα έχει 10 φορές μεγαλύτερο μήκος απ’ το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, κάνοντας έτσι την υψηλή συχνότητα διασποράς το πιο σημαντικό στοιχείο του συνολικού R.C.S..

3.7.2 Αλληλεπιδράσεις

Με την υψηλής συχνότητας διασπορά κάθε μέρος του στόχου διασπείρει ενεργεία ανεξάρτητα από την υπόλοιπη δομή του αεροσκάφους. Αυτό θεωρητικά θα έκανε ευκολότερο να εκτιμηθεί το αποτέλεσμα για κάθε μέρος κι έπειτα μέσω ενοποίησης, το πεδίο διασποράς και τελικά το R.C.S. του συνολικού στόχου. Στην πράξη όμως η αλληλεπίδραση μεταξύ όλων των ξεχωριστών διασπορέων που απαρτίζουν ένα περίπλοκο σχήμα όπως αυτό ενός αεροπλάνου, είναι τόσο μπερδεμένη και περίπλοκη που απαιτεί την χρήση πανίσχυρων υπολογιστών.

Όπως μια κεκλιμένη επιφάνεια σε ένα αεροπλάνο θα δημιουργήσει μια αντανάκλαση στο φως του ηλίου, έτσι αυτή η ίδια επιφάνεια θα δημιουργήσει μια παρόμοια αντανάκλαση του ραντάρ. Αυτό στην γλώσσα της ορολογίας ονομάζεται εκτιμώμενη αντανάκλαση και είναι σημαντικό στοιχείο του R.C.S.. Όταν ένα κύμα ραντάρ αντανακλάται από μία επίπεδη επιφάνεια (άλλη μια μορφή εκτιμώμενης αντανάκλασης) συμπεριφέρεται σαν μία ακτίνα φωτός που «χτυπάει» έναν καθρέφτη ή σαν ένα μπαλάκι του τένις που χτυπάει στον τοίχο. Η γωνιά πρόσπτωσης θα είναι ίση με την γωνία αντανάκλασης.

Η αντανακλώμενη ενεργεία δεν περιορίζεται σε μια μόνο ακτίνα ή λοβό. Η διάθλαση έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία πλευρικών λοβών που στέλνουν μικρότερα ποσά ενέργειας σ' έναν αριθμό κατευθύνσεων ελαφρά μετατοπισμένων απ' τον άξονα του κύριου λοβού.

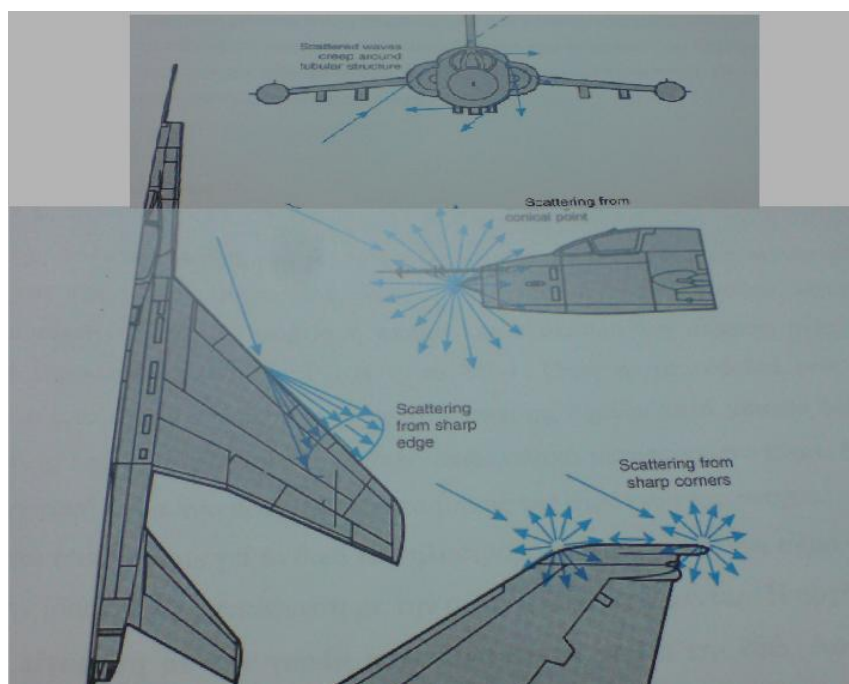


Εικόνα 3.7 : Σχηματική απεικόνιση μερικών παραδειγμάτων αντανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ενός ραντάρ από μία μεταλλική επιφάνεια ενός αεροσκάφους.

3.7.3 Διάθλαση

Η απλή αυτή θεωρία καταρρίπτεται τελείως όταν υπάρχουν διακεκομμένες επιφάνειες όπως οι άκρες, οι κορυφές, οι γωνίες και οι αλλαγές στην κλίση ή την καμπυλότητα. Στην περίπτωση αυτή το ανακλώμενο πεδίο είναι το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας που λέγεται «Διάθλαση». Η διάθλαση εξαρτάται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες:

- 1) από το σχήμα του συγκεκριμένου στοιχείου που εξετάζουμε κάθε φορά,
- 2) την κατεύθυνση από την οποία προέρχεται η ακτινοβολία,
- 3) την θέση του παρατηρητή,
- 4) την πόλωση της ακτινοβολίας του ραντάρ.



Εικόνα 3.8 : Παράδειγμα διασποράς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όταν αυτή προσκρούει σε διάφορα τυπικά σημεία ενός αεροσκάφους.

Για να υπολογίσουν το ζητούμενο αποτέλεσμα οι μηχανικοί βασίζονται στην γεωμετρική θεωρία διάθλασης (G.T.D.).

Τα επιφανειακά ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ρέουν γύρω από την δομή ενός αεροπλάνου ή πυραύλου που δημιουργούνται σαν αποτέλεσμα της ακτινοβολίας ραντάρ που δέχεται ο στόχος, θέτουν περαιτέρω προβλήματα σε έναν σχεδιαστή αεροσκαφών stealth. Τα επιφανειακά αυτά κύματα παρουσιάζονται σε διάφορες μορφές. Οι στρογγυλοποιημένοι στόχοι όπως οι κύλινδροι ή οι σφαίρες έχουν πρόβλημα με τα έρποντα κύματα. Τα κύματα αυτά ρέουν γύρω από την επιφάνεια του στόχου. Αρχίζοντας από το σημείο όπου η ακτινοβολία μόλις «ξύνει» την άκρη της κεκλιμένης επιφάνειας (γνωστό ως “σκιώδες όριο”), τα κύματα έρπουν γύρω-γύρω μέχρι την πλευρά που δεν φωτίζεται από το ραντάρ και μετά επιστρέφουν ξανά στην αντίθετη άκρη. Μόλις φτάσουν εκεί ξανά εκπέμπουν την ενέργεια που δέχτηκε ο στόχος. Όμως αν το αντικείμενο γύρω από το οποίο έρπουν είναι μεγαλύτερο κατά 10-15 φορές από την διάμετρο του, τότε έχουν ελάχιστη επίδραση.

3.7.4 Συρόμενα κύματα

Πολλά περισσότερα προβλήματα δημιουργούν κύματα που είναι γνωστά ως “συρόμενα κύματα”. Αυτά επηρεάζουν αντικείμενα όπως τους σκελετούς των πυραύλων, εξωτερικές δεξαμενές καυσίμων, εξωτερικά φορτία ή ακόμη και ολόκληρη την άτρακτο ενός λεπτού αεροδυναμικά αεροσκάφους σαν το F-104 ή το TR-1. Όταν η ακτινοβολία ενός ραντάρ χτυπήσει έναν τέτοιο στόχο σε μικρές γωνίες πρόσπτωσης σχεδόν κατά μέτωπο, δηλαδή θα δημιουργεί αυτό που οι μηχανικοί ονομάζουν: επιφανειακά μεταφερόμενο κύμα. Αυτό είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που προχωράει κατά μήκος της ατράκτου του στόχου.

Καθώς κινείται έτσι δημιουργεί το δικό του ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, ένα σήμα δηλαδή που κατευθύνεται στην ίδια γενική κατεύθυνση με την ακτινοβολία του ραντάρ. Η αρχή: “Η γωνιά πρόσπτωσης θα είναι ίση με την γωνία αντανάκλασης” ισχύει κι εδώ. Αφού λοιπόν το αντανακλώμενο αυτό σήμα με την κίνηση του αυτή κατευθύνεται μακριά από το ραντάρ δεν έχει καμία επίδραση στο R.C.S. του στόχου και δεν αποτελεί πρόβλημα. Όμως το

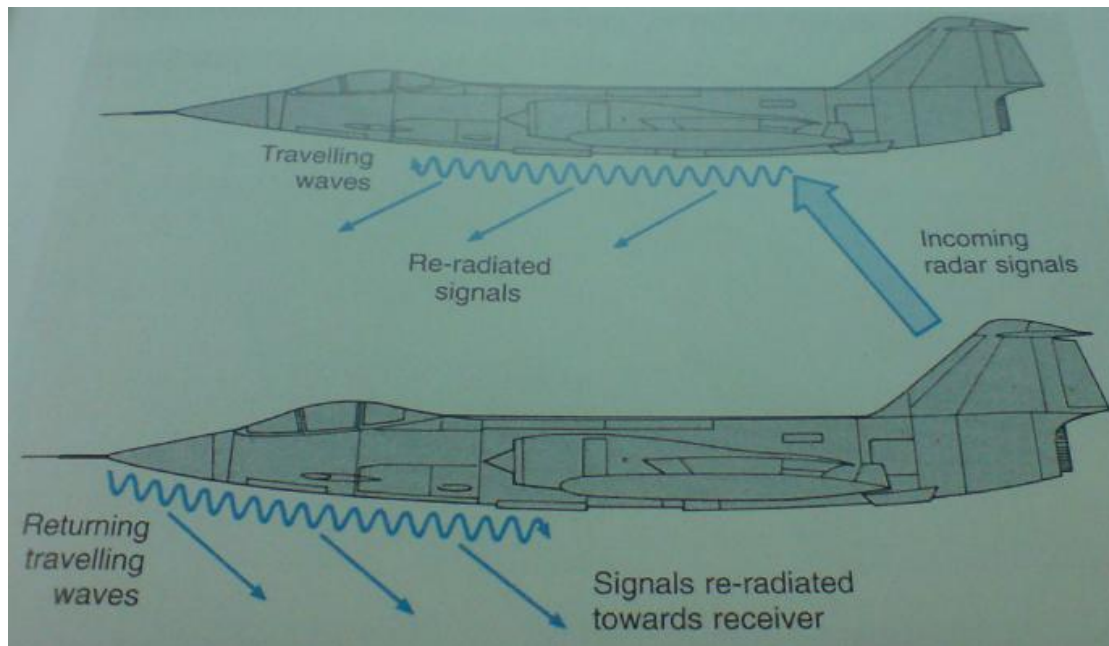
πρόβλημα εμφανίζεται όταν το κύμα αυτό φτάσει στην άκρη του αντικειμένου στο οποίο κινείται. Καθώς δεν έχει που να πάει, γυρίζει πίσω και κινείται στην αντίθετη πάλι κατά μήκος της ατράκτου και πάλι εκπέμποντας την ακτινοβολία του. Έτσι στην επιστροφή η ενέργεια που έστειλε το ραντάρ επιστρέφει πίσω στην αρχική πηγή μεγαλώνοντας το R.C.S. του στόχου.

Στην περίπτωση μια ατράκτου αεροσκάφους που φωτίζεται από τον μπροστινό τομέα, παρόμοια κύματα επιφάνειας θα οργανωθούν. Καθώς αυτά θα ταξιδεύουν μπρος πίσω, μπορεί να συναρτήσουν ασυνέχειες όπως ραφές, χάσματα, αλλαγές στα υλικά επιφάνειας ή ξαφνικές αλλαγές στην μορφή της επιφάνειας.

Από την άποψη της παραδοσιακής εφαρμοσμένης μηχανικής αεροσκαφών, τέτοια χαρακτηριστικά γνωρίσματα είναι κοινά και δεν δημιουργούν κανένα πρόβλημα. Παραδείγματος χάριν, στην δεκαετία του '60 τα καλύτερης ποιότητας MiG-21 ήταν πασίγνωστα για τα μεγάλα χάσματα μεταξύ των μεμονωμένων πάνελ της ατράκτου. Σ' ένα αεροσκάφος stealth όμως τέτοιες ασυνέχειες στην επιφάνεια πρέπει να εξαλειφθούν. Εάν το κύμα επιφάνειας δεν μπορέσει να συνεχίσει κατά μήκος της διαδρομής του, θα αντανakλάσει προς τα πίσω κατά μήκος της ατράκτου, όπως το συρόμενο κύμα προσθέτοντας την δικιά του ανεπιθύμητη συμβολή στο R.C.S. του αεροσκάφους. Όλες οι ασυνέχειες όπως οι άκρες, τα χάσματα και οι γωνίες είναι καλοί διασπορείς της ενέργειας του ραντάρ.

Όταν ένα αεροσκάφος φωτίζεται από τον οπίσθιο τομέα, τα συρόμενα κύματα της ατράκτου μπορούν να γίνουν ένα σημαντικό πρόβλημα. Προωθούμενα κατά μήκος της ατράκτου φθάνουν τελικά στο ρύγχος, όπου αντανakλώνται προς τα πίσω στην άτρακτο προσθέτοντας στο οπίσθιο R.C.S..

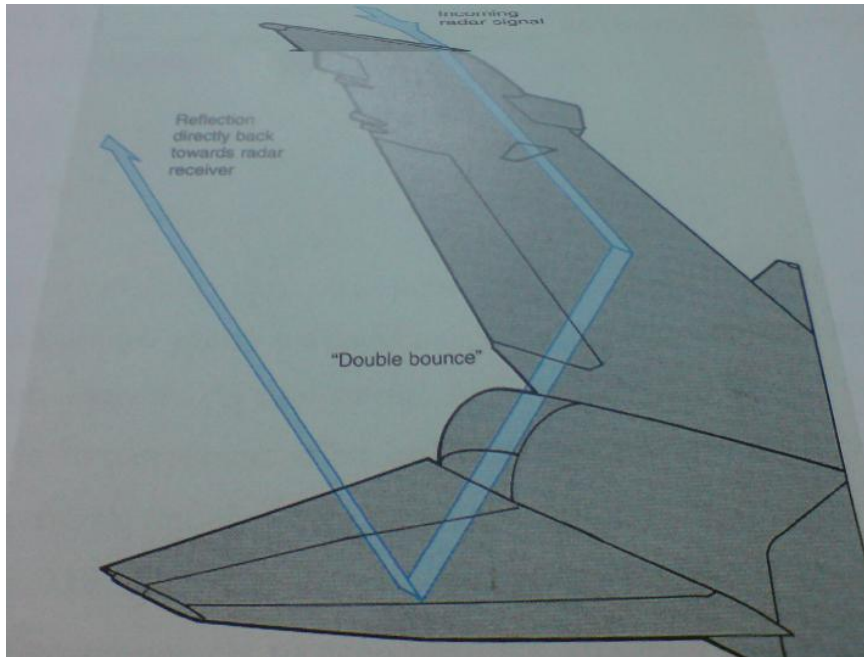
Όπως έχει φανεί ήδη, το μεγαλύτερο τμήμα του R.C.S. προέρχεται από αντανakλαση. Σ' ένα τυπικό μοντέλο αεροσκάφους, τα έρποντα και ταξιδεύοντα κύματα θα αποτελέσουν περίπου 1 m^2 του συνόλου. Δεδομένου ότι τα μετρά μείωσης του RCS στην ουσία μειώνουν την αντανakλαση αυτή, αυτές οι μικρότερες πηγές γίνονται πολύ σημαντικές και έτσι πρέπει να αντιμετωπίζονται.



Εικόνα 3.9 : Σχηματική απεικόνιση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων επιφανείας που δημιουργούνται πάνω στην άτρακτο των αεροσκαφών.

3.7.5 Διέδρες Περιοχές

Ένας πολύ μεγάλος πονοκέφαλος για τους σχεδιαστές stealth είναι η διέδρη γωνιά, μία γωνιά αντανάκλασης που δημιουργείται όποτε δύο μεταλλικές επιφάνειες τοποθετηθούν σε 90^0 γωνία η μία απ' την άλλη. Ένα εισερχόμενο σήμα ραντάρ με την σωστή γωνία που διαμορφώνεται από δύο τέτοιες επιφάνειες θα πραγματοποιήσει ένα ελιγμό διπλής αναπήδησης, η γεωμετρία του οποίου εξασφαλίζει ότι το σήμα θα επιστρέψει ακριβώς στην ίδια κατεύθυνση με το εισερχόμενο. Για να γίνει κατανοητή μια απλή αναλογία, μία μπάλα μπιλιάρδου οδηγείται προς τη γωνία του τραπέζιου. Αν χτυπηθεί προς τη μία πλευρά αλλά όχι προς την τρύπα ακριβώς, αυτή θα χτυπήσει την μία πλευρά, θα στρίψει κατά 90^0 , θα χτυπήσει στην άλλη πλευρά και κάνοντας "σπόντα" θα επιστρέψει προς την αρχική κατεύθυνση απ' όπου χτυπήθηκε και ξεκίνησε. Οι δύο επιφάνειες ενός ανακλαστήρα γωνιών δεν χρειάζονται να συναντιούνται, χρειάζεται μόνο να είναι σε 90^0 γωνία μεταξύ τους.



Εικόνα 3.10 : Παράδειγμα διέδρης περιοχής. Η ακτινοβολία αντανακλάται δύο φορές διαδοχικά και τελικά επιστρέφει στην κατεύθυνση απ' όπου προήλθε.

3.7.6 Γωνίες

Οπλισμένοι με τις γνώσεις αυτές δεν θα πρέπει να υπάρχει καμία δυσκολία να αναγνωριστούν γωνίες που αντανακλούν τα σήματα ενός ραντάρ σ' ένα σύγχρονο μαχητικό αεροσκάφος. Οι οριζόντιοι σταθεροποιητές είναι συχνά κάθετοι στο κάθετο σταθερό πτερύγιο, οι υποπτερυγικοί πυλώνες είναι κάθετοι στην επιφάνεια των πτερυγίων, τα σταυροειδή φτερά και πτερύγια των βλημάτων και των βομβητών επίσης ταιριάζουν στην περιγραφή, ενώ διάφορα κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των αεροσκαφών όπως οι φράκτες πτερυγίων και τα τετραγωνισμένα πλευρά προσθέτουν το δικό τους μερίδιο γωνιών 90^0 .

Αν 3 επιφάνειες συναντηθούν μαζί με 90^0 γωνία, τότε ένας ακόμη πιο επικίνδυνος ελιγμός τριπλής αναπήδησης θα είναι εφικτός αντανακλώντας ένα πολύ δυνατό σήμα ραντάρ σε ένα μεγάλο εύρος γωνιών θέασης. Αυτή η συνένωση 3 επιφανειών ονομάζεται "γωνιακός ανακλαστήρας". Σε μερικές μη αεροδιαστημικές εφαρμογές τέτοιοι γωνιακοί ανακλάστηκες δημιουργούνται

επίτηδες. Για παράδειγμα, μεταλλικοί ανακλάστηκες τέτοιου είδους με μήκος λιγότερο από ένα μέτρο, τοποθετούνται στα κατάρτια των ιστιοφόρων για να μπορεί η ακτοφυλακή να τα διακρίνει εύκολα στα ραντάρ τους.

Κανένα αεροσκάφος δεν έχει τέτοιο εξωτερικό χαρακτηριστικό, αλλά οι καλύπτρες τους είναι διαπερατές από την ακτινοβολία του ραντάρ και τα πιλοτήρια διαθέτουν πολλά τετραγωνισμένα αντικείμενα και γωνίες 90^0 . Η δημιουργία τέτοιου είδους ανακλαστήρων κατά λάθος είναι πολύ εύκολη.

3.7.7 Κοιλότητες

Ο γωνιακός ανακλαστήρας είναι ένα μόνο από τα χαρακτηριστικά εκείνα που οι σχεδιαστές stealth ονομάζουν “δομή επανεισόδου”, δηλαδή ένα αντικείμενο που παγιδεύει και αντανακλά έντονα την ακτινοβολία του ραντάρ. Αν αντικατασταθεί ο όρος αυτός με την λέξη “κοιλότητα”, θα γίνει αντιληπτό πόσα πολλά τέτοια στοιχεία υπάρχουν πάνω σε ένα αεροσκάφος. Αεροεισαγωγές και εξαγωγές κινητήρων, ακροφύσια, θυρίδες αερισμού, στόμια πυροβόλων και αλλά πολλά . Όλα αυτά είναι πιθανοί στόχοι για το ραντάρ.

Να ληφθεί επίσης υπ’ όψιν ότι τα αεροδυναμικά καλύμματα των ραντάρ, οι καλύπτρες κι άλλες διαφάνειες που υπάρχουν πάνω σ’ ένα μαχητικό είναι επίσης διαπερατές απ’ την ακτινοβολία και πίσω τους κρύβουν κι άλλους ανακλαστήρες ραντάρ όπως για παράδειγμα το κόκπιτ, τα ηλεκτροοπτικά ατρακτίδια, καθώς επίσης και η κεραία του ραντάρ του αεροσκάφους που με το τυπικό παραβολικό «πιάτο» που έχει για σχήμα αποτελεί ιδεώδη ανακλαστήρα ακτινοβολίας. Μάλιστα σε μερικά αεροσκάφη υπάρχει ειδική πρόβλεψη έτσι ώστε όταν δεν χρησιμοποιείται το ραντάρ, η κεραία του να κάμπτεται σ’ εξαιρετικά μεγάλη γωνία για να μειώνεται το R.C.S. στο εμπρόσθιο ημισφαίριο.



Εικόνα 3.11 : Σ' αυτή την φωτογραφία ενός Sea Harrier διακρίνεται ένα πλήθος κοιλοτήτων, όπως ο κώνος του ραντάρ, η καλύπτρα και οι μεγάλες εισαγωγές αέρα.



Εικόνα 3.12 : Φωτογραφία του σύγχρονου ραντάρ APG-73 του F-18 πίσω απ' τον διηλεκτρικό κώνο που το κρύβει. Η στάση της κεραίας περιορίζει το R.C.S. όταν δεν λειτουργεί.

3.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΟΥ R.C.S.

Οι σχεδιαστές των αεροσκαφών stealth έχουν μια λίστα ιεραρχίας για όλα εκείνα τα γεωμετρικά αντικείμενα που συμβάλλουν στην αύξηση του R.C.S. ενός αεροσκάφους ανάλογα με το πόσο επικίνδυνα είναι. Στην πρώτη θέση βρίσκεται ο γωνιακός ανακλαστήρας των 3 επιφανειών και στην δεύτερη ο γωνιακός ανακλαστήρας των 2 επιφανειών. Στην συνέχεια ακολουθούν η επίπεδη πλάκα, ο κύλινδρος, η σφαίρα, οι ευθείες ή κεκλιμένες άκρες, ο κώνος και διάφορα άλλα είδη καμπυλοτήτων. Τα σχήματα αυτά αποτελούν τα βασικότερα γεωμετρικά στοιχεία στα οποία μπορεί να κομματιαστεί ένα μεγαλύτερο και πολύ πιο περίπλοκο αντικείμενο σαν το αεροπλάνο. Θεωρητικά για να υπολογιστεί το συνολικό R.C.S. ενός μαχητικού θα πρέπει να διασπαστεί το σχήμα του σ' αυτά τα βασικά σχήματα (που μπορεί να είναι εκατοντάδες ή και χιλιάδες!), να υπολογιστεί το R.C.S. για καθένα από αυτά και στην συνέχεια να τα αθροιστούν όλα μαζί. Στην πράξη όμως όλα αυτά τα στοιχεία αλληλεπιδρούν και μεταξύ τους κάνοντας τον υπολογισμό σχεδόν αδύνατο.

Ακόμα μεγαλύτερη δυσκολία αντιμετωπίζεται μόλις γίνει αντιληπτό ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταβάλλουν συνεχώς το πρόσημο τους, όλες οι αντανάκλασεις της ακτινοβολίας θα έχουν διαφορά φάσης. Για να περιπλεχθούν τα πράγματα ακόμη πιο πολύ, η πόλωση κάθε ξεχωριστής αντανάκλασης μπορεί να αλλάξει ανάλογα με την διαδικασία της αντανάκλασης, ενώ η ανελαστικότητα κάθε διασπορέα ακτινοβολίας θα διαφέρει ανάλογα με την συχνότητα. Με λίγα λόγια κάθε αντανάκλαση θα συμπεριφέρεται εντελώς διαφορετικά.

Η άθροιση όλων των επιμέρους αντανάκλασεων από έναν περίπλοκο στόχο γίνεται ακόμα πιο χαοτική όταν εισαχθεί στην εξίσωση του προβλήματος τις διαφορές που δημιουργούνται απ' τις αλλαγές στην γωνία θέασης. Δύο ξεχωριστές αντανάκλασεις που είναι σε φάση με τον παρατηρητή θα βγουν εκτός φάσεως εάν ο παρατηρητής κινηθεί, ενώ εάν κινηθεί ξανά θα είναι πάλι σε φάση κι έπειτα πάλι εκτός φάσεως για όσο συνεχίζεται η κίνηση και ούτω καθεξής. Αυτοί είναι λοιπόν οι εξαιρετικά πολύπλοκοι και δύσκολοι κανόνες που σχετίζονται με την αντανάκλαση της ακτινοβολίας του ραντάρ.

Παρά το δύσκολο του εγχειρήματος, σιγά-σιγά όμως μέσα απ' τις συνεχείς μελέτες και τα πειράματα αρκετή γνώση είχε βγει στην επιφάνεια κι επέτρεψε στους μηχανικούς και σχεδιαστές να εξελίξουν σχεδιαστικές μεθόδους που αργότερα θα καθιστούσαν εφικτή την κατασκευή των πρώτων αεροσκαφών stealth.

Το μεγάλο άλμα πραγματοποιήθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '60, όταν ο ρώσος μαθηματικός Pyotr Ufmitsev τότε επικεφαλής επιστήμονας στο ινστιτούτο ραδιοτεχνολογίας της Μόσχας, μελετώντας τις αρχικές εξισώσεις του Clerk Maxwell και των μετέπειτα εξισώσεων του Γερμανού φυσικού Arnold Johannes Sommerfeld, έγραψε μια τεχνική μελέτη πάνω στην λειτουργία των ραντάρ σχετικά με την θεωρία της διάθλασης. Οι μαθηματικοί υπολογισμοί του κορυφαίου Ρώσου επιστήμονα προέβλεπαν τον τρόπο με τον οποίο ανακλάται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όταν προσπίπτει πάνω σε μια δεδομένη γεωμετρική διαμόρφωση. Στην ουσία δηλαδή επινόησε μια θεωρητική μέθοδο υπολογισμού του R.C.S.. Η τεχνολογία των υπολογισμών της εποχής εκείνης δεν μπορούσε να υπολογιστεί το R.C.S. ενός αθροίσματος καμπύλων επιφανειών αλλά μπορούσε να αντιμετωπίσει μια σειρά επίπεδων επιφανειών.

Ωστόσο ο Ufmitsev ανακάλυψε ότι οι επικεφαλής σχεδιαστές των σοβιετικών προγραμμάτων μαχητικών δεν είχαν το παραμικρό ενδιαφέρον για την θεωρία του όταν τους την παρουσίασε μυστικά, έτσι μάλλον απογοητευμένος την δημοσίευσε ανοιχτά με τον τίτλο "Μέθοδος ακραίων κυμάτων στην φυσική θεωρία της διάθλασης". Το κλειδί λοιπόν για την δημιουργία ενός αεροσκάφους stealth τώρα υπήρχε, αλλά θα έμενε παραμελημένο για ακόμα μια δεκαετία μέχρι οι ερευνητές της αμερικανικής Lockheed να χρησιμοποιήσουν έτοιμη την θεωρία αυτή για να αναπτύξουν το κατάλληλο λογισμικό που θα επέτρεπε τον ακριβή προσδιορισμό του R.C.S. στο υπό εξέλιξη F-117. Η ειρωνεία είναι ότι όταν δόκτωρ Ufmitsev πήγε στην Αμερική το 1990, προσκαλεσμένος να διδάξει για τη ηλεκτρομαγνητική θεωρία είχε πλήρη αγνοία για την τεράστια συμβολή του στην ανάπτυξη των αεροσκαφών stealth της U.S.A.F.. Όταν πάντως τον ενημέρωσαν για αυτό δεν έδειξε έκπληξη δηλώνοντας την τότε περιφρόνηση των σοβιετικών για την θεωρία του.

4.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ STEALTH

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η δημιουργία ενός αεροσκάφους ή πυραύλου stealth απαιτεί οι ηλεκτρομαγνητικές «υπογραφές» του, καθώς και οι οπτικές, οι θερμικές και οι ακουστικές του να είναι εξαιρετικά μειωμένες. Υπάρχουν και άλλες πιο εξωτικές «υπογραφές», μερικές απ' τις οποίες έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν ως βάση για αισθητήρες αντι-stealth, αλλά οι παραπάνω είναι οι σημαντικότερες. Για να επιτευχθεί μία, στρατιωτικά σημαντική, μείωση του R.C.S., τρεις τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν : 1) αποφυγή σχεδιαστικών χαρακτηριστικών που θα δημιουργήσουν ισχυρές

αντανεκλάσεις προς τη κατεύθυνση του ραντάρ, 2) απορρόφηση παρά αντανάκλαση της εισερχόμενης ενέργειας ραντάρ, 3) κάλυψη ή ακύρωση των υπολοίπων αντανεκλάσεων. Καμία προσέγγιση απ' αυτές μεμονωμένα δεν θα επιφέρει αρκετή μείωση του R.C.S.. Η πρώτη και η δεύτερη απ' αυτές τις τεχνικές χρησιμοποιούνται ήδη, σε διάφορες βαθμίδες, στα υπάρχοντα αεροσκάφη stealth, ενώ η τρίτη θα μπορούσε να είναι σε χρήση ήδη και σίγουρα θα διαδραματίσει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στις μελλοντικές σχεδιάσεις αεροσκαφών.

4.2 ΑΝΤΑΝΕΚΛΑΣΕΙΣ

Στην περίπτωση σχεδόν όλων των τωρινών ραντάρ, ο αισθητήρας που ψάχνει την αντανεκλώμενη ηχώ χρησιμοποιεί την ίδια κεραία που χρησιμοποιήθηκε για να στείλει την ακτινοβολία φωτισμού του στόχου. Μόνο η αντανεκλώμενη ενέργεια που επιστρέφει άμεσα στο ραντάρ είναι εκμεταλλεύσιμη. Η ενέργεια που επαναπροσανατολίζεται σ' άλλες κατευθύνσεις δεν θα κάνει τίποτα για να προσδιορίσει τον στόχο. Ο προσεκτικός έλεγχος του σήματος των αεροσκαφών παίζει έναν ζωτικής σημασίας ρόλο στην μείωση του R.C.S. στις συχνότητες μικροκυμάτων, καθώς μ' αυτόν τον τρόπο το διεσπαρμένο σήμα κατευθύνεται μακριά απ' το ραντάρ που προσπαθεί να το λάβει. Στα πρώτα αεροσκάφη stealth συμπεριλαμβανομένου του Lockheed F-117A, αυτός ήταν και ο κύριος τρόπος μείωσης του R.C.S..

Φυσικά για να είναι αποδοτικός ο τρόπος αυτός θα πρέπει να εφαρμοστεί, όταν το αεροσκάφος αρχίσει να πρωτοσχεδιάζεται και οι συμβιβασμοί θα πρέπει ν' αποφεύγονται. Για τον λόγο αυτό, πολύ λίγα μπορούν να γίνουν για να εφαρμοστεί τεχνολογία stealth σ' ένα ήδη υπάρχον αεροσκάφος. Το καλύτερο που μπορεί να γίνει σε αυτή την περίπτωση είναι καθυστέρηση του εντοπισμού, αλλά το τελικό αποτέλεσμα σε καμιά περίπτωση δεν μπορεί να ονομάζεται αεροσκάφος stealth. Για ν' αποφύγει την αντανάκλαση του σήματος πίσω στο ραντάρ, ο σχεδιαστής του αεροσκάφους θα πρέπει ν' ακολουθήσει μια σειρά κανόνων.

Μία απ' τις πιο σημαντικές είναι η αποφυγή της χρήσης μεγάλων

κάθετων επιφανειών όπως για παράδειγμα στο βομβαρδιστικό B-52, όπου οι πλευρές του και οι σχετικά ευθείες γραμμές της σχεδίασης του το κάνουν ιδεώδη στόχο για τα ραντάρ, βέβαια την εποχή που σχεδιάζοταν δεν υπήρχε καμία απολύτως πρόβλεψη για εφαρμογή τέτοιας τεχνολογίας (μάλιστα το αεροσκάφος αυτό σχεδιάστηκε από μια ομάδα μηχανικών μέσα σ' ένα μόλις σαββατοκύριακο και κατέληξε να πετάει για περίπου 60 χρόνια χωρίς μέχρι τώρα να έχει ορατό αντικαταστάτη!). Αν πρέπει να χρησιμοποιηθούν κάθετα σταθερά πτερύγια ή άλλες επιφάνειες ατράκτου, τότε αυτές θα πρέπει να έχουν κλίση προς τα μέσα ή προς τα έξω. Κεκλιμένες επιφάνειες ατράκτου μπορούν να διακριθούν στο βλήμα AGM-86B της Boeing. Πολλές καλλιτεχνικές ιδέες της δεκαετίας του '80 απεικονίζουν υποτιθέμενα αεροσκάφη stealth με κεκλιμένα κάθετα σταθερά πτερύγια. Δύο προσεγγίσεις υπάρχουν για την ελαχιστοποίηση των αντανάκλασεων από την άτρακτο: η πιο προφανής είναι να κυρτωθούν οι επιφάνειες της άτρακτου κατά προτίμηση σε δύο διαστάσεις, μια τεχνική που χρησιμοποιείται στο SR-71 Blackbird και το B-1 Lancer. Για καλύτερα αποτελέσματα η καμπυλότητα αυτή θα πρέπει να είναι κοίλη προς τα μέσα, αλλιώς αν είναι προς τα έξω μπορεί να γίνει αντανάκλαστική. Η δεύτερη προσέγγιση είναι η αποφυγή ασυνεχειών, όπως οι γωνίες και οι απότομες αλλαγές στο σχήμα. Όλα αυτά τα γεωμετρικά στοιχεία θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους ομαλά. Επίσης, πολύ ομαλή θα πρέπει να είναι και η σύνδεση της άτρακτου με τις πτέρυγες και τα πτερύγια της ουράς. Βέβαια υπάρχουν κάποια όρια στο πόσα πράγματα μπορούν να γίνουν με την εκμετάλλευση της καμπυλότητας, ειδικά όταν είναι δεδομένο ότι τα πιο πρακτικά σχέδια αφορούν κυρτές προς τα έξω γωνίες.

4.3 ΕΠΙΠΕΔΗ ΚΑΛΥΠΤΡΑ

Αν παρατηρηθούν τα περισσότερα σύγχρονα μαχητικά κατά τη διάρκεια μιας ηλιόλουστης μέρας, θα γίνει συνειδητό αμέσως πόσο αποδοτικά οι καμπύλες επιφάνειες και οι καλύπτρες τους αντανάκλουν το ηλιακό φως από πολλές πλευρές θέασης. Μάλιστα σε συνθήκες κλειστής αερομαχίας, η θέση του αεροσκάφους μπορεί να προδωθεί απ' αυτήν ακριβώς την αντανάκλαση του φωτός. Το πρώτο αεροσκάφος που προσπάθησε να

εξαλείφει αυτό το πρόβλημα οπτικά, ήταν το επιθετικό ελικόπτερο Bell AH-1S Cobra του αμερικανικού στρατού.



Εικόνα 4.1 : Το AH-1S ήταν το πρώτο ελικόπτερο που υιοθέτησε μια καλύπτρα αποτελούμενη από επίπεδες επιφάνειες για μείωση των ανακλάσεων του φωτός.

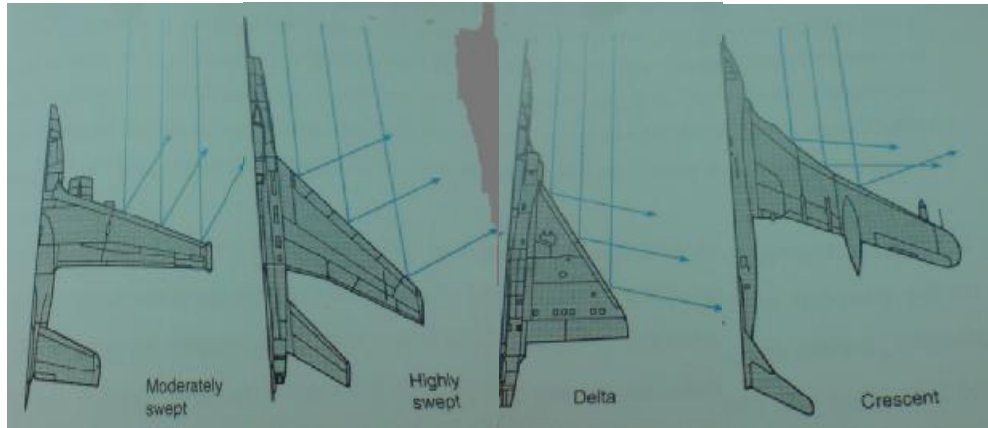
Στα προηγούμενα μοντέλα αυτού του τύπου (AH-1G και AH-1J), για την καλύπτρα χρησιμοποιούνταν συμβατικές στρογγυλεμένες διαφάνειες, αντίθετα στο μοντέλο AH-1S επέλεξαν την τοποθέτηση επτά επίπεδων πάνελ. Κάθε μία απ' αυτές τις επιφάνειες ανακλούσε το φως προς μία κατεύθυνση μόνο, κάνοντας έτσι το συνολικό σχέδιο λιγότερο ανακλαστικό. Έτσι μειώνονταν κατά πολύ οι πιθανότητες ν' αποκαλυφθεί η θέση του ελικοπτήρου. Η τακτική αυτή αργότερα επεκτάθηκε και σ' άλλα ελικόπτερα, όπως το AH-64 Apache και το RAH-66 Comanche, αλλά και σε μερικά αεροσκάφη (F-117).

4.4 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΤΕΡΥΓΑΣ

Το χείλος προσβολής των πτερύγων μπορεί να είναι ένας πολύ ισχυρός ανακλαστήρας στον μπροστινό τομέα. Δεδομένου ότι η ανακλώμενη ενέργεια από ένα εισερχόμενο μετωπικά σήμα ραντάρ, θ' αφήσει το χείλος προσβολής της πτέρυγας με μία γωνία ίση με τη διπλάσια της γωνίας που έχει μια οπισθοκλινής πτέρυγα στο χείλος προσβολής στο

σημείο επαφής. Η αύξηση της γωνίας οπισθόκλισης θ' αυξήσει το ποσό με το οποίο η αντανακλώμενη ενέργεια μετατοπίζεται μακριά απ' τον μπροστινό τομέα, μειώνοντας έτσι τις πιθανότητες ότι θ' ανιχνευθεί απ' τον δέκτη του ραντάρ που βρίσκεται μπροστά. Στις υψηλές γωνίες οπισθόκλισης, το μεγαλύτερο μέρος της αντανακλώμενης ενέργειας εκτρέπεται σε γωνίες μακριά απ' τον κρίσιμο μπροστινό τομέα. Στα περισσότερα αεροσκάφη τα χείλη προσβολής κι εκφυγής των πτερυγών είναι ίσια ή σχεδόν ίσια, έτσι ώστε η αντανακλώμενη ενέργεια να συγκεντρωθεί σ' ένα μικρό εύρος γωνιών. Αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε απ' την σουηδική πολεμική αεροπορία, η οποία συνειδητοποίησε ότι το Saab J35 Draken ήταν ένας δύσκολος στόχος ραντάρ όταν φαινόταν κατά μέτωπο. Οι δύο γωνίες οπισθόκλισης της (διπλού Δέλτα) πτέρυγας του, χρησίμευαν στο να κατευθύνουν την ακτινοβολία του ραντάρ αρκετά μακριά απ' την μπροστινή κατεύθυνση. Δεδομένου ότι οι πτέρυγες και τα οριζόντια χείλη προσβολής και εκφυγής τους είναι καλοί ανακλαστήρες της ακτινοβολίας ραντάρ, οι γωνίες που χρησιμοποιούνται σ' αυτά θα πρέπει είτε να κρατηθούν κοινές (διασκορπίζοντας την ενέργεια ραντάρ σε μερικές προσεκτικά διαλεγμένες κατευθύνσεις), είτε να γίνουν όσο το δυνατόν πιο διαφορετικές γίνεται (ώστε η αντανακλώμενη ενέργεια να διαχυθεί-κατανεμηθεί σε διάφορους προσχεδιασμένους τομείς).

Καθώς η γωνία οπισθόκλισης των πτερυγών αυξάνεται, η πτέρυγα-δέλτα γίνεται ελκυστικότερη αλλά η μακριά χορδή της θα παράσχει μια καλή ευκαιρία για οργάνωση συρόμενων κυμάτων. Αυτά μπορούν στη συνέχεια να ελαχιστοποιηθούν με τη στρογγύλευση των ακροπτερυγίων, ελαχιστοποιώντας την ανακλαστική ασυνέχεια που τα συρόμενα κύματα θα συναντήσουν όταν φτάνουν στην άκρη του χείλους εκφυγής.



Εικόνα 4.2 : Παράδειγμα των κυριότερων ειδών πτέρυγας και των αντανάκλασεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που καθεμία δημιουργεί.

Αυτοί είναι οι βασικοί κανόνες που καθόρισαν την διαμόρφωση αεροσκαφών stealth. Και οι δύο ομάδες των εταιρειών Lockheed (F-117) και Northrop (B-2), βρήκαν την ίδια λύση απ' την άποψη της διαμόρφωσης των πτερυγών, ίσια και ευθεία χείλη προσβολής τα οποία αντανάκλουν την ακτινοβολία ραντάρ μακριά απ' τον μετωπικό τομέα, συν μια μέτρια γωνία οπισθόκλισης που θα κρατούσε την χορδή αρκετά μικρή ώστε ν' αποφευχθούν τα χειρότερα αποτελέσματα των επιφανειακών συρόμενων κυμάτων.





Photo: T Caspersson ID no: F97/985-29 Saab 35 Draken

Εικόνα 4.3 : Φωτογραφίες από Saab J-35 Draken, τα οποία χρησιμοποιούν πτέρυγες τύπου “διπλού Δέλτα” που αποδείχτηκε εκ των υστέρων ιδανική στον περιορισμό του R.C.S..

4.5 ΤΕΧΝΙΚΗ FACETING

Το σχήμα που πρέπει να έχει μια κατασκευή τεχνολογίας stealth περιλαμβάνει δύο εκδοχές. Η μία αφορά τον υπολογισμό του R.C.S. διαιρώντας τις επιφάνειες του σε μία σειρά από επίπεδα τρίγωνα. Κάθε τρίγωνο διαθέτει τρία σημεία για τα οποία απαιτεί ξεχωριστούς υπολογισμούς, χρησιμοποιώντας τις μαθηματικές μεθόδους του Ufmitsev. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μίας τρισδιάστατης σχεδίασης ενός αεροσκάφους συνθέτοντας όλες τις επίπεδες επιφάνειες, κάτι παρόμοιο δηλαδή με την κοπή ενός διαμαντιού που στην ορολογία αποκαλείται: Faceting. Ο όρος αυτός θα μπορούσε να αποδοθεί στα ελληνικά σαν "εδροτόμηση" ή "τραπεζοειδής κοπή". Στην περίπτωση του F-117 Nighthawk, του πρώτου ουσιαστικά πραγματικού μαχητικού stealth, η κατασκευάστρια εταιρεία Lockheed επέλεξε μια εδροτομημένη άτρακτο για το αεροσκάφος και μία πτέρυγα σχήματος "V", απαλείφοντας τις οριζόντιες και κάθετες ουραίες επιφάνειες ελέγχου.



Εικόνα 4.4 : Το F-117 ήταν το πρώτο αεροσκάφος που σχεδιάστηκε εξ ολοκλήρου με βάση την τεχνική *faceting* και αποτελεί το χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της εφαρμογής.

Αυτό που στην ουσία επιχείρησαν ήταν η απλοποίηση του σχήματος του αεροσκάφους, χωρίζοντάς το σε χιλιάδες επίπεδα τριγωνικά σχήματα και υπολογίζοντας για το καθένα ξεχωριστά το R.C.S. σε δύο διαστάσεις. Το γιατί χρησιμοποιήθηκαν οι δύο διαστάσεις εξηγείται απ' το γεγονός ότι το 1975 οι υπολογιστές δεν διέθεταν επαρκή επεξεργαστική ισχύ και χωρητικότητα μνήμης για να επιτρέψουν τους υπολογισμούς σε τρισδιάστατη σχεδίαση ή σ' ένα καμπυλωτό σχήμα που απαιτούσε τεράστια ποσά επιπλέον υπολογισμών. Έτσι αυτή η διαμόρφωση ήταν ουσιαστικά και η μόνη πρακτικά διαθέσιμη διαμόρφωση την εποχή εκείνη. Η άλλη εκδοχή στην κατασκευή ενός αεροσκάφους *stealth* εντοπίζεται στην υιοθέτηση μιας ενιαίας λείας εξωτερικής γεωμετρίας, επιτυγχάνοντας μία σταθερά μεταβαλλόμενη καμπυλότητα. Ο πιο γνήσιος εκπρόσωπος αυτής της σχεδιαστικής προσέγγισης που απαιτεί τεράστια ποσά υπολογιστικής ισχύος, είναι σήμερα το βομβαρδιστικό B-2 Spirit. Η κατασκευάστρια εταιρεία του (Northrop), χρησιμοποίησε έναν συνδυασμό καμπυλότητας για το σχέδιο αυτό της ιπτάμενης πτέρυγας καταργώντας όλες τις κάθετες επιφάνειες και στηρίχθηκε αποκλειστικά σε υπερυψηλής τεχνολογίας συστήματα αυτομάτου ελέγχου πτήσεως (Fly By Wire) για τον έλεγχο κατά την πτήση.

4.6 ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ

Η δημιουργία ενός πρακτικού αεροσκάφους ή πυραύλου stealth απαιτεί εξαιρετική προσοχή στην λεπτομέρεια εάν είναι επιθυμητό το R.C.S. να είναι πραγματικά ελάχιστο. Κοιλότητες όπως οι αεροεισαγωγές που είναι γνωστές στους μηχανικούς ως "δομές επανεισόδου", έχουν πολύ υψηλό R.C.S.. Η πρόβλεψη του R.C.S. μιας κοιλότητας είναι πολύ δύσκολη και εξαρτάται απ' αυτό που είναι μέσα στην κοιλότητα. Σαν πρώτη προσέγγιση, ο μηχανικός μπορεί να υποθέσει ότι το R.C.S. θα είναι παρόμοιο με αυτό μιας επίπεδης στρογγυλής επιφάνειας ισοδύναμου μεγέθους. Η κοιλότητα θα πρέπει είτε να καλυφθεί με κάποιον τρόπο έτσι ώστε η ακτινοβολία ραντάρ να μη μπορεί να εισαχθεί, είτε θα πρέπει να κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας ειδικά απορροφητικά υλικά ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ραντάρ (Radar Absorbent Material-R.A.M.).

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν αποτελεσματικές μορφές υλικών R.A.M., καθώς και η σύσταση των υλικών αυτών θ' αναλυθούν παρακάτω. Για την ώρα θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση υλικών R.A.M. για την κάλυψη κοιλοτήτων δεν είναι καθόλου εύκολη, αφού οι συχνότητες ραντάρ που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη στρατιωτικών σκοπών καλύπτουν δύο ή και τρία διαφορετικά μεγέθη και τα ηλεκτρομαγνητικά χαρακτηριστικά του επιλεγμένου υλικού (όπως η διαπερατότητα και η διηλεκτρική σταθερά) θα ποικίλουν αρκετά με τη συχνότητα, όπως θα ποικίλει και το πάχος που θ' απαιτείται. Οι κινητήρες του αεροσκάφους και οι σχετιζόμενες μ' αυτούς εισαγωγές αέρα, διάφορα άλλα στόμια και τ' ακροφύσια τους, είναι μεγάλες κοιλότητες και μπορούν να είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στο συνολικό R.C.S.. Το μπροστινό και οπίσθιο μέρος του κινητήρα είναι η πρωταρχική πηγή της ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής, ακολουθούμενη απ' τις άκρες των εισαγωγών αέρα και οποιασδήποτε επιφάνειας ελέγχου μεταβλητής γεωμετρίας χρησιμοποιείται για την ρύθμιση της εισερχόμενης ροής του αέρα.

Πολλές διαμορφώσεις stealth τοποθετούν τις εισαγωγές αέρα των κινητήρων επάνω απ' την πτέρυγα ή την άτρακτο για να τις κρατήσουν

κρυμμένες απ' τα επίγεια ραντάρ, αλλά από άποψη αεροδυναμικής σ' αυτή την περίπτωση είναι πολύ πιθανό να υπάρχει πρόβλημα στην ροή του αέρα κατά τη διάρκεια ελιγμών με υψηλή γωνία προσβολής. Όταν η ακτινοβολία ενός ραντάρ χτυπήσει το αεροσκάφος, ο συμπιεστής ή τα πτερύγια ενός κινητήρα τζετ θα ενεργήσουν σαν μια ενιαία επιφάνεια, αποτρέποντας την ακτινοβολία απ' το να προχωρήσει πιο μέσα. Ο προφανέστερος τρόπος να μειωθεί το R.C.S. της αεροεισαγωγής, θα ήταν να κατασκευαστούν με υλικά R.A.M. τα πτερύγια του πρώτου σταδίου συμπίεσης. Αυτό θα είχε το επιθυμητό αποτέλεσμα, αλλά είναι μια πρακτικά ανεφάρμοστη λύση, επειδή το απορροφητικό υλικό δε θα μπορούσε ν' αντιμετωπίσει τις πιέσεις που προκαλούνται απ' τις υψηλές περιστροφικές ταχύτητες.



Εικόνα 4.5α : Σ' αυτή την μετωπική φωτογραφία ενός A-10 Thunderbolt εύκολα διακρίνονται τα πτερύγια των συμπιεστών των δύο κινητήρων του μέσα απ' τις εισαγωγές αέρα. Η σχεδίαση αυτή προκαλεί πολύ μεγάλη αύξηση του R.C.S. στον μπροστινό τομέα.



Εικόνα 4.5β : Πανοραμική φωτογραφία του A-10 Thunderbolt.

Σ' ένα υψηλά ιπτάμενο αεροσκάφος αναγνώρισης ή ένα αεροσκάφος θαλάσσιας έρευνας, η απειλή θα προέρχεται κυρίως από κάτω επιτρέποντας έτσι σε χαρακτηριστικά γνωρίσματα υψηλού R.C.S., όπως οι εισαγωγές αέρα και οι εξαγωγές καυσαερίων να μετακινηθούν στις πάνω επιφάνειες όπου θα καλύπτονται απ' τις πτέρυγες. Σ' ένα χαμηλά ιπτάμενο αεροσκάφος κρούσης, η κύρια απειλή θα προέρχεται πιο πολύ από άλλα μαχητικά αεροσκάφη με σύγχρονα ραντάρ ικανοτήτων "Look-down/ Shoot-down", αναγκάζοντας τέτοια αντανακλαστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα να μετακινηθούν στην κάτω πλευρά του αεροσκάφους.

Στην περίπτωση ενός μαχητικού εναέριου υπεροχής όπου η απειλή μπορεί να προέλθει και από ψηλά και από χαμηλά, η διαμόρφωση του σχήματος αρχίζει να γίνεται πιο δύσκολη. Εφόσον και οι δύο κατευθύνσεις παρουσιάζουν τον ίδιο βαθμό επικινδυνότητας, τότε δεν μπορούμε ν' αποφασίσουμε εύκολα σε ποια απ' τις δύο θα δοθεί προτεραιότητα κατά την σχεδίαση. Οι συμβατικές εισαγωγές αέρα τύπου ράμπας δίνουν συχνά σ' έναν παρατηρητή που κοιτάει κατά μέτωπο το αεροσκάφος μια πολύ καλή άποψη του προσώπου του κινητήρα ή των πτερυγίων του συμπιεστή, είναι έτσι σχεδόν ιδανικοί ανακλαστές ραντάρ. Αν θεαθεί για παράδειγμα το ρωσικό μαχητικό MiG-29 από μπροστά, θα διακριθεί πολύ καθαρά το πρόσωπο των turbofan κινητήρων του, R-33. Αυτό σημαίνει ότι η ακτινοβολία ενός ραντάρ

θ' αντανακλάται έντονα απ' το μπροστινό του ημισφαίριο. Έτσι, γίνεται κατανοητό ότι κατά την σχεδίαση του δεν υπήρχε καμία πρόβλεψη για ενσωμάτωση τεχνολογίας stealth.

Οι εισαγωγές αέρα μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να χρησιμοποιούν ρυθμιστές ροής σχήματος μισού κώνου, όπως χρησιμοποιούν τα μαχητικά Mirage. Αυτού του τύπου οι ρυθμιστές είναι πολύ ικανοί και ελαφριοί και θα εμπόδιζαν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία να φτάσει στο μέτωπο του κινητήρα. Άλλα μέτρα που θα εμπόδιζαν την ακτινοβολία να «δει» τον κινητήρα, περιλαμβάνουν την διαμόρφωση της ατράκτου της εισαγωγής κατά τέτοιον τρόπο ώστε η διαδρομή του αέρα να είναι ελικοειδής ή ζικ-ζακ. Μ' αυτόν τον τρόπο η ακτινοβολία θα μπορούσε να παγιδευτεί μέσα εκεί και μετά ν' αναπηδήσει στα τοιχώματα εξασθενώντας τελικά απ' τα υλικά R.A.M.. Την δεκαετία του '40 η αμερικανική N.A.C.A. (National Advisory Committee for Aeronautics), πρόγονος της σημερινής NASA, εξέλιξε έναν τύπο αεροεισαγωγών που ήταν επίπεδες και δεν προεξείχαν απ' την άτρακτο του αεροσκάφους. Αυτού του τύπου οι εισαγωγές (Flush Inlets) ήταν λιγότερο ορατές απ' τις συμβατικές και θα μπορούσαν να είναι μια καλή εναλλακτική λύση. Τελικά όμως δοκιμάστηκαν σ' ένα μόνο αεροσκάφος, το πρώτο πρωτότυπο του πειραματικού YF-93A και τελικά εγκαταλείφθηκαν, επειδή υπήρχαν κάποια προβλήματα ροής. Η μοναδική σημερινή εφαρμογή τους είναι στον πύραυλο αέρος-επιφάνειας Harpoon.



Εικόνα 4.6 : Το Mirage 2000 χρησιμοποιεί κωνικούς ρυθμιστές ροής στις αεροεισαγωγές, οι οποίοι πέρα απ' τα αεροδυναμικά οφέλη κρύβουν το μέτωπο του κινητήρα απ' την ακτινοβολία των ραντάρ μειώνοντας έτσι το ηλεκτρομαγνητικό του ίχνος.

Η σχεδίαση των ακροφυσίων του κινητήρα είναι επίσης πολύ σημαντική κι είναι ιδιαίτερα περίπλοκη λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται απ' την εκροή των καυσαερίων ενός κινητήρα τζετ. Οι ηλεκτρομαγνητικές σχεδιαστικές απαιτήσεις για επικαλύψεις υλικού με ιδιότητες απορρόφησης της ακτινοβολίας ραντάρ δεν είναι πολύ διαφορετικές απ' αυτές που χρησιμοποιούνται σε κοιλότητες χαμηλότερων θερμοκρασιών όπως είναι οι αεροεισαγωγές, αλλά η διατήρηση της δομικής ακεραιότητας είναι πολύ πιο δύσκολη. Η εκροή από έναν κινητήρα τζετ θα έχει επίσης και κάποια μικρή επιρροή στην συνολική ανακλαστικότητα του αεροσκάφους, που εξαρτάται απ' την μέγιστη θερμοκρασία των καυσαερίων. Η αντανάκλαση της ακτινοβολίας απ' την εκροή καυσαερίων ενός κινητήρα που δουλεύει στην ελάχιστη ξηρή ώση είναι μηδαμινή, αντίθετα όμως η πολύ υψηλή αύξηση της θερμοκρασίας απ' την χρήση μετάκαυσης οδηγεί σε μια έντονη αντανάκλαση αυξάνοντας το συνολικό R.C.S..

4.7 ΠΙΛΟΤΗΡΙΑ

Μία απ' τις περίπλοκες κοιλότητες πάνω σ' ένα αεροσκάφος είναι το πιλοτήριο ή αλλιώς "κόκπιτ" (cockpit), όπως ονομάζεται στην αεροπορική ορολογία. Καθώς η καλύπτρα ή το αλεξινέμιο είναι διαπερατά απ' την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως είναι διαπερατά και απ' το φως, επιτρέπουν στην ακτινοβολία του ραντάρ να περάσει μέσα και να χτυπήσει πάνω στο εξαιρετικά ανακλαστικό περιβάλλον του πιλοτηρίου. Το κεφάλι και το κράνος του πιλότου, το εκτινασσόμενο κάθισμα, τα διάφορα όργανα ελέγχου και τα πάνελ που υπάρχουν, όλα αυτά συνεισφέρουν στην ηλεκτρομαγνητική υπογραφή του αεροσκάφους.



Εικόνα 4.7 : Σε μερικές εκδόσεις του F-16 έχει εφαρμοστεί ένα πολύ λεπτό στρώμα χρυσού πάνω απ' τα διάφανα μέρη της καλύπτρας με σκοπό τον περιορισμό της διαπερατότητας της απ' την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία των ραντάρ.

Ένας τρόπος για ν' αποτραπεί αυτό, είναι να χρησιμοποιηθεί ένα εξαιρετικό σχήμα για την καλύπτρα που ν' ανταποκρίνεται στους κανόνες δημιουργίας χαμηλού R.C.S. και μετά να γίνει επιμεταλλώσιμη μ' ένα στρώμα υλικού που θα έχει ελάχιστη επίδραση στην ορατότητα, αλλά στο ραντάρ θα φαίνεται σαν μια ηλεκτρικά αγώγιμη επιφάνεια αντί για διαπερατή, δηλαδή θα φαίνεται σαν μια προέκταση του κελύφους του αεροσκάφους. Τέτοιες

επιστρώσεις πρέπει ν' αφήνουν να περνάει τουλάχιστον το 85% του ορατού φάσματος, αλλά ν' αντανακλούν ουσιαστικά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Οι τεχνικές για να γίνει αυτό δυνατό έχουν εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό όλα αυτά τα χρόνια. Ένα λεπτό στρώμα χρυσού χρησιμοποιείται σαν επίστρωση στα διαφανή τμήματα της καλύπτρας του αεροσκάφους ηλεκτρονικού πολέμου EA-6B Prowler σαν προστασία του πληρώματος απ' τα πολύ ισχυρά ηλεκτρονικά σήματα που εκπέμπονται απ' τα ειδικά ατρακτίδια παρεμβολών του αεροσκάφους. Ένα παρόμοιο στρώμα χρυσού υπάρχει και στην καλύπτρα του πασίγνωστου F-16 Fighting Falcon, αλλά με σκοπό τη μείωση του R.C.S. όπως περιγράφηκε παραπάνω. Μία άλλη πιθανή επίστρωση που μελετάται είναι ένα κράμα Ινδίου-Κασσιτέρου που λέγεται ότι επιτρέπει 98% ορατότητα, διατηρώντας πλήρη ηλεκτρομαγνητική ανακλαστικότητα.

4.8 ΚΕΡΑΙΕΣ

Καθώς όλα τα είδη κεραιών (ασυρμάτου ή ραντάρ) που χρησιμοποιούνται σ' ένα αεροσκάφος θα πρέπει να είναι εξ ορισμού ικανοί δέκτες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, είναι πολύ δύσκολο να ενσωματωθούν σ' ένα αεροσκάφος stealth. Στο F-117 χρησιμοποιείται ένα ανασυρόμενο σύστημα κεραιών για τον ασύρματο που επεκτείνονται, όταν ο πιλότος θέλει να μεταδώσει ή να λάβει ένα μήνυμα και τον υπόλοιπο χρόνο μένουν κρυμμένες στην άτρακτο. Τα ραντάρ είναι ένα ακόμη μεγαλύτερο πρόβλημα. Οι θόλοι που καλύπτουν τα ραντάρ των αεροσκαφών είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε ν' αφήνουν να περνάει το σήμα τους ανάλογα με την συχνότητα λειτουργίας του καθενός ξεχωριστά, ωστόσο είναι αναγκαστικά διαφανείς και σ' ένα μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων εκθέτοντας έτσι την κεραία του ραντάρ στ' αντίπαλα ραντάρ. Μια κεραία ραντάρ συνεισφέρει στο συνολικό R.C.S. με δύο τρόπους.

Ο ένας είναι η διασπορά λόγω της δομής της. Ο άλλος τρόπος είναι λίγο πιο περίπλοκος και οφείλεται στον λόγο για τον οποίο κατασκευάζεται εξ αρχής μια κεραία. Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ενός ραντάρ

χτυπήσει μια συμβατική παραβολική κεραία τύπου "πιάτου" άλλου ραντάρ, θα συγκεντρωθεί και θα εστιαστεί στην κεραία τροφοδότησης με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως κι η αναμενόμενη ηχώ επιστροφής του ραντάρ αυτού. Καθώς όμως τα δύο αυτά ραντάρ δεν θα έχουν την ίδια συχνότητα λειτουργίας, η ακτινοβολία αυτή θ' αντανάκλασθεί πίσω στην κατεύθυνση απ' όπου ήρθε απ' τον κύριο ανακλαστήρα της κεραίας.

Οι σύγχρονες επίπεδες κεραίες δημιουργούν μικρότερο πρόβλημα, αλλά εξακολουθούν να χρειάζονται ειδική μεταχείριση για την μείωση του R.C.S.. Το ραντάρ του B-1B για παράδειγμα είναι μόνιμα κεκλιμένο προς τα κάτω για να μειωθεί η αντανάκλαση του και στηρίζεται σε ηλεκτρονική καθοδήγηση της δέσμης ακτινοβολίας του ραντάρ για την έρευνα σε κάθε κατεύθυνση αντί για μηχανική μετατόπιση όλης της αγοράς. Η λύση για το πρόβλημα της κεραίας τελικά, είναι η απόκρυψη της πίσω από έναν ειδικά σχεδιασμένο θόλο που θα περιορίζει το R.C.S. όσο το δυνατόν γίνεται. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό αν περιοριστεί στο ελάχιστο δυνατό το εύρος των συχνοτήτων που θα μπορούν να τον διαπεράσουν, επιτρέποντας όμως παράλληλα την λειτουργία του ραντάρ του αεροσκάφους. Μία καινούρια τεχνική που αναπτύσσεται είναι αυτή του ελέγχου των ηλεκτρομαγνητικών χαρακτηριστικών του θόλου μέσω ηλεκτρικών παλμών. Με τον τρόπο αυτό ο θόλος μπορεί να ρυθμίζεται έτσι ώστε όταν λειτουργεί το ραντάρ του αεροσκάφους να επιτρέπει την διέλευση της ακτινοβολίας της κεραίας του και όταν δεν θα λειτουργεί να κλείνει εντελώς ηλεκτρονικά προσφέροντας πλήρη απόκρυψη.

4.9 ΣΥΡΟΜΕΝΑ ΚΥΜΑΤΑ

Τα συρόμενα κύματα και γενικά όλα τα επιφανειακά κύματα ακτινοβολίας που δημιουργούνται πάνω σ' ένα αεροσκάφος φάνηκε ότι επηρεάζουν σημαντικά το R.C.S., ειδικά αν συναντήσουν στην πορεία τους ασυνέχειες όπως κενά μεταξύ αρμών, αλλαγές υλικού ή ξαφνικές αλλαγές στο σχήμα. Κατά την σχεδίαση ενός αεροσκάφους stealth θα πρέπει να λαμβάνεται ειδική φροντίδα για την εξάλειψη όλων αυτών των κενών, είτε κλείνοντας τα με ειδικά ηλεκτρικά αγώγιμα υλικά (όπως στην περίπτωση του

B-1B), είτε ελαχιστοποιώντας τις ανοχές μεταξύ των κενών μέσω της υιοθέτησης εξαιρετικά υψηλών ποιοτικών προδιαγραφών (όπως στην κατασκευή του B-2). Φυσικά και οι δύο μέθοδοι έχουν κατά πολύ αυξημένο κόστος σε σχέση με τους συνηθισμένους τρόπους κατασκευής. Τα flaps και slats που υπάρχουν συνήθως σε μια πτέρυγα μπορούν να δημιουργήσουν τέτοιες ασυνέχειες ειδικά όταν χρησιμοποιούνται για την διενέργεια ελιγμών. Όταν ένα αεροσκάφος όπως το F-14 Tomcat που έχει πτέρυγες μεταβλητής γεωμετρίας, ρυθμίσει την γωνία των πτερυγών του στη διαμόρφωση ελιγμών μάχης, τότε η γεωμετρία της πτέρυγας αλλάζει ριζικά και δημιουργούνται πολύ μεγάλα κενά και ασυνέχειες στο σύνολο του σχήματος του αεροσκάφους αυξάνοντας το R.C.S..

Ένα συρόμενο κύμα καθώς θα κυλάει πάνω στην επιφάνεια του αεροσκάφους, τελικά κάποια στιγμή θα συναντήσει μια αναπόφευκτη ασυνέχεια φτάνοντας στο σημείο που τελειώνει η άτρακτος, δηλαδή είτε στην άκρη του ρύγχους, είτε στην άκρη της ουράς ή του ακροφυσίου του κινητήρα. Ο καλύτερος τρόπος για ν' αντιμετωπιστεί αυτό είναι να μειωθεί η ισχύς του κύματος πριν φτάσει σ' αυτά τα σημεία. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος για να γίνει αυτό είναι η χρήση υλικών R.A.M. στην επιφάνεια της ατράκτου. Οι μηχανικοί θα πρέπει επίσης να εξαλείψουν μικρές εκτεθειμένες οπές ή κοιλότητες όπως τα στόμια των πυροβόλων, παράθυρα αισθητήρων ή σωλήνες εναέριου ανεφοδιασμού.

Τα περισσότερα απ' αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να καλυφθούν με μικρές ανασυρόμενες θυρίδες. Ειδικά για τους σωλήνες εναέριου ανεφοδιασμού, η καλύτερη λύση είναι να μένουν κρυμμένοι μέσα στην άτρακτο και ν' ανασύρονται μόνο όταν χρειάζεται για τον ανεφοδιασμό. Αυτό ισχύει για τ' αεροσκάφη που χρησιμοποιούν τη μέθοδο ανεφοδιασμού "Probe and Drogue", όπου το αεροσκάφος που θ' ανεφοδιαστεί διαθέτει σωλήνα (Probe) και το ανεφοδιαστικό αεροσκάφος ένα συρόμενο ανεμούριο (Drogue). Η δεύτερη μέθοδος εναέριου ανεφοδιασμού που υπάρχει ονομάζεται "Boom" και έχει την αντίθετη φιλοσοφία σκέψης. Εδώ το ανεφοδιαστικό αεροσκάφος διαθέτει έναν μεγάλο σωλήνα που επεκτείνει προς το ανεφοδιαζόμενο, το οποίο διαθέτει υποδοχή.



Εικόνα 4.8 : Ένα Tornado F3 της RAF εκτείνει τον σωλήνα εναέριου ανεφοδιασμού που είναι κρυμμένος μέσα στο ρύγχος. Η τεχνική αυτή περιορίζει το R.C.S. του αεροσκάφους.

Η υποδοχή αυτή μπορεί σχετικά εύκολα να καλυφθεί μ' ένα συρόμενο κάλυμμα. Σχεδόν όλα τα ευρωπαϊκά αεροσκάφη και μερικά αμερικανικά (του αμερικανικού πολεμικού ναυτικού-U.S.Navy) χρησιμοποιούν την πρώτη μέθοδο, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιείται στην ουσία μόνο απ' τα αεροσκάφη της αμερικανικής πολεμικής αεροπορίας (U.S.A.F.) η οποία όμως διαθέτει τα κυριότερα σημερινά αεροσκάφη stealth. Άλλα συμβατικά χαρακτηριστικά τα οποία το ραντάρ βλέπει σαν ασυνέχειες που αυξάνουν το ίχνος του αεροσκάφους, είναι οι μικρές αεροδυναμικές επιφάνειες, διάφορες προεξοχές, γρίλιες, θόλοι, καθώς και τ' ατρακτίδια των ακροπτερυγίων. Αν προεξέχουν ακόμα και τα πριτσίνια του αεροσκάφους ή άλλα τέτοια συνδετικά εξαρτήματα όπως βίδες, μπορούν να λειτουργήσουν σαν ανακλαστήρες της ακτινοβολίας. Όλα αυτά τα στοιχεία θα πρέπει να σχεδιαστούν με ελάχιστο ηλεκτρομαγνητικό ίχνος κι αν είναι απαραίτητο να καλυφθούν με υλικά R.A.M..

4.10 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΑΙ ΟΠΛΩΝ

Όπως φαίνεται είναι πολύ σημαντικό για ένα αεροσκάφος stealth να είναι όσο το δυνατόν πιο «καθαρό», γίνεται από περιττά εξωτερικά στοιχεία που επιβαρύνουν το R.C.S.. Η ανάγκη αυτή αποκλείει εξ αρχής τους συνηθισμένους τρόπους μεταφοράς οπλικών ή άλλου είδους φορτίων εξωτερικά. Τα φορτία αυτά περιλαμβάνουν πυραύλους, βόμβες, ειδικά ατρακτίδια εξοπλισμού και εξωτερικές δεξαμενές καυσίμου, αν κι αυτές θα μπορούσαν ν' απορριφθούν στον αέρα μετά την κατανάλωση του καυσίμου που θα φέρουν κι οπωσδήποτε πριν την άφιξη του αεροσκάφους στην εχθρική ζώνη. Τα φορτία αυτά θα πρέπει να μεταφέρονται είτε σε ειδικά διαμορφωμένες θέσεις ημι-θαμμένες στην άτρακτο, είτε σε ειδικά διαμορφωμένες εσωτερικές αποθήκες οι οποίες θ' ανοίγουν μόνο κατά τη διάρκεια της άφησης των όπλων. Μάλιστα θα πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα ώστε το άνοιγμα και το κλείσιμο των θυρίδων να διαρκεί όσο το δυνατόν λιγότερο, καθώς θα μεταβάλλεται ριζικά το ίχνος του αεροσκάφους. Επίσης, όλες οι συσκευές ηλεκτρονικού πολέμου κι οι συσκευές οπτικής ανίχνευσης και στόχευσης θα πρέπει να μεταφέρονται εσωτερικά του αεροσκάφους. Αν για κάποιο λόγο κάποιο είδος φορτίου πρέπει οπωσδήποτε να μεταφερθεί εξωτερικά, μια καλή λύση θα ήταν η μεταφορά του μέσα σ' ένα κέλυφος από υλικά R.A.M..



Εικόνα 4.9 : Ένα F-15E με μεγάλο οπλικό φορτίο αναρτημένο κάτω απ' τις πτέρυγες και την άτρακτο. Συνολικά μεταφέρει 4 πυραύλους αέρος-αέρος, 4 βόμβες κατευθυνόμενες με laser, 2 δεξαμενές καυσίμων κι ένα ατρακτίδιο στόχευσης. Η επιβάρυνση στο συνολικό R.C.S. είναι τεράστια.

Η λύση αυτή είναι παρόμοια με την μεταφορά από πολεμικά πλοία όλων σχεδόν των πυραύλων εναντίον πλοίων που χρησιμοποιούν οι ναυτικές δυνάμεις, όπως για παράδειγμα οι Harpoon ή οι Exocet. Οι πύραυλοι αυτοί μεταφέρονται μέσα σε κυλινδρικούς φορείς απ' τους οποίους εκτοξεύονται ξεδιπλώνοντας τα πτερύγια κατεύθυνσής τους. Οι πύραυλοι εναντίον αεροσκαφών και κάποιες μικρού βάρους βόμβες θα μπορούσαν να μεταφερθούν από ένα αεροσκάφος με παρόμοιο τρόπο μέσα σ' ένα είδος κοντέινερ από υλικά R.A.M.. Για να μειωθεί ο χώρος που καταλαμβάνουν τα βλήματα στην θύρα των όπλων ή το είδος του μεταφορέα όπλων που περιγράφεται παραπάνω, είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθούν αναδιπλούμενα ή κομμένα ακροπτερύγια. Ένα απ' τα όπλα που προορίζονται να εξοπλίσουν το κύριο αναχαιτιστικό αεροσκάφος τεχνολογίας stealth της U.S.A.F., το F-22 Raptor, είναι ο προηγμένος πύραυλος αέρος-αέρος μέσης εμβέλειας AIM-120 AMRAAM. Η έκδοση του πυραύλου AIM-120c5 είναι η πρώτη που θα εισάγει

τα κομμένα ακροπτερύγια και μικρότερες αεροδυναμικές επιφάνειες που θα επιτρέψουν τη μεταφορά περισσότερων βλημάτων στην εσωτερική θυρίδα οπλισμού του F-22, έξι βλήματα αντί για τέσσερα που σχεδιαζόταν αρχικά. Μία άλλη παράμετρος που θα πρέπει να μελετηθεί είναι το ουραίο τμήμα του πυραύλου, όπου βρίσκεται και ο πυραυλοκινητήρας. Αυτού του είδους η προώθηση δημιουργεί ιονισμένα αέρια απ' την εκτόνωση της καύσιμης ύλης, τα οποία αντανakλούν εξαιρετικά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, κάτι που είναι εντελώς ανεπιθύμητο για έναν πύραυλο τεχνολογίας stealth ή για ένα αεροσκάφος stealth που θέλει να παραμείνει αθέατο ακόμα και όταν εξαπολύει τα όπλα του.



Εικόνα 4.10 : Ένα FA-22 επιδεικνύει τις δύο εσωτερικές θυρίδες οπλισμού που διαθέτει κάτω απ' την άτρακτό του. Μ' αυτόν τον τρόπο μεταφοράς το οπλικό φορτίο δεν επιβαρύνει το συνολικό R.C.S..

Μια πιθανή λύση στο πρόβλημα αυτό θα ήταν η χρησιμοποίηση ενός κινητήρα που να δουλεύει με την ροή του αέρα, όπως για παράδειγμα οι turbojet ή ένας μικρός turbofan. Η μετακίνηση όλου του οπλικού φορτίου σε μια εσωτερική θυρίδα και η εξάλειψη των παραδοσιακών ατρακτιδίων αισθητήρων στόχευσης ή ηλεκτρονικού πολέμου (Electronic Warfare-E.W.) μειώνουν το R.C.S., αλλά παράλληλα μειώνουν τον διαθέσιμο εσωτερικό

χώρο για τα καύσιμα. Η χρήση μιας εσωτερικής θυρίδας όπλων μπορεί επίσης να μειώσει το μέγιστο φορτίο όπλων, ενώ η εξάλειψη των εξωτερικών ατρακτιδίων αποτρέπει την γρήγορη μελλοντική αναβάθμιση των αεροσκαφών στα ηλεκτρονικά συστήματα. Άξιο φαντασίας είναι το πόσο αργά θα είχαν αναπτυχθεί τα συστήματα E.W. κατά τη διάρκεια του πολέμου Βιετνάμ, εάν όλος ο ζωτικός εξοπλισμός παρεμβολών (Jamming) έπρεπε να τοποθετηθεί εσωτερικά αντί σαν φορτίο στις πτέρυγες. Ο στόλος των μαχητικών stealth, γενικά δεν θα μπορεί να' χει αυτή την ικανότητα της γρήγορης αντίδρασης στις αλλαγές που θα επιβάλλουν οι μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα του ηλεκτρονικού πολέμου. Εάν για παράδειγμα προκύψει μια ξαφνική απαίτηση για έναν νέο αισθητήρα ή ένα E.W., θα πρέπει να βρεθεί χώρος μεταφοράς μέσα σ' ένα ήδη ασφυκτικά εξοπλισμένο αεροσκάφος. Το μέλλον στην περίπτωση αυτή είναι αντί της προσθήκης νέων μηχανημάτων, ο επαναπρογραμματισμός των ήδη υπαρχόντων με την βοήθεια της σύγχρονης πληροφορικής ή η εξ ολοκλήρου αντικατάσταση των παλιών με σύγχρονες συσκευές. Αυτό φυσικά συνεπάγεται και μεγαλύτερο κόστος.

4.11 ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Το γεγονός ότι τ' αεροσκάφη stealth κατασκευάζονται από συνθετικά υλικά έχει ήδη ριζώσει βαθιά στην αντίληψη αυτών που ασχολούνται με την αεροπορική τεχνολογία. Η δημοφιλής θεωρία είναι ότι τελικά τα συνθετικά υλικά δεν είναι μέταλλο και άρα δεν φαίνονται στο ραντάρ. Αυτό που μπορεί να εκπλήξει κάποιους όμως, είναι ότι η χρήση των συνθετικών υλικών δεν είναι ένα απ' τα σημαντικότερα μέτρα μείωσης του R.C.S.. Ένα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση του ελαφρού βομβαρδιστικού αεροσκάφους De Havilland Mosquito του Β' παγκοσμίου πολέμου. Η άτρακτος και οι πτέρυγες του συγκεκριμένου αεροσκάφους κατασκευάζονταν από ξύλο, ένα υλικό που δεν αντανάκλα την ακτινοβολία του ραντάρ και είναι εντελώς διαπερατό απ' αυτήν, ωστόσο το Mosquito δεν ήταν αόρατο στα ραντάρ, αλλά φαινόταν κανονικά.

Η αλήθεια είναι ότι η κατασκευή ενός αεροσκάφους από υλικά που είναι διαπερατά στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, δίνει στο ραντάρ μια πολύ καλή άποψη του εσωτερικού του αεροσκάφους κι όλων των μεταλλικών αντικειμένων που βρίσκονται εκεί και που φυσικά αντανάκλούν την ακτινοβολία, στην περίπτωση του Mosquito δηλαδή των αντλιών καυσίμων, των κινητήρων, της ηλεκτρικής καλωδίωσης και των συσκευών αεροναυτιλίας και ηλεκτρονικών της εποχής. Το ίδιο θα συμβεί και σ' όλα τ' αεροσκάφη που θα κατασκευαστούν μ' αυτόν τον τρόπο. Στα περισσότερα αεροσκάφη stealth οι εξωτερικές επιφάνειες είναι βαμμένες μ' ένα μεταλλικό χρώμα, έτσι ώστε το ραντάρ να μη μπορεί να διαπεράσει τα συνθετικά υλικά και να «δει» το εσωτερικό του αεροπλάνου. Ο ρόλος που διαδραματίζουν τα συνθετικά υλικά στη μείωση του R.C.S. είναι λίγο πιο διακριτικός και λεπτός. Ο άνθρακας είναι ένας σχετικά κακός αγωγός της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή των αντιστατών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ηλεκτρονικών. Η εποξική ρητίνη είναι ένας μονωτής. Κατά συνέπεια η ηλεκτρική αγωγιμότητα των συνθετικών υλικών είναι πολύ χαμηλή. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια του ραντάρ που φτάνει σε μια δομή ή ένα πάνελ από συνθετικά υλικά, δεν μπορεί να δημιουργήσει τα ηλεκτρικά και μαγνητικά ρεύματα που χρειάζονται για την αντανάκλαση πίσω στο ραντάρ και τη δημιουργία συρόμενων κυμάτων. Μέχρι το 1981 η Northrop είχε περισσότερες από τριάντα χρηματοδοτούμενες συμβάσεις με αξία περίπου 50 εκατομμύρια δολάρια για την ανάπτυξη προηγμένης τεχνολογίας συνθετικών υλικών. Στις αρχές της δεκαετίας του '80 η εταιρεία κατασκεύασε πειραματικές δομές που υποβλήθηκαν έπειτα σε μια μακροχρόνια μελέτη για να ερευνηθεί η επίδραση των θερμικών ακίδων της ακτινοβολίας από πυρηνικές εκρήξεις και της ενέργειας λέιζερ.

4.12 ΥΛΙΚΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ PANTAR (Radar Absorbent Materials-R.A.M.)

Στην προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί το R.C.S., ένας πιο χρήσιμος σύμμαχος θα είναι ο ενισχυμένος άνθρακας-άνθρακας (Reinforced Carbon Carbon-R.C.C.). Αυτός δημιουργείται με το ψήσιμο και την ενανθράκωση μιας

μήτρας που περιέχει ίνες άνθρακα. Σαν υλικό είναι δυνατό κι εξαιρετικά ανθεκτικό στην θερμότητα. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων του χρησιμοποιείται στην κατασκευή βλημάτων ή οχημάτων επανεισόδου στην ατμόσφαιρα, καθώς επίσης στο ρύγχος και τα χείλη προσβολής των πτερυγών του αμερικανικού διαστημικού λεωφορείου αποτελώντας μέρος της θερμικής του ασπίδας. Μ' αυτά τα στοιχεία συμπεραίνουμε ότι ο R.C.C. θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή εξαγωγών κινητήρων ή ακροφυσίων χαμηλού R.C.S..

Για τους μηχανικούς η σημασία του R.C.C. είναι ότι συνδυάζει αυτές τις φυσικές αρετές που έχει με μία άλλη πολύ χρήσιμη ιδιότητα, την ικανότητα ν' απορροφά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία των ραντάρ. Μόλις εντοπιστούν και προσδιοριστούν τα κύρια προβλήματα αντανάκλασης σ' ένα αεροσκάφος, οι σχεδιαστές κι οι μηχανικοί μπορούν να τροποποιήσουν το σχέδιο και να χρησιμοποιήσουν ειδικά υλικά στα «τρωτά» σημεία. Οι αντανάκλασεις μπορούν να μειωθούν με τη βοήθεια υλικών απορρόφησης ακτινοβολίας (R.A.M.), που θεωρούνται ως τα ισοδύναμα αντίστοιχα για το ραντάρ του μαύρου φινιρίσματος των κάτω επιφανειών των πτερυγών των βομβαρδιστικών αεροσκαφών του Β' παγκοσμίου πολέμου. Υπάρχουν δύο ευρείες κατηγορίες R.A.M., τα συντονισμένα και τα ευρυζωνικά.

Οι συντονισμένοι απορροφητές σχεδιάζονται για χρήση σε μία συγκεκριμένη συχνότητα μόνο, αλλά διατηρούν παράλληλα κάποια αποτελεσματικότητα μέσα σ' ένα μικρό φάσμα των συχνοτήτων από κάθε πλευρά του ονομαστικού λειτουργούντος σημείου. Τα ευρυζωνικά R.A.M. διατηρούν την αποτελεσματικότητά τους σ' ένα πολύ μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων.

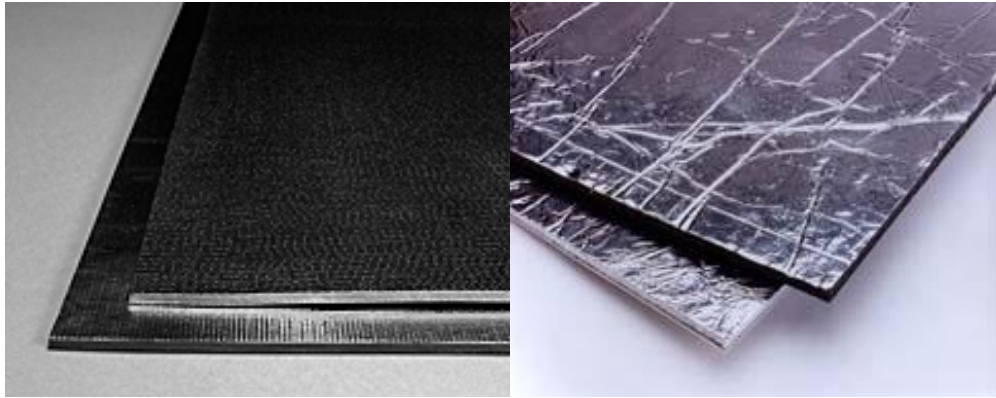
4.12.1 Συντονισμένοι Απορροφητές

Ο απλούστερος τύπος συντονισμένου R.A.M. είναι ο απορροφητής τύπου "σάντουιτς". Αυτός λειτουργεί με την ίδια αρχή που λειτουργούν τα χρωματισμένα μπλε ή καφέ αντανάκλαστικά οπτικά επιστρώματα που χρησιμοποιούνται στους φακούς των φωτογραφικών μηχανών, οπτικών οργάνων ή ακόμα και των γυαλιών. Όταν το φως «χτυπά» έναν τέτοιο φακό,

ένα μέρος αντανakλάται απ' το επίστρωμα και το υπόλοιπο περνά από μέσα του και «χτυπά» το μπροστινό πρόσωπο του φακού όπου εκεί πάλι ένα μέρος αντανakλάται, ενώ το υπόλοιπο διαπερνά μέσα στον φακό. Υπάρχουν τώρα δύο αντανakλάσεις που πρέπει να εξεταστούν. Η προσεκτική επιλογή του υλικού του επιστρώματος θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι τα ποσά που αντανakλώνται απ' το επίστρωμα και το γυαλί είναι παρόμοια. Το επίστρωμα κανονίζεται έτσι ώστε να έχει πάχος ίσο με το $1/4$ το μήκους κύματος του ορατού φωτός.

Σαν αποτέλεσμα η αντανakλαση απ' την επιφάνεια γυαλιού έχει ταξιδέψει μία πρόσθετη απόσταση που συνολικά ισοδυναμεί με το $1/2$ του μήκους κύματος, απ' την ώρα που αυτό επανεμφανίζεται απ' το επίστρωμα και συναντά την αντανakλαση απ' την μπροστινή επιφάνεια του επιστρώματος. Εκείνο το ζωτικής σημασίας $1/2$ μήκος κύματος, κάνει τα δύο κύματα του φωτός να έχουν διαφορετική φάση το ένα με τ' άλλο. Καθώς το ένα κύμα αυξάνεται πάνω απ' το μηδέν, το άλλο πέφτει κάτω απ' το μηδέν κατά ίσο, αλλά αντίθετο ποσό. Έτσι το ένα είναι το ακριβώς αντίθετο του άλλου και τα δύο μαζί ακυρώνονται μεταξύ τους, μία διαδικασία που είναι γνωστή ως καταστρεπτική παρέμβαση. Θεωρητικά, όλη η αντανakλαση θα πρέπει να εξαφανιστεί, αλλά η ακύρωση δεν είναι ποτέ τέλεια κι έτσι κάποια ελάχιστη αντανakλαση παραμένει. Τα πρώτα συντονισμένα R.A.M. χρησιμοποιούσαν την ίδια αρχή.

Το επονομαζόμενο "Προστατευτικό του Σάλσμπερυ" (Salisbury Screen) αποτελούνταν από ένα λεπτό φύλλο ενός ανθεκτικού υλικού που βρισκόταν σε μια απόσταση $1/4$ του μήκους κύματος από μια υποστηρικτική μεταλλική πλάκα, δίπλα από έναν χαμηλό διηλεκτρικό διαχωριστή. Τα διηλεκτρικά υλικά έχουν την ιδιότητα ν' αντιστέκονται στο ηλεκτρικό ρεύμα, αλλά παράλληλα επιτρέπουν στις ηλεκτροστατικές ή ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις να περάσουν ελεύθερα.



Εικόνα 4.11 : Δύο φωτογραφίες που δείχνουν μία σύγχρονη παραλλαγή του προστατευτικού απορρόφησης ακτινοβολίας “Salisbury Screen”.

Στο Salisbury Screen, αυτό υλοποιείται συχνά στη μορφή ενός ειδικά σχεδιασμένου αφρού υλικών ή κάποιου άλλου κυψελοειδούς υλικού. Ένας άλλος γνωστός απορροφητής είναι το "στρώμα Dallenbach" (Dallenbach Layer), που χρησιμοποιείται κι αυτό για την μείωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Αν και τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως για πολλές εφαρμογές όπως η ελάττωση των επιστροφών ραντάρ απ' τα κτίρια στ' αεροδρόμια ή στα λιμάνια (εφαρμογές στις οποίες μία μόνο ή το πολύ μερικές συχνότητες, πρέπει ν' αντιμετωπιστεί με ελάχιστο κόστος), οι απορροφητές παρέμβασης έχουν περιορισμένο εύρος κάλυψης συχνοτήτων κι είναι σχετικά ογκώδεις, άρα δεν είναι και πολύ χρήσιμο για εφαρμογές πάνω σ' αεροσκάφη stealth.

4.12.2 Διηλεκτρικά Υλικά R.A.M.

Στους πρακτικότερους τύπους συντονισμένων απορροφητών (περιορισμένης ζώνης), δύο τρόποι χρησιμοποιούνται για ν' απορροφηθεί η εισερχόμενη ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ραντάρ: α) καταστρεπτική παρέμβαση μεταξύ των αντανάκλασεων απ' την επιφάνεια και την πλάκα υποστήριξης και β) μείωση της ενέργειας του κύματος απ' το διηλεκτρικό υλικό. Αυτός ο τύπος υλικού είναι γνωστός ως "διηλεκτρικά φορτισμένος απορροφητής". Ο στόχος των σχεδιαστών υλικών τύπου R.A.M. είναι να

δημιουργήσει ένα υλικό, η μπροστινή επιφάνεια του οποίου θ' αφήσει να μπει μέσα του ένα κύμα ραντάρ αντί να το αντανakλάσει. Απ' τη στιγμή που θα μπει μέσα στο υλικό, το κύμα ραντάρ θα πρέπει έπειτα ν' απορροφηθεί απελευθερώνοντας την ενέργεια του υπό μορφή θερμότητας. Για δεκαετίες, οι κατασκευαστές υλικών έχουν κατασκευάσει ηλεκτρικούς αντιστάτες από άνθρακα, έτσι είναι αρκετά φυσικό το γεγονός ότι το ίδιο υλικό αποτελεί τη βάση πολλών τύπων R.A.M.. Όταν τα κύματα ραντάρ χτυπούν ένα τέτοιο R.A.M., η περιορισμένη αγωγιμότητα του προκαλεί απώλειες, όπως και η προσπάθεια που πρέπει να κάνουν τα μόρια ώστε ν' ακολουθήσουν εναλλακτικά πεδία. Αυτό το υλικό είναι γνωστό ως "διηλεκτρικό R.A.M. απωλειών". Αν το διηλεκτρικό R.A.M. ήταν η μόνη λύση, η τεχνολογία stealth ίσως να μην είχε αφήσει ποτέ το εργαστήριο.

Ευτυχώς ένας δεύτερος τύπος R.A.M. έχει αναπτυχθεί, που αποδείχτηκε πολύ ευκολότερος να εφαρμοστεί πάνω σε πολλούς τύπους δομών αεροσκαφών. Γνωστό ως μαγνητικό R.A.M., αυτός ο τύπος είναι βασισμένος πάνω σε μαγνητικό υλικό όπως ενώσεις σιδήρου, Φερρίτες (κεραμικές ενώσεις σιδηρομαγνητικών υλικών) ή καρβονυλικού σιδήρου. Αυτά τα υλικά ενσωματώνονται συχνά σε φύλλα φυσικού ή συνθετικού λάστιχου που μπορεί εύκολα να κολληθεί στην επιθυμητή θέση. Ένας συντονισμένος απορροφητής βασισμένος σε μαγνητικά υλικά λειτουργεί με τον ίδιο σχεδόν τρόπο με το διηλεκτρικά φορτισμένο αντίστοιχό του, συνδυάζοντας την καταστρεπτική παρέμβαση με τη μείωση. Εδώ η ενέργεια διαλύεται καθώς τα μαγνητικά δίπολα μέσα στο υλικό κινούνται σε αντίδραση στην ενέργεια του ραντάρ. Το ποσό του υλικού απωλειών και συνδέσμων επιλέγονται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να παρέχονται τα βέλτιστα ηλεκτρομαγνητικά χαρακτηριστικά για το φάσμα των συχνοτήτων που ο σχεδιαστής προσπαθεί ν' αντιμετωπίσει.

4.12.3 Απορροφητές Φερρίτη (Ferrite Absorber)

Οι περισσότεροι απ' όσους έχουν ένα κασετόφωνο, ένα βίντεο εικόνας ή ένα CD player, θα ξέρουν σίγουρα την εταιρεία TDK. Η επιχείρηση αυτή είναι ο μεγαλύτερος κατασκευαστής μαγνητικών ταινιών καταγραφής ταινιών

στο κόσμο. Την πρωτοπορεία αυτή την οφείλει στον δόκτορα Yogoro Kato του βιομηχανικού πανεπιστημίου του Τόκιο, το οποίο έδωσε τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας για τον τότε ανακαλυφθέντα Φερρίτη σ' έναν ριψοκίνδυνο επιχειρηματία το 1932. Αυτή η συνεργασία οδήγησε στην ίδρυση της TDK. Στη δεκαετία του '70, η επιχείρηση συνεργάστηκε με την NEC για να μελετήσει μεθόδους για την μείωση της μόλυνσης του νερού από μέταλλα που έριχναν σ' αυτό ιαπωνικά χαλυβουργεία. Μαθαίνοντας μ' αυτόν τον τρόπο πώς να μετατρέψουν τα ιζήματα απ' τα απόβλητα μέταλλα σε χαμηλού βαθμού Φερρίτη, προσπάθησαν να βρουν μια εμπορική εφαρμογή γι' αυτό που ήταν ουσιαστικά ένα προϊόν αποβλήτων.

Μια εφαρμογή που ανακαλύφθηκε τυχαία, ήταν η δημιουργία υλικού R.A.M.. Αναμειγνύοντας μαγνητικό υλικό μ' ένα εποξικό υγρό, η NEC προσπάθησε ν' αναπτύξει ένα χρώμα που θα μπορούσε να εφαρμοστεί στη δομή των μεταλλικών γεφυρών για να μειώσει την ανακλαστικότητα τους στα ραντάρ. Μια δοκιμή που πραγματοποιήθηκε το 1979 αποδείχτηκε απογοητευτική. Το επίστρωμα του χρώματος που εφαρμόστηκε στη γέφυρα απορρόφησε ένα περιορισμένο ποσό ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας ραντάρ, αλλά όχι σ' ένα αρκετά ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Οι απορροφητές περιορισμένης ζώνης μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν σε οποιαδήποτε συχνότητα, αλλά για μία πρακτική εφαρμογή stealth απαιτείται μια ευρύτερη κάλυψη. Ένας τρόπος για να γίνει αυτό, είναι ένας πολυστρωματικός απορροφητής, κάθε στρώμα του οποίου έχει ως σκοπό ν' αντηχήσει σε μια διαφορετική συχνότητα. Ένα απλό παράδειγμα είναι η πολυστρωματική οθόνη του Σάλσμπερυ. Η προσθήκη πρόσθετων ανθεκτικών φύλλων και διαχωριστών διευρύνει το φάσμα των συχνοτήτων από κάθε πλευρά της ονομαστικής συχνότητας της σχεδίασης.

Για καλύτερα αποτελέσματα, η ειδική αντίσταση κάθε φύλλου κανονίζεται να είναι χαμηλότερη απ' αυτό που είναι μπροστά του, έτσι ώστε το εισερχόμενο κύμα να συναντά φύλλα συνεχώς μειωμένης ειδικής αντίστασης. Αυτό το προστατευτικό φίλτρο, γνωστό ως απορροφητής Jaumann, μπορεί να έχει δύο, τρία, τέσσερα ή ακόμα κι έξι στρώματα. Δεδομένου ότι όλα τα στρώματα χωρίζονται με το ίδιο διάστημα μεταξύ τους, το συνολικό πάχος του προστατευτικού αυξάνεται αναλόγως. Ο όγκος του όμως το καθιστά ακατάλληλο για τις περισσότερες αεροπορικές εφαρμογές. Μία πρώτη

πρακτική εφαρμογή του απορροφητή Jaumann, ήταν ένα υλικό R.A.M. που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου απ' το γερμανικό πολεμικό ναυτικό (Kriegsmarine) για τα υποβρύχια του (U-boats).

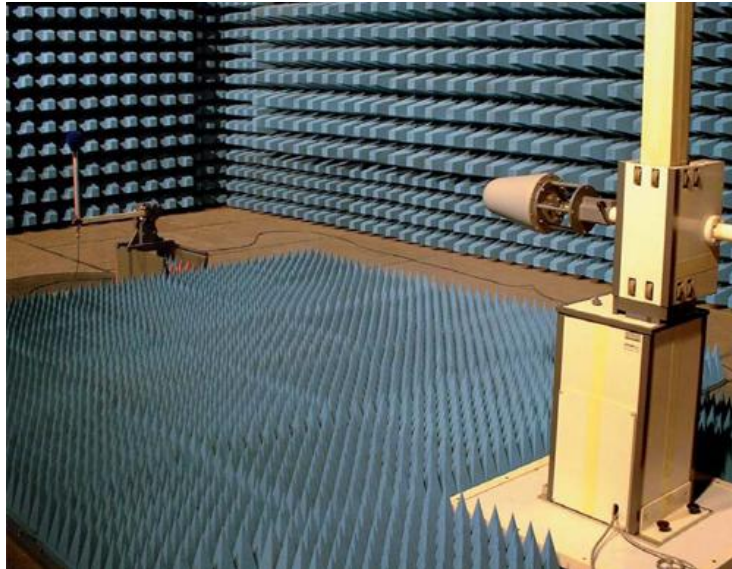
Αποτελούνταν από επτά στρώματα ενανθρακωμένου χαρτιού, καθ' ένα απ' τα οποία είχε αυξανόμενη αγωγιμότητα, χωρισμένα από στρώματα διηλεκτρικού πλαστικού αφρού. Ήταν αρκετά αποτελεσματικό στη ζώνη συχνότητας 3 cm και 10 cm, αλλά είχε πάχος 2.5 in (6.35 cm) και ήταν πολύ άκαμπτο. Κατά συνέπεια δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ στα επιχειρησιακά υποβρύχια.

4.12.4 Πυραμιδικός Απορροφητής

Γι' άλλη μια φορά, μία πρακτικότερη λύση μπορεί να βρεθεί σε διηλεκτρικά φορτισμένα και μαγνητικά φορτισμένα υλικά. Θεωρητικά, αυτό που θα πρέπει να κάνει το ιδανικό R.A.M., είναι να ταιριάζει βαθμιαία την σύνθετη αντίσταση το αέρα μ' αυτήν του μεταλλικού δέρματος των αεροσκαφών. Εάν αυτό ήταν επιτευκτό-εφικτό, το εισερχόμενο κύμα ραντάρ δεν θα συναντούσε ποτέ μια αλλαγή, στη σύνθετη αντίσταση, αρκετά ισχυρή ώστε να προκαλέσει μία αντανάκλαση. Οι πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία διαβαθμισμένου υλικού, περιελάμβαναν τη βύθιση τούφας ζωικής τρίχας σ' ένα αγωγίμο μείγμα άνθρακα και νεοπρενίου.

Το μείγμα κολλούσε στις τρίχες, αλλά καθώς μετά τις άπλωναν οριζόντια για να ξεραθούν, το μείγμα έτεινε να ρέει προς τα κάτω δημιουργώντας μια τραχιά διηλεκτρική κλίση. Το υλικό που προέκυπτε απ' την διαδικασία αυτή, χρησιμοποιήθηκε κυρίως σ' εργαστήρια και στους τοίχους των πρώτων ανηχοϊκών αιθουσών δοκιμής που αναπτύχθηκαν για την εσωτερική δοκιμή κεραιών. Μία πρακτικότερη μέθοδος για να διαβαθμιστεί το διηλεκτρικό, είναι να εφαρμοστεί το υλικό σε μια πυραμίδα, η κορυφή της οποίας είναι στραμμένη προς την κατεύθυνση του κύματος ραντάρ. Καθώς το κύμα προωθείται κατά τον διαμήκη άξονα της πυραμίδας, εκτίθεται σ' όλο και περισσότερο διηλεκτρικό υλικό. Αυτή η τεχνική είναι ιδανική για χρήση στην κατασκευή ανηχοϊκών αιθουσών. Το διηλεκτρικό που χρησιμοποιείται εδώ είναι ενανθρακωμένος αφρός πλαστικού. Ένας πυραμιδικός απορροφητής αυτού του τύπου δεν είναι πρακτικός για χρήση σε αεροσκάφη εκτός εάν

χρησιμοποιηθεί σε μία δισδιάστατη μορφή, «θαμμένος» μέσα στα χείλη προσβολής ή εκφυγής των πτερυγών. Αυτός ο τύπος υλικού χρησιμοποιήθηκε στις πτέρυγες του Lockheed SR-71 και μπορεί να φανεί σε μερικές φωτογραφίες των αεροσκαφών όταν βρισκόντουσαν υπό κατασκευή.



Εικόνα 4.12α : Ένας θάλαμος ηλεκτρομαγνητικών δοκιμών εξοπλισμένος με πυραμιδικούς απορροφητές στους τοίχους, την οροφή και το δάπεδο.



Εικόνα 4.12β : Πυραμιδικοί απορροφητές.

Τα πυραμιδικά R.A.M. ή το R.A.M. ζωικής τρίχας μπορεί να είναι ικανοποιητικά για εργαστηριακή χρήση ή για επεξεργασία πάνω σε μεγάλες δομικές κατασκευές, αλλά είναι πάρα πολύ ογκώδη για τις περισσότερες αεροδιαστημικές εφαρμογές. Αν θεληθεί να κατασκευαστεί κάτι πιο πρακτικό, θα πρέπει να δημιουργήσουμε την επιθυμητή διηλεκτρική διαβάθμιση διαμορφώνοντας κατάλληλα το υλικό με πολλαπλά στρώματα διηλεκτρικού.

Εάν πρέπει ν' αντιμετωπιστεί μόνο ένας περιορισμένος αριθμός συχνοτήτων ραντάρ, τότε ένα πολυστρωματικό υλικό R.A.M. περιορισμένης ζώνης μπορεί να έχει ένα απ' τα στρώματα του σχεδιασμένο ειδικά ν' αντιμετωπίσει μόνο μία ζώνη κι ένα δεύτερο στρώμα σχεδιασμένο για κάποια άλλη ζώνη. Τα ευρυζωνικά υλικά R.A.M. δημιουργούνται κανονικά με την προσθήκη ενός ενανθρακωμένου πλαστικού υλικού, όπως είναι ο αφρός πολυουρεθανίου. Αυτό δημιουργεί το απαραίτητο "διηλεκτρικό απωλειών". Όσο παχύτερο το υλικό, τόσο καλύτερη η απορρόφηση. Μέγιστες τιμές από 90 έως 99,9% , είναι επιτεύξιμες-εφικτές.

4.12.5 Μαγνητικός Απορροφητής

Πολύ λίγες πληροφορίες έχουν δημοσιευθεί για τα χαρακτηριστικά της μπογιάς από Φερρίτη, που συχνά αποκαλείται το χρώμα των "σιδερένιων σφαιρών" στις διάφορες ανακοινώσεις τύπου της τεχνολογίας stealth. Το προηγμένο απορροφητικό προϊόν (Advanced Absorber Product) AAP-021, είναι ένα επίστρωμα βασισμένο στο πολυουρεθάνιο σε μορφή σπρέι. Είναι ένα βαρύ γκρίζο υγρό που ξεραίνεται ελεύθερο μέσα σε 40 λεπτά και σκληραίνει σε 12-24 ώρες.

Οι ιδιότητες R.A.M. που έχει, εξαρτώνται απ' το πάχος της επίστρωσης που εφαρμόζεται. Μία επίστρωση 0.76 mm (0.03 in) θα μειώσει αντανakλώμενη ενέργεια κατά ένα ποσό που αυξάνεται από 3 dB στα 6 GHz, σε 13 dB στα 18 GHz. Το μαγνητικό R.A.M. καθώς είναι βασισμένο σε μεταλλικά υλικά είναι βαρύ, επίσης έχει μια τάση να οξειδώνεται, μια διαδικασία που υποβαθμίζει πολύ την αποτελεσματικότητά του. Η οξείδωση είναι ιδιαίτερα δυνατή σε θερμοκρασίες πάνω από 500 °C (900 °F), δημιουργώντας έτσι προβλήματα σ' εφαρμογές όπως είναι τα υπερηχητικά αεροσκάφη ή τα βαλλιστικά οχήματα βλημάτων επανεισόδου. Όμως πέρα απ' τα μειονέκτημα αυτά, έχει και κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα. Είναι λεπτό και διατηρεί την αποτελεσματικότητά του και σε συχνότητες κάτω από 1 GHz. Ένα προστατευτικό του Σάλσμπερυ που προορίζεται να λειτουργήσει στα 100 MHz, θα ήταν 75 cm (29 in) παχύ.



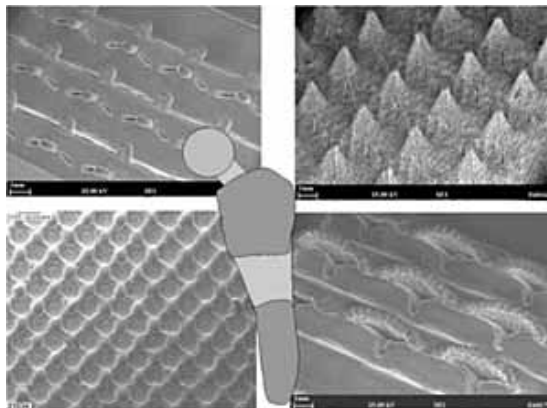
Εικόνα 4.13α : Βάψιμο του FA-22 με ειδικές μπογιές απορρόφησης ακτινοβολίας.



Εικόνα 4.13β : Το FA-22 βάφεται με τα χρώματα της παραλλαγής που χρησιμοποιεί. Η τεχνική χρησιμοποιούν ειδικές μπογιές με χαρακτηριστικά απορρόφησης ακτινοβολίας.

Ένα μαγνητικό R.A.M. ικανό να λειτουργήσει στην ίδια συχνότητα μπορεί να έχει μόνο το 1/10 του πάχους το διηλεκτρικού αντίστοιχού του.

Διαφορετικά μαγνητικά υλικά έχουν την μέγιστη απόδοσή τους σε διάφορες συχνότητες, αλλά αν διαταχθούν σε στρώματα το ένα πάνω στο άλλο θα δημιουργήσουν έναν απορροφητή ευρύτερης ζώνης.



Εικόνα 4.14 : Διάφορες φωτογραφίες από μικροσκόπιο που δείχνουν την δομή μιας ειδικής βαφής απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με βάση ένα κράμα Κοβαλτίου-Χρωμίου.

Η μπογιά από Φερρίτη μπορεί επίσης να ενεργήσει ως ηλεκτρικός αγωγός, συνδέοντας τα πάνελ μεταξύ τους. Το μαγνητικό R.A.M. είναι περισσότερο αποτελεσματικό στις χαμηλότερες συχνότητες, ενώ οι διηλεκτρικοί τύποι στις υψηλότερες συχνότητες. Η λογική προσέγγιση επομένως είναι να συνδυαστούν αυτά τα δύο δημιουργώντας υβριδικά R.A.M., που θα είναι αποτελεσματικά σ' ένα όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων. Ένα τυπικό προηγμένο πολυστρωματικό R.A.M. αυτού του τύπου σε υπηρεσία στο τέλος της δεκαετίας του '80 αποτελούνταν από τρία στρώματα. Τα εξωτερικά και τα εσωτερικά στρώματα ήταν εν μέρει ανακλαστικά στα ραντάρ και ενεργούσαν μάλλον όπως ένα Salisbury Screen. Το κεντρικό στρώμα ήταν φτιαγμένο από διηλεκτρικό υλικό απωλειών και προορίζονταν στο να κρατήσει περιορισμένη την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που είχε ανακλαστεί απ' το ενδότερο στρώμα γι' αρκετό χρονικό διάστημα μέχρι να επέλθει η ακύρωση της. Επίσης ενεργούσε σαν ένας παραδοσιακός διηλεκτρικός απορροφητής απωλειών.

4.12.6 Αναλογικά κυκλώματα

Ένας άλλος τύπος R.A.M. μπορεί να δημιουργηθεί με την αντικατάσταση του ανθεκτικού φύλλου που χρησιμοποιείται στους απορροφητές Salisbury ή Jaumann, μ' ένα άλλο στο οποίο το αγωγίμο υλικό τοποθετείται σε γεωμετρικά σχέδια, όπως οι λεπτές λωρίδες, τα πλέγματα, οι σταυροί ή ακόμα πιο σύνθετες μορφές. Το αποτέλεσμα είναι γνωστό ως απορροφητής αναλογικών κυκλωμάτων (Circuit Analogue-C.A.). Το υλικό αυτό προσφέρει μια υψηλότερη απόδοση για ένα δεδομένο όγκο απ' τους απλούστερους τύπους απορροφητών, αλλά θα πρέπει να σχεδιαστεί ειδικά για κάθε μία μεμονωμένη εφαρμογή, κάτι που κανονικά αντιμετωπίζεται από έναν πολύ ισχυρό υπολογιστή. Η τεχνολογία απορροφητών C.A. είναι κατά πάσα πιθανότητα η βασική αρχή πίσω από μία νέα μέθοδο παραγωγής καλυπτρών τεχνολογίας stealth.

Ο ευκολότερος τρόπος για την κατασκευή μιας καλύπτρας για ένα αεροσκάφος stealth αναφέρθηκε προηγουμένως και είναι η εφαρμογή ενός λεπτού στρώματος χρυσού ή ΐνδιου-Κασσιτέρου στο διαφανές υλικό. Αυτό το αγωγίμο στρώμα κρατά την ακτινοβολία του ραντάρ έξω απ' το πιλοτήριο, αλλά τείνει να την αντανακλά. Μία πιο πρόσφατη τεχνική περιλαμβάνει την μετατροπή ολόκληρης της διάφανης επιφάνειας σε απορροφητή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτό γίνεται με ενσωμάτωση μέσα στο διαφανές υλικό ενός δικτύου λεπτών καλωδίων, που κόβονται στο μέγεθος δίπολων (μισού μήκους κύματος). Όταν συνδυαστεί μ' ένα εσωτερικό αγωγίμο στρώμα, η επεξεργασία αυτή μάλλον μετατρέπει ολόκληρη την καλύπτρα σε απορροφητή τύπου C.A..

Τα περισσότερα υλικά R.A.M. που χρησιμοποιούνται στ' αεροσκάφη stealth εμπίπτουν στη μία απ' τις παρακάτω κατηγορίες : α) φύλλα ή άλλα μαζικά υλικά εμπορίου (off the shelf) για γενική χρήση και β) υλικά ειδικά σχεδιασμένα κατά παραγγελία φτιαγμένα από προηγμένα υλικά R.A.M.. Αν και τα υλικά R.A.M. λύνουν πολλά προβλήματα του R.C.S., δημιουργούν επίσης και αρκετούς περιορισμούς. Το βάρος τους θα μειώσει τις επιδόσεις των αεροσκαφών κι ο όγκος τους μπορεί ν' αποδειχθεί προβληματικός σ' εφαρμογές περιορισμένου όγκου, όπως είναι οι πύραυλοι. Το κόστος της αγοράς, της κατεργασίας και της εγκατάστασης καθιστούν τ' αεροσκάφη

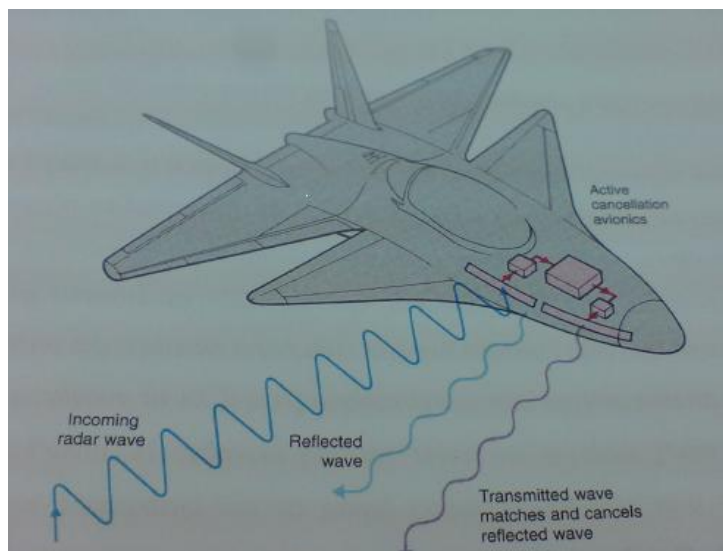
ακριβότερα, ενώ η ίδια η παρουσία τους δημιουργεί νέες δυσκολίες συντήρησης για το τεχνικό προσωπικό εδάφους που αυξάνουν τις άμεσες λειτουργικές δαπάνες. Συνδυάζοντας υλικά R.A.M. με άκαμπτες διαφανείς ουσίες, διαπερατές στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν δομικά υλικά απορρόφησης ακτινοβολίας (Radar Absorbent Structural-R.A.S.), μία απ' τις πιο απόρρητες μορφές απορροφητή ακτινοβολίας ραντάρ που υπάρχουν, καθώς ελάχιστες πληροφορίες έχουν δημοσιευθεί για τα υλικά αυτού του τύπου.

Τα υλικά R.A.S. μπορούν επίσης να δημιουργηθούν παίρνοντας μία μη μεταλλική κηρήθρα, επεξεργάζοντας την επιφάνεια της με άνθρακα ή άλλα υλικά απωλειών και κατόπιν συνδέοντας μη μεταλλικές επιφάνειες στο εμπρός και πίσω μέρος της, δημιουργώντας έτσι ένα άκαμπτο πάνελ. Τα τμήματα των κηρηθρών μπορούν ν' απορροφήσουν χαμηλής συχνότητας ακτινοβολία ραντάρ, εάν τα μεμονωμένα "κελιά" είναι τουλάχιστον το 1/10 του μήκους κύματος του σήματος του ραντάρ. Τα πρώτα αεροσκάφη stealth έκαναν εκτενή χρήση υλικών R.A.M. και R.A.S. και πλήρωσαν το τμήμα αυτό με μια σημαντική αύξηση στο βάρος τους. Βελτιώσεις στην ανάλυση και στα σχεδιαστικά εργαλεία έχουν επιτρέψει μια σημαντική μείωση του ποσοστού R.A.M. που φαίνεται απ' τα πιο πρόσφατα σχέδια αεροσκαφών, όπως το F-22 Raptor.

4.13 ΑΚΥΡΩΣΗ

Μια ενδιαφέρουσα αλλά ελάχιστα συζητημένη δυνατότητα για τη μείωση του R.C.S., είναι αυτή της ακύρωσης του αντανακλώμενου σήματος με την μετάδοση ενός δεύτερου σήματος ίσης συχνότητας κι εύρους, αλλά αντίθετης φάσης. Θεωρητικά, αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί παθητικά με τη δημιουργία ενός κατάλληλου ανακλαστήρα (όπως μια επεξεργασμένη κοιλότητα κατάλληλων διαστάσεων με ακρίβεια), σχεδιασμένο με σκοπό να δημιουργήσει την κατάλληλη ηχώ. Στην πράξη όμως, αυτή η τεχνική (συχνά αποκαλούμενη "φόρτιση σύνθετης αντίστασης") θα λειτουργούσε μόνο σε μία συγκεκριμένη συχνότητα για την οποία ο ανακλαστήρας θα ήταν σχεδιασμένος, ενώ κάθε πηγή αντανάκλασης πάνω στ' αεροσκάφη

θ' απαιτούσε και τον δικό της κατάλληλα ταιριασμένο ανακλαστήρα. Η μόνη ρεαλιστική μέθοδος για να δημιουργηθεί η κυματομορφή που απαιτείται για την ακύρωση, θα ήταν μ' ενεργά μέσα.



Εικόνα 4.15 : Σχηματική απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας ενός συστήματος ενεργής ακύρωσης τοποθετημένο σε αεροσκάφος. Οι ειδικοί αισθητήρες «συλλαμβάνουν» την ακτινοβολία του ραντάρ (μπλε) αναλύουν τα χαρακτηριστικά της κι εκπέμπουν κύματα ακτινοβολίας (μωβ) που τελικά ακυρώνουν την αντανακλώμενη ενέργεια (γαλάζιο) της αρχικής ακτινοβολίας.

Δυστυχώς, τα τεχνικά προβλήματα είναι σχεδόν ανυπέρβλητα. Ειδικοί αισθητήρες τοποθετημένοι πάνω στο αεροσκάφος θα έπρεπε να μετρούν την συχνότητα, την κυματομορφή, την δύναμη και την κατεύθυνση του σήματος που θα έπρεπε ν' αντιμετωπιστεί. Πολύπλοκος εξοπλισμός επεξεργασίας σήματος, του οποίου το λογισμικό θα περιλαμβάνει αναλυτικές πληροφορίες για την ανακλαστική ικανότητα του αεροσκάφους στα ραντάρ σ' ένα ευρύ φάσμα γωνιών και συχνοτήτων, θα έπρεπε να προβλέψει πώς η εισερχόμενη ακτινοβολία θ' αντανακλώταν και κατόπιν να δημιουργήσει και να εκπέμψει ένα κατάλληλο σήμα ακύρωσης. Βέβαια, η ακύρωση του σήματος δεν θα χρειαζόταν να επιτευχθεί σε βαθμό 100% για να είναι στρατιωτικά χρήσιμη, ενώ ο φόρτος εργασίας για τον υπολογισμό του σήματος ακύρωσης θα μπορούσε να μειωθεί σε μέγεθος, με τη μείωση του τομέα απειλής και του εύρους του επιθυμητού φάσματος συχνοτήτων των απειλών που είναι

επιθυμητό ν' αντιμετωπιστεί. Τα ενεργά συστήματα ακύρωσης έχουν συζητηθεί σε τεχνικές δημοσιεύσεις κι είναι πιθανό ότι ο εξοπλισμός αυτού του είδους χρησιμοποιείται απ' την γαλλική Dassault-Breguet για το μαχητικό 4^{ης} γενιάς Rafale και την αμερικανική Northrop για το βομβαρδιστικό B-2 Spirit. Η επιβεβαίωση ότι η Γαλλία έχει αναπτύξει τεχνικές ενεργής ακύρωσης ήρθε σε μια διάσκεψη σχετικά με τα καθοδηγημένα βλήματα, που διοργανώθηκε στο Λονδίνο τον Απρίλιο του 1999. Κατά τη διάρκεια μιας παρουσίασης για την τεχνολογία stealth για πύραυλους, ο Jean Francois Gondet, ανώτερος τεχνικός σύμβουλος στην Matra BAE Dynamics, είπε ότι οι τεχνικές που η εταιρεία έχει αναπτύξει για την ελαχιστοποίηση του R.C.S. περιλαμβάνουν ενεργά συστήματα, αλλά πρόσθεσε ότι αυτά ήταν ιδιαίτερα απόρρητα για να συζητηθούν σε μία ανοιχτή διάσκεψη.

4.14 ΠΛΑΣΜΑ ΑΕΡΙΩΝ

Προς το τέλος της δεκαετίας του '90, βγήκαν στο φως ειδήσεις μιας νέας τεχνικής για τον έλεγχο του R.C.S.. Ανεπτυγμένο στη Ρωσία απ' το ερευνητικό κέντρο Keldysh, ανατρέπεται την μέχρι τότε καλά εδραιωμένη θεωρία στον δυτικό κόσμο ότι αφού το σχήμα του αεροσκάφους έχει μια τέτοια ισχυρή επίδραση στο R.C.S., λίγα μπορούν να γίνουν για να μειώσουν το R.C.S. ενός υπάρχοντος αεροσκάφους. Η δυτική άποψη μπορεί να είναι αληθινή όταν γίνονται προσπάθειες για να μειωθεί το R.C.S. με την τοποθέτηση R.A.M., αλλά το ρωσικό σχέδιο δημιουργεί ένα τεχνητά παραγόμενο ιονισμένο πλάσμα αερίων γύρω απ' το αεροσκάφος.

Δύο φαινόμενα μειώνουν το R.C.S. ενός αεροσκάφους που προστατεύεται από ένα σύννεφο πλάσματος, λένε οι Ρώσοι. Η ενέργεια ραντάρ τείνει να περάσει γύρω από ένα σύννεφο πλάσματος αντί να το διαπεράσει και το μικρό ποσοστό ενέργειας που τελικά το διαπερνά, αλληλεπιδρά με τα φορτισμένα σωματίδια κι απορροφάται μερικώς. Οι Ρώσοι υποστηρίζουν ότι οι δυτικές τεχνικές stealth υποβαθμίζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά, την ευελιξία και τελικά τις ικανότητες των αεροσκαφών, ενώ αντίθετα το σύστημά τους δίνει στον σχεδιαστή μεγαλύτερη ελευθερία απ' την άποψη του αεροδυναμικού σχεδίου. Οι συσκευές που πρέπει να προστεθούν

στ' αεροσκάφη ζυγίζουν λιγότερο από 100 kgf (220 lb) και καταναλώνουν 1-10 KW ηλεκτρικής ισχύος.

Τρεις γενιές του συστήματος προστασίας πλάσματος έχουν αναπτυχθεί και έχουν δοκιμαστεί απ' το ερευνητικό κέντρο Keldysh.

Η πρώτη γενιά ήταν ένα απλό σύστημα μείωσης του R.C.S., ενώ η δεύτερη άλλαζε και την συχνότητα του κατά πολύ μειωμένου αντανakλώμενου σήματος και παρήγαγε μερικά επιπλέον «ψευδή» σήματα (όπως δηλώθηκε στη δημοσιότητα) που βοηθούσαν στην απόκρυψη της θέσεως και της ταχύτητας του αεροσκάφους. Η πρόοδος που επετεύχθη μ' ένα ακόμα πιο βελτιωμένο σύστημα 3^{ης} γενιάς επέτρεψε στην ρωσική κυβέρνηση ν' απελευθερώσει τα συστήματα 1^{ης} και 2^{ης} γενιάς για εξαγωγή και σ' άλλες χώρες.

Οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη του, υποστηρίζουν ότι η αποτελεσματικότητα του συστήματος αυτού έχει αποδειχθεί σ' επίγειες και εναέριες δοκιμές. Οι δοκιμές αυτές έχουν δείξει ότι η απεικόνιση ενός αεροσκάφους στα ραντάρ μπορεί να μειωθεί κατά 100 φορές ή και περισσότερο! Η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου σχεδίου εξαρτάται βέβαια απ' αυτό που οι Ρώσοι ορίζουν ως "απεικόνιση ραντάρ". Μια μείωση του R.C.S. κατά 100 φορές θα μείωνε την διατομή ραντάρ ενός MiG-23 από περίπου 6 m² (64.5 ft²) σε 0.056 m² (0.6 ft²). Το ποσοστό αυτό είναι λιγότερο απ' την μείωση που επιτυγχάνεται απ' τα αμερικανικά αεροσκάφη stealth, αλλά θα ήταν αρκετό για επιχειρησιακή χρήση καθώς θα υποβιβάζονταν αισθητά η αποτελεσματικότητα των εχθρικών ραντάρ.

Πάντως η ύπαρξη των συστημάτων αυτών κι η αποτελεσματικότητά τους αμφισβητείται έντονα από κάποιους δυτικούς αναλυτές, καθώς δεν υπάρχουν μέχρι τώρα ακριβή στοιχεία ή χειροπιαστές αποδείξεις για όλα αυτά τα λεγόμενα των Ρώσων επιστημόνων. Συγκεκριμένα, εκφράζονται αμφιβολίες για το πως θα μπορούσε να διατηρηθεί ένα φορτισμένο πλάσμα αερίων γύρω από ένα αεροσκάφος που κινείται μ' εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες (μέχρι 2 Mach) κι εκτελεί περίπλοκους ελιγμούς. Βέβαια η έλλειψη στοιχείων μπορεί απλά να οφείλεται σε διαδικασίες απορρήτου για τέτοιου είδους υπερυψηλή τεχνολογία.

4.15 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΤΟ ΥΠΕΡΥΘΡΟ ΦΑΣΜΑ (InfraRed-IR) ΚΑΙ ΕΚΛΥΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Λαμβάνοντας υπόψη την παρούσα τεχνολογία αισθητήρων, τα παθητικά συστήματα υπερύθρων (IR) προσφέρουν μια αρκετά ρεαλιστική επιλογή εκτός του ραντάρ γι' ανίχνευση αεροσκαφών σε πολύ μεγάλη ακτίνα. Η λειτουργία τους είναι σχετικά απλή, λειτουργώντας στο υπέρυθρο φάσμα μπορούν ν' ανιχνεύουν από μεγάλη απόσταση εστίες θερμότητας που ξεχωρίζουν εύκολα απ' το θερμοκρασιακό υπόβαθρο του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα στην κρύα ατμόσφαιρα των μεγάλων υψομέτρων. Με την αυξανόμενη χρήση των αισθητήρων IR ως υποκατάστατο των ραντάρ, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για τη μείωση της θερμικής υπογραφής ενός αεροσκάφους stealth.

Οι κύριες πηγές εκπομπής θερμότητας σ' ένα αεροσκάφος stealth είναι τα καυτά μεταλλικά τμήματα του κινητήρα και φυσικά το ακροφύσιο των καυσαερίων του, στοιχεία που έχουν θερμανθεί απ' την εκροή των καυσαερίων στους 1000-1300 °C (1800-2300 °F). Η εκροή των καυσαερίων όταν διαφύγουν απ' το ακροφύσιο συμβάλλει σχετικά λίγο, περίπου 10% μόνο της συνολικής εκπομπής θερμότητας από έναν turbojet κινητήρα και ακόμα λιγότερο από έναν turbofan. Όμως, εάν ο κινητήρας χρησιμοποιεί και μετακαυστήρα (afterburner), η εκπομπή θερμότητας απ' την εκροή μπορεί ν' αυξηθεί μέχρι και 50 φορές, καθιστώντας την ικανή να συναγωνιστεί ή ακόμα και να επισκιάσει την θερμότητα που εκλύεται απ' το υπόλοιπο αεροσκάφος.



Εικόνα 4.16 : Ένα F-15 Eagle απογειώνεται με τη χρήση μετάκαυσης. Το θερμικό ίχνος που δημιουργείται είναι τεράστιο, καθώς οι φλόγες εκτείνονται μέχρι 7 m μακριά απ' τα ακροφύσια.

Γι' αυτόν τον λόγο, όλη η 1^η γενιά των αεροσκαφών stealth, το X.S.T., το F-117A και το B-2, χρησιμοποιούν κινητήρες χωρίς μετακαυστήρα. Το καυτό εσωτερικό του ουραίου τμήματος (όπου συνήθως βρίσκεται ο κινητήρας και το ακροφύσιό του) είναι ορατό στο υπέρυθρο φάσμα σ' έναν κωνικό τομέα στο οπίσθιο τμήμα του αεροσκάφους. Έξω απ' αυτόν τον τομέα, ένας αισθητήρας IR θα «δει» μόνο την εξωτερική επιφάνεια του ακροφυσίου, η θερμότητα του οποίου θα είναι αρκετά χαμηλότερη. Η θερμική υπογραφή μπορεί να μειωθεί με τη χρήση της ατράκτου ή και των οριζόντιων/κάθετων σταθερών του ουραίου τμήματος για να προστατευθεί ο τομέας αυτός σ' ένα όσο το δυνατόν μεγαλύτερο τμήμα γίνεται. Η κάλυψη των καυσαερίων έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως απ' τους σχεδιαστές των ελικοπτερίων, αλλά εκεί υπάρχει το πλεονέκτημα ότι ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας της εκροής έχει αφαιρεθεί απ' την τουρμπίνα που κινεί τον άξονα μετάδοσης ισχύος. Σ' ένα αεριωθούμενο αεροσκάφος, ο κινητήρας jet παρέχει την βασική ωστική δύναμη κι έτσι θα πρέπει να καλυφθεί απ' τη δομή του αεροσκάφους σ' ένα όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος γωνιών.



Εικόνα 4.17 : Οι κινητήρες του F-117 δεν χρησιμοποιούν μετάκαυση, ενώ τα ακροφύσιά τους έχουν ειδικά μελετημένο ορθογώνιο σχήμα για την ελαχιστοποίηση του θερμικού ίχνους.

Στα F-117, YF-23 και B-2, οι καυτές εξαγωγές των καυσαερίων δε μπορούν να φανούν απ' το κάτω ημισφαίριο. Με τον ίδιο σχεδόν τρόπο που τα υλικά R.A.M. έχουν αναπτυχθεί για να μειώσουν την αντανάκλαστικότητα στα ραντάρ, έχουν επινοηθεί αντίστοιχα υλικά για να ελέγξουν την αντανάκλαστικότητα στο υπέρυθρο φάσμα, αλλά τώρα οι κρίσιμες διαστάσεις όπως τα πάχη είναι εφοδιασμένα σε “angstroms” και όχι σε mm. Αν κι ένα πολύ χαμηλό επίπεδο εκπομπής θερμότητας μπορεί εκ πρώτης όψεως να φαίνεται σαν ένα πολύτιμο χαρακτηριστικό της εσωτερικής επιφάνειας μιας εξαγωγής καυσαερίων, καθώς θα μειώσει την εκπεμπόμενη θερμική ενέργεια, μπορεί όμως να ενεργήσει επίσης σαν ένας καλός θερμικός ανακλαστήρας αυξάνοντας την αντανάκλωμενη ενέργεια που μπορεί να προέρχεται από μια πιο καυτή εσωτερική περιοχή του συστήματος εξαγωγής καυσαερίων.

Ο διευθυντής προγράμματος του F-117, Alan Brown έχει δηλώσει ότι μια προσεκτική βελτιστοποίηση πρέπει να γίνει για να καθοριστεί το προτιμώμενο επίπεδο εκπομπών θερμότητας μέσα στον σωλήνα εξάτμισης ενός κινητήρα jet. Αυτές οι εκπομπές θα πρέπει έπειτα να δοκιμαστούν επισταμένως ενάντια στα υπάρχοντα συστήματα ανίχνευσης υπέρυθρων. Αυτή τη στιγμή, χρησιμοποιούνται μεταλλικά στρώματα σε τέτοια υλικά, λέει ο Brown, αλλά το μεγάλο βήμα επί του παρόντος είναι η πραγματοποίηση του περάσματος απ' τα μεταλλικά στρώματα στα πολύ λεπτά στρώματα οξειδίων των μετάλλων.

Το εσωτερικό ενός κινητήρα jet είναι ένα μέρος που δεν είναι καθόλου καθαρό. Τα μόρια θερμότητας και άνθρακα απ' τα καυσαέρια θα εξασθενήσουν κάποια στιγμή ακόμα και τα πιο προσεκτικά κατασκευασμένα τμήματα. Τα καύσιμα των κινητήρων jet είναι υδρογονάνθρακες, άρα όταν καίγονται τείνουν να παράγουν άνθρακα αν κι οι σημερινοί κινητήρες είναι ουσιαστικά άκαπνοι σε σχέση μ' εκείνους της δεκαετίας του '50 και αυτής του '60 που μαύριζαν τον ουρανό. Στα καυσαέρια του κινητήρα, τα μόρια του άνθρακα είναι συγκριτικά αβλαβή καθώς προσθέτουν ελάχιστα στο R.C.S. των αερίων εξάτμισης, αλλά στο εσωτερικό του σωλήνα εξαγωγής η συσσώρευση του άνθρακα μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα για τον σχεδιαστή ενός αεροσκάφους stealth, καθώς εκπέμπει μεγάλα ποσά θερμότητας κι έτσι η ποσότητα του άνθρακα που παράγεται θα πρέπει να ελεγχθεί.

Για να είναι αποτελεσματικό το επίστρωμα μείωσης των υπερύθρων θα πρέπει στην εκροή των καυσαερίων η μοριακή αναλογία να είναι ουσιαστικά μηδέν. Ένας άλλος τρόπος μείωσης της θερμικής υπογραφής, είναι ν' αντικατασταθεί το παραδοσιακό κυκλικό ακροφύσιο εξαγωγής μ' ένα ελλειπτικό ή ορθογώνιο σχέδιο. Αυτό θ' αύξανε την περίμετρο του δημιουργώντας έτσι μια ευρεία περιοχή καυτών αερίων πίσω απ' το αεροσκάφος σε σχήμα ουράς κάστορα, αντί για μία πιο συμπαγή κυλινδρική που δημιουργείται κανονικά. Η αύξηση της περιοχής εξάπλωσης των αερίων θα βοηθούσε στην αύξηση του ρυθμού μεταβολής, με τον οποίο τ' αέρια κρυσταλλώνουν κι επίσης θα μείωνε το εύρος των υψομέτρων απ' τα οποία μπορεί ν' ανιχνευθεί μια ισχυρή θερμική υπογραφή. Τέτοιου είδους ακροφύσια χρησιμοποιούνται σ' όλα ανεξαιρέτως τ' αεροσκάφη stealth. Όπως έχει αποδειχθεί, η άτρακτος του αεροσκάφους είναι επίσης μια πηγή ανιχνεύσιμης θερμικής ενέργειας. Αυτή η θερμότητα προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως ο κινητήρας, οι ηλεκτρονικές συσκευές και την τριβή που αναπτύσσεται με την ατμόσφαιρα λόγω της υψηλής ταχύτητας. Ένας κινητήρας jet λειτουργεί σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες κι έτσι η δομική κατασκευή που βρίσκεται κοντά του θα πρέπει είτε να κατασκευαστεί από τιτάνιο, είτε απ' άλλα κράματα ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες για να προστατευθεί απ' την θερμότητα αυτή.

Τέτοιες ενέργειες πραγματοποιούνται σ' όλα τ' αεροσκάφη stealth για ν' αποτρέψουν τέτοια ενδεχόμενα. Αυτή τη στιγμή, τα περισσότερα συμβατικά αεροσκάφη απλά αφήνουν την θερμότητα που συγκεντρώνεται απ' το πιλοτήριο και τα ηλεκτρονικά να διαχέεται στο περιβάλλον, αλλά τ' αεροσκάφη stealth θα πρέπει να χρησιμοποιούν οπωσδήποτε εσωτερικά συστήματα ψύξης κλειστού κύκλου. Η θερμότητα θα μπορούσε να μεταφερθεί στα καύσιμα, μια τεχνική που πρωτοπαρουσιάστηκε στο SR-71. Μία ακόμα παράμετρος της θερμικής υπογραφής που θα πρέπει να προσεχθεί, είναι το αντανακλώμενο φως του ηλίου. Αυτό μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση κατάλληλων βαμμένων επιφανειών και κατάλληλου φινιρίσματος.

4.16 ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΗ ΠΤΗΣΗ

Τα υπάρχοντα επιχειρησιακά αεροσκάφη stealth είναι όλα υποηχητικά. Τα επίπεδα θερμότητας που θ' αναπτύσσονταν στην άτρακτο απ' την υπερηχητική πτήση θα έκαναν τ' αεροσκάφη εύκολο στόχο για τους αισθητήρες IR, ενώ ο μεγάλος θόρυβος που προκαλείται απ' τον μετακαυστήρα θα πρόδιδε την παρουσία τους αν πετούσαν σε μέσο ή χαμηλό ύψος. Ωστόσο, η κατάσταση αυτή αναμένεται ν' αλλάξει πολύ σύντομα καθώς σε λίγο καιρό θα καταστεί πλήρως επιχειρησιακό το πρώτο υπερηχητικό μαχητικό stealth, F-22 Raptor.

Διάφορα βιβλία που ασχολούνται με την τεχνολογία stealth, υποστηρίζουν ότι κατά γενικό κανόνα οι υπερηχητικές ταχύτητες και η χρήση μετάκαυσης δεν είναι συμβατές μ' επιχειρήσεις που απαιτούν χαμηλή παρατηρησιμότητα κι αφανή δράση. Η θεωρία αυτή έχει οδηγήσει πολλούς στην αμφισβήτηση σχεδίων υπερηχητικών μαχητικών ή αεροσκαφών αναγνώρισης που έχουν προταθεί από μερικές εταιρείες, όπως την πρόταση που έκανε η Lockheed στις αρχές της δεκαετίας του '80 για ένα αεροσκάφος ταχύτητας 5 Mach. Αν και οι απόψεις αυτές είναι γενικά σωστές κατά ένα μέρος, αγνοούν κάποια σημαντικά στοιχεία που έχουν σχέση με το θέμα. Κατ' αρχήν οι επιχειρησιακές ικανότητες ενός υπερηχητικού μαχητικού stealth είναι απίστευτα μεγάλες για να παραβλεφθούν. Συγκεκριμένα, ένα υπερηχητικό μαχητικό stealth θα κυριαρχεί πλήρως στον αγώνα αεροπορικής υπεροχής σε

μία πολεμική ζώνη, καθώς θα υπερτερεί πλήρως έναντι οποιουδήποτε άλλου συμβατικού μαχητικού. Αυτό ισχύει επίσης και γι' αποστολές βομβαρδισμού κι αναγνώρισης, καθώς η αυξημένη ταχύτητα θα του προσδίδει μεγαλύτερα περιθώρια επιβίωσης.

Επίσης, οι τεχνολογικές εξελίξεις στους κινητήρες και την αεροδυναμική έκαναν εφικτή την επίτευξη υπερηχητικής ταχύτητας χωρίς την χρήση μετακαυστήρα (super cruise), μειώνοντας έτσι τον παραγόμενο θόρυβο αλλά και την θερμική υπογραφή του αεροσκάφους. Έτσι, με την εξέλιξη της τεχνολογίας τα μαχητικά αεροσκάφη της νέας γενιάς stealth (F-22, F-35) είναι υπερηχητικά.

4.17 ΣΥΜΒΙΒΑΣΜΟΙ

Δουλεύοντας με αυτούς τους βασικούς κανόνες για τη μείωση του ίχνους του αεροσκάφους, ο σχεδιαστής πρέπει ν' αντιμετωπίσει το πρόβλημα της κατασκευής ενός πρακτικού αεροσκάφους ή βλήματος stealth. Η σχεδίαση οποιοδήποτε αεροσκάφους αποτελεί ουσιαστικά ένα μείγμα συμβιβασμών μεταξύ των αλληλοσυγκρουόμενων απαιτήσεων. Αυτό το γεγονός ισχύει ακόμα περισσότερο κατά τη δημιουργία ενός αεροσκάφους stealth, καθώς στην περίπτωση αυτή ένα νέο σύνολο κανόνων και περιορισμών πρέπει ν' αντιμετωπιστεί, επιπλέον εκείνων του παρελθόντος. Το τίμημα που πρέπει να καταβληθεί για το χαμηλό R.C.S. μπορεί να είναι χαμηλότερη απόδοση, μειωμένη ακτίνα δράσης ή ένα ελαφρύτερο ωφέλιμο φορτίο. Δεν μπορεί να ληφθεί κάποια επιθυμητή ικανότητα ή ένα χαρακτηριστικό χωρίς να παραληφθεί κάποιο άλλο επιθυμητό στοιχείο.

Ακόμα και μέσα στο πεδίο της τεχνολογίας stealth θα πρέπει να γίνουν συμβιβασμοί. Ένα μειονέκτημα της διαμόρφωσης του σχήματος του αεροσκάφους ως μέτρο μείωσης του R.C.S., είναι ότι η μείωση των επιστροφών σε μία κατεύθυνση προκαλεί την αύξηση τους σε κάποια άλλη. Ανεξάρτητα απ' την γωνία που θα είναι τοποθετημένες οι επιφάνειες, πάντα θα υπάρχουν κατευθύνσεις όπου η ανακλαστικότητα θα είναι υψηλή. Πριν την διαμόρφωση του αεροσκάφους απ' τους σχεδιαστές, θα πρέπει ανάλογα με τις επιχειρησιακές απαιτήσεις ν' αποφασιστεί η προσέγγιση που

θ' ακολουθηθεί. Για παράδειγμα, θα πρέπει το R.C.S. να κρατηθεί σχετικά χαμηλό σ' ένα ευρύ φάσμα γωνιών θέασης ή να κρατηθεί όσο το δυνατόν χαμηλότερο σ' έναν συγκεκριμένο τομέα μόνο εις βάρος των υπολοίπων. Τεχνικές όπως η επιχειρησιακή ανάλυση, μπορούν να βοηθήσουν στο να βρεθεί μία λύση δοκιμάζοντας κάθε πιθανή διαμόρφωση ενός αεροσκάφους σε συγκεκριμένα επιχειρησιακά σενάρια ώστε να βρεθεί το καταλληλότερο σχέδιο.

Ο κινητήρας/ρες κι όλες οι σχετικές αεροεισαγωγές και τ' ακροφύσια του δημιουργούν επίσης προβλήματα. Θα πρέπει να βρεθεί ο σωστός τρόπος τοποθέτησης όλων αυτών, ούτως ώστε να κρατούν χαμηλό το R.C.S., αλλά και να λειτουργούν σωστά προσφέροντας την απαιτούμενη απόδοση. Επίσης θα πρέπει να βρεθεί και μία λύση για τη μεταφορά του οπλικού φορτίου ή κάποιου άλλου εξοπλισμού που θα χρειαστεί να μεταφερθεί απ' το αεροσκάφος. Όπως έγινε κατανοητό, η καλύτερη λύση είναι η εσωτερική μεταφορά ή η κατασκευή κάποιου είδους φορέα με χαμηλό R.C.S..

4.18 ΚΑΥΤΑ ΣΗΜΕΙΑ (HOT SPOTS)

Ένα πολύ μεγάλο μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού είναι ο προσδιορισμός στο αρχικό στάδιο των κυριότερων στοιχείων που συμβάλλουν στο τελικό R.C.S. του αεροσκάφους. Για να κάνει τη διαδικασία μείωσης του R.C.S. οικονομικά αποδοτική, ο σχεδιαστής θα πρέπει να προσδιορίσει τους κυρίαρχους διασπορείς, δηλαδή εκείνα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα στ' αεροσκάφη που έχουν τη μέγιστη συμβολή στο συνολικό R.C.S.. Αυτά είναι γνωστά σαν "καυτά σημεία" (hot spots) ή "σημεία κλειδιά". Τα μέτρα που θα εφαρμοστούν σ' αυτές τις κρίσιμες περιοχές, θα κάνουν και τη μεγαλύτερη γενική διαφορά στο συνολικό R.C.S.. Αυτά τα "σημεία κλειδιά" πιθανόν να είναι οι εισαγωγές αέρα του κινητήρα ή οποιαδήποτε άλλη κοιλότητα πάνω στο αεροσκάφος: οι κεραίες των ηλεκτρονικών που εξέχουν, το cockpit, τα χείλη προσβολής των πτερυγών, τα πλαϊνά μέρη της ατράκτου, το κάθετο σταθερό και τέλος το ακροφύσιο του κινητήρα/ρων. Το R.C.S. επίσης θα μεταβάλλεται με την γωνία ανύψωσης.

Όταν είναι ορατό ένα αεροσκάφος απ' το πλάι κι επάνω, η ένωση πτέρυγας-ατράκτου δημιουργεί μία ανακλαστική επιφάνεια 90° , ενώ και η γωνία μεταξύ του κάθετου σταθερού και του οριζοντίου σταθεροποιητή δημιουργεί το ίδιο πρόβλημα. Επίσης, η ακτινοβολία ενός ραντάρ προερχόμενη από πάνω ή κάτω, θα «βρει» τις επιφάνειες των πτερυγών ως καλούς ανακλαστήρες.

Η εμπειρία θα επιτρέψει στους σχεδιαστές ν' αναγνωρίσουν και να προσδιορίσουν τα στοιχεία αυτά, αλλά θα πρέπει επίσης ν' αξιολογηθεί η επίδρασή τους στο συνολικό R.C.S.. Στ' αρχικά στάδια ενός υποθετικού σχεδίου stealth, αυτό μπορεί να γίνει μόνο αν χρησιμοποιηθούν ειδικοί κώδικες πρόβλεψης του R.C.S.. Αυτό σημαίνει εξειδικευμένο λογισμικό υπολογιστών που θα χρησιμοποιεί τη συσσωρευμένη γνώση κι εμπειρία της εταιρείας ή του έθνους για τις ιδιότητες και τις μεταβολές του R.C.S.. Με μία διαδικασία ανάλυσης, η μορφή του ολοκληρωμένου αεροσκάφους διασπάται σε πολλά μικρά μέρη που αποτελούν απλά γεωμετρικά σχήματα, όπως κυλίνδρους, σφαίρες, ορθογώνια, τρίγωνα κι άλλα, των οποίων το R.C.S. είναι προβλέψιμο. Κατόπιν, επακολουθεί μια διαδικασία που μόνο ένας υπερυπολογιστής μπορεί να χειριστεί ρεαλιστικά τη σύνθεση όλων αυτών των στοιχείων σ' ένα εξαιρετικά περίπλοκο συνολικό R.C.S.. Γίνεται κατανοητό λοιπόν, ότι δεν υπάρχει κάποιος εύκολος τρόπος να προβλεφθεί το συνολικό R.C.S. ενός αεροπορικού σχεδίου ή του μεγέθους της εργασίας που πρέπει να πραγματοποιηθεί για να βρεθεί τελικά, καθώς αυτό εξαρτάται από εκατοντάδες διαφορετικούς παράγοντες που δε μπορούν να ελεγχθούν.

4.19 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Το επόμενο στάδιο είναι να πραγματοποιηθούν μετρήσεις χρησιμοποιώντας ένα ακριβές μοντέλο υπό κλίμακα, είτε ολόκληρου του αεροσκάφους, είτε των περιοχών του αεροσκάφους που έχουν αναγνωριστεί ως "καυτά σημεία". Τα τελευταία μπορούν να εξεταστούν και σε πραγματικό μέγεθος, αλλά όταν θα πρέπει να εξεταστεί όλο το αεροσκάφος, η κανονική προσέγγιση είναι να κατασκευαστεί ένα ακριβές μοντέλο υπό κλίμακα του προτεινόμενου σχεδίου. Αυτό θα πρέπει να κατασκευαστεί είτε από μέταλλο,

είτε να επιμεταλλωθεί με ηλεκτρόλυση ή να βαφτεί με ασημένιο μετά απ' την κατασκευή του, έτσι ώστε η επιφάνειά του να γίνει ηλεκτρικά αγωγίμη. Αν δε δημιουργηθεί μια χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση σε όλη την επιφάνεια του μοντέλου, τα επιφανειακά ηλεκτρομαγνητικά κύματα δε θα φτάσουν στη σωστή ένταση. Στη δεκαετία του '60 και '70, οι περισσότερες δοκιμές R.C.S. γίνονταν σε υπαίθρια πεδία δοκιμών. Οι εγκαταστάσεις αυτές αποτελούνταν από μια εξέδρα ικανή να κρατήσει το μοντέλο και να το περιστρέψει σε οποιαδήποτε κατεύθυνση απαιτούνταν για τη δοκιμή.

Οι πομποί των ραντάρ που χρησιμοποιούνταν για να φωτίσουν το μοντέλο κι οι δέκτες που συνέλλεγαν το επιστρεφόμενο σήμα βρισκόντουσαν σε μια αρκετά μεγάλη απόσταση μακριά, τουλάχιστον 30 m (100 ft) και συχνά 300 m (1000 ft) ή και περισσότερο. Η ακτίνα του ραντάρ που κατευθυνόταν προς το στόχο θα φώτιζε μερικώς και την περιοχή γύρω απ' την εξέδρα. Για να μειωθούν τ' αποτελέσματα αυτής της παρενέργειας, το έδαφος μεταξύ της περιοχής των ραντάρ και της θέσης δοκιμής διαμορφώθηκε κατάλληλα. Μια τεχνική περιλάμβανε τη δημιουργία μιας ανυψωμένης περιοχής σχήματος "V" που άρχιζε απ' το ραντάρ και κατέληγε στην περιοχή δοκιμής. Μία άλλη σχετική τεχνική, ήταν το στήσιμο μιας σειράς χαμηλών πλευρικών φρακτών που επενδύονταν με υλικά R.A.M..

Το πρόβλημα με τις υπαίθριες εγκαταστάσεις δοκιμών είναι ότι το μέγεθός τους τις καθιστά δαπανηρές να χτιστούν και να χρησιμοποιηθούν, ενώ η ακρίβεια των αποτελεσμάτων των δοκιμών επηρεάζεται απ' τον καιρό. Υπάρχει επίσης ένας κίνδυνος για την ασφάλεια του σχεδίου ενός νέου αεροσκάφους, καθώς θα είναι πιο δύσκολο να τηρηθούν διαδικασίες απόκρυψης απορρήτου. Για παράδειγμα, μπορεί να διαρρεύσουν φωτογραφίες του πρωτότυπου μοντέλου και δημοσιοποιηθούν έτσι απόρρητες λεπτομέρειες. Τα εσωτερικά πεδία δοκιμών επιτρέπουν τις δοκιμές R.C.S. απορρήτων αεροπορικών σχεδίων υπό πλήρη μυστικότητα κι εξαλείφουν επίσης τις παρενέργειες των καιρικών συνθηκών στις μετρήσεις που γίνονται. Το πρόβλημα με αυτά είναι ότι πρέπει να επινοηθεί ένας τρόπος για να δημιουργηθούν οι ίδιες συνθήκες με τα υπαίθρια πεδία.

Η πιο προφανής επιλογή είναι να επενδυθούν οι τοίχοι της αίθουσας δοκιμής με υλικό R.A.M. που θ' απορροφήσει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μόλις περάσει απ' τον στόχο, διατηρώντας έτσι την ηλεκτρονική

ψευδαίσθηση του υπαίθριου περιβάλλοντος. Αυτό κανονικά γίνεται χρησιμοποιώντας υλικά R.A.M. πυραμιδικού τύπου, όπως περιγράφηκε νωρίτερα. Ένα σήμα ραντάρ που κατευθύνεται σε μια τέτοια αίθουσα, θα εξαφανιστεί σχεδόν εντελώς όταν συναντήσει τον τοίχο με μια ελάχιστη αντανάκλαση μόνο, της τάξεως του 1%.



Εικόνα 4.18 : Φωτογραφίες απ' τις πρώτες πειραματικές μετρήσεις R.C.S. του πρωτότυπου XST, που ήταν ο πρόγονος του F-117. Το μοντέλο είναι τοποθετημένο πάνω σε πυλώνα με χαρακτηριστικά stealth σ' ένα εξωτερικό πεδίο δοκιμών της Lockheed.

Στην αρχή, οι μικρές και αρκετά συμπαγείς εσωτερικές αίθουσες δοκιμών θεωρήθηκαν απλά ως κατάλληλες εναλλακτικές λύσεις των υπαίθριων πεδίων δοκιμών, χρήσιμες κυρίως για ένα μεγάλο μέρος των αρχικών δοκιμών μόνο, αλλά όχι και σαν υποκατάστατο των οριστικών δοκιμών σ' ένα καλό εξωτερικό πεδίο. Όμως, οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι βελτιώσεις που έχουν γίνει στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, στα όργανα δοκιμών και μετρήσεων και στη σχεδίαση των αιθουσών αυτών, έχουν τώρα μειώσει αρκετά ή ακόμα και εξαλείψει αυτές τις διαφορές στην απόδοση. Με την ακμή-άνοδο της τεχνολογίας stealth, οι περισσότερες απ' τις σημαντικότερες εταιρείες κατασκευής αμερικανικών αεροσκαφών έχουν στην κατοχή τους εξαιρετικά εξελιγμένα πεδία δοκιμών εξωτερικά κι εσωτερικά.

4.20 ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΟΥ R.C.S.

Είτε σ' εσωτερικά, είτε σε υπαίθρια, το προτεινόμενο σχέδιο θα πρέπει να εξεταστεί σε ποικίλες συχνότητες ραντάρ. Κάθε φορά που το μήκος κύματος το οποίο χρησιμοποιείται είναι ανάλογο με το μέγεθος οποιουδήποτε χαρακτηριστικού γνωρίσματος του αεροσκάφους, μία αντήχηση μπορεί να εμφανιστεί παράγοντας έτσι μία μεγαλύτερη ηχώ στο ραντάρ. Καθώς θα δοκιμάζονται διαφορετικές συχνότητες, διαφορετικού μεγέθους, στοιχεία του αεροσκάφους θα δημιουργήσουν αντήχηση όταν προσβληθούν – «φωτιστούν» απ' την κατάλληλη συχνότητα.

Όλοι οι πιθανοί μηχανισμοί αντανάκλασης, όπως οι αντανάκλασεις, οι διαθλάσεις των άκρων, τα έρποντα και τα συρόμενα κύματα είναι άμεσα εξαρτώμενα απ' την συχνότητα, δημιουργώντας έτσι έναν τεράστιο όγκο συνεχώς μεταβαλλόμενων μεταβλητών. Για να κρατηθεί ο φόρτος εργασίας μέσα σε κάποια λογικά πλαίσια, οι μηχανικοί συχνά περιορίζουν τις δοκιμές μόνο στον εμπρόσθιο τομέα ή σε όποια άλλη κατεύθυνση θεωρείται κρίσιμο το χαμηλό το R.C.S.. Πολλά χαρακτηριστικά της προτεινόμενης σχεδίασης μπορούν να ελεγχθούν δοκιμάζοντας διάφορους συνδυασμούς αντανάκλασης-απόστασης εκπομπής ραντάρ, επαναλαμβανόμενους σε διάφορες γωνίες.

Για να υπάρξει μια λεπτομερέστερη ματιά ενός περίπλοκου στόχου, απαιτούνται πιο εξελιγμένοι μέθοδοι δοκιμών που συνήθως περιλαμβάνουν τεχνικές συνθετικού διαφράγματος. Η πιο συνηθισμένη χρήση της τεχνολογίας συνθετικού διαφράγματος, είναι για τη δημιουργία εικόνων υψηλής ανάλυσης από ραντάρ πλάγιας θέσης (Sideways Looking Radars-S.L.R.). Τα ραντάρ αυτά μπορούν να εμφανίσουν την εικόνα μιας περιοχής με σχεδόν φωτογραφική ποιότητα, εκμεταλλευόμενα κάποια χαρακτηριστικά του φαινομένου Doppler, όπως τις ελαφρές μεταβολές που δημιουργούνται στις συχνότητες του σήματος απ' τις κινήσεις της πηγής του σήματος σχετικά με τον παρατηρητή. Ένα κλασσικό παράδειγμα για την κατανόηση αυτής της λειτουργίας είναι η φαινομενική μείωση του τόνου του ήχου ενός ταχέως κινούμενου τραίνου, καθώς αυτό περνά δίπλα από έναν ακίνητο παρατηρητή.

Για τις δοκιμές του R.C.S., οι σχεδιαστές κι οι μηχανικοί των οργάνων χρησιμοποιούν την τεχνολογία του Ραντάρ Αντιστρόφου Συνθετικού

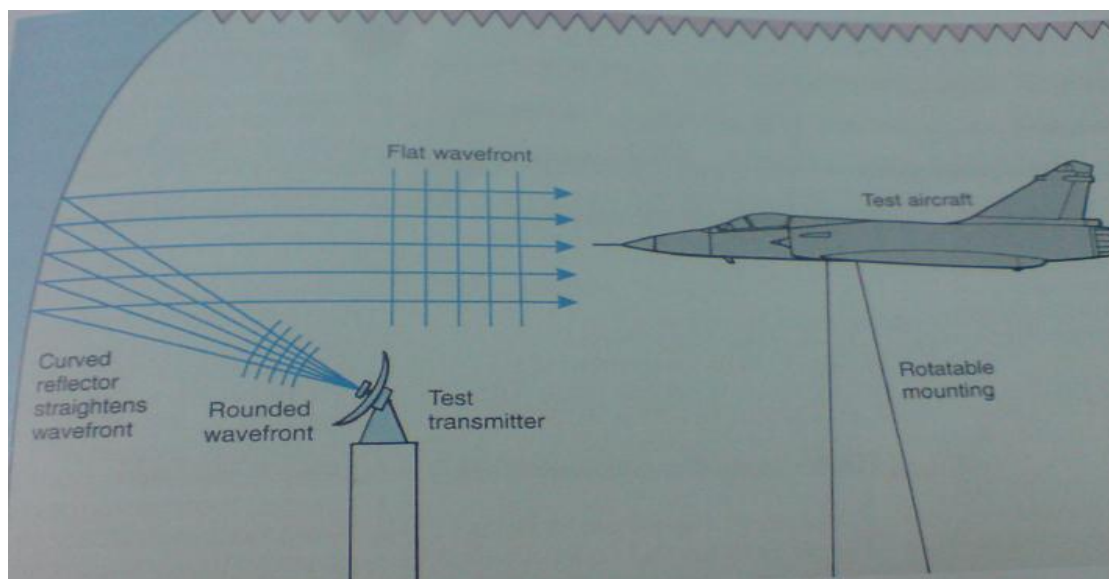
Διαφράγματος (Inverse Synthetic Aperture Radar-I.S.A.R.).

Αντί να μετακινείται το ραντάρ, μετακινείται ο στόχος προκειμένου να δημιουργηθεί το φαινόμενο Doppler. Ο στόχος κανονικά περιστρέφεται, έτσι ώστε τα μεμονωμένα "καυτά σημεία" του να επιδεικνύουν μια μεταβολή Doppler, εξαρτώμενη απ' την συχνότητα του ραντάρ και οποιαδήποτε ακτινική κίνηση προκαλείται απ' την απόστασή τους απ' το κέντρο της περιστροφής. Το τελικό αποτέλεσμα μιας δοκιμής I.S.A.R. είναι μια σύνθετη και εξαιρετικά πολύπλοκη τρισδιάστατη εικόνα ραντάρ, της οποίας οι βασικές συντεταγμένες είναι η εμβέλεια, η διαγώνιος εμβέλεια και η τρίτη διάσταση (ύψος), η ανακλαστικότητα. Αυτό σε σύγκριση με το στόχο καταδεικνύει γρήγορα όλες τις πηγές αντανάκλασης. Αυτές οι δοκιμές επιτρέπουν στους σχεδιαστές να προσδιορίσουν όλα τα σημεία υψηλής αντανάκλασης του προτεινόμενου σχεδίου, δηλαδή τα στοιχεία εκείνα του σκελετού του αεροσκάφους που έχουν μία αδικαιολόγητα μεγάλη συμβολή στο συνολικό R.C.S. και των οποίων το φυσικό μέγεθος μπορεί να είναι πολύ μικρό σχετικά με το μέγεθος του ραντάρ τους. Ένα μεγάλο στοιχείο του αεροσκάφους μπορεί να συμβάλλει ελάχιστα στο R.C.S., ενώ ένα μικρό μπορεί ν' αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντικός ανακλαστήρας. Αυτά τα "σημεία- κλειδιά" πρέπει είτε να εξαλειφθούν απ' το σχέδιο, είτε ν' αντιμετωπιστούν με υλικά R.A.M. για να μειωθεί η αντανάκλαστικότητά τους.

Μόλις ολοκληρωθεί το πρωτότυπο του πραγματικού αεροσκάφους, θα υποβληθεί σε μία σειρά δοκιμών R.C.S. για να ελεγχθούν τ' αποτελέσματα των προηγούμενων δοκιμών με τα μοντέλα κλίμακας. Μέχρι πρόσφατα, η εργασία αυτή έπρεπε να γίνει σ' ένα υπαίθριο πεδίο δοκιμών, αλλά όπως αποδείχθηκε παραπάνω αυτό τώρα μπορεί να γίνει μ' έναν πολύ πιο ασφαλή τρόπο, σε μια νέα γενιά εσωτερικών εγκαταστάσεων δοκιμών.

Ένα προηγμένο εσωτερικό πεδίο δοκιμών της Boeing που κατασκευάστηκε το 1988, έχει μία αίθουσα δοκιμής με διαστάσεις 69 x 34 m και ύψος 24 m. Η αίθουσα αυτή είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να δοκιμάσει πολλούς τύπους αεροσκαφών ή μοντέλα μεγάλης κλίμακας μεγαλύτερων σχεδίων. Οι στόχοι υπό δοκιμή μπορούν είτε να τοποθετηθούν σ' έναν πυλώνα αψιδωτής διατομής που είναι αόρατος στα ραντάρ, είτε ν' αναρτηθούν απ' την οροφή μ' ένα σύστημα καλωδίων. Οι πολύ υψηλής ακρίβειας μετρήσεις είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα της εγκατάστασης

αυτής, όπως είναι και η εξαιρετικά αυστηρή ασφάλεια, ένα στοιχείο που απαιτείται απ' τα διάφορα "μαύρα" προγράμματα. Τα θεμέλια μιας απ' τις δύο περιστροφικές βάσεις δοκιμών είναι απομονωμένα απ' την υπόλοιπη δομή του κτιρίου, ενώ η δομή υποστήριξης της περιστρεφόμενης πλατφόρμας της οροφής είναι απομονωμένη απ' τους τοίχους με τη βοήθεια αρθρωτών συνδέσμων. Προκειμένου να διατηρηθεί απόλυτη μυστικότητα για τα μοντέλα που δοκιμάζονται, υπάρχει μια σειρά φυσικά διαχωρισμένων δωματίων γι' αποθήκευση και προετοιμασία πριν τις δοκιμές.



Εικόνα 4.19 : Σχηματική απεικόνιση ενός εσωτερικού πεδίου δοκιμών τυπικής διαμόρφωσης. Το μοντέλο τοποθετείται πάνω σ' ένα περιστρεφόμενο πυλώνα και ακτινοβολείται από ένα ραντάρ, ώστε να μετρηθεί το τελικό R.C.S.. Για τη δημιουργία συνθηκών μεγάλης απόστασης μεταξύ του ραντάρ και του μοντέλου, ειδικοί ανακλαστήρες κατευθύνουν κατάλληλα την εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Ολόκληρη η αίθουσα περικλείεται από πυραμιδικούς απορροφητές για ελαχιστοποίηση απωλειών κι εξωτερικών παραγόντων.

4.21 ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ R.C.S.

Μόλις εξεταστούν κι αντιμετωπιστούν οποιαδήποτε άλλα "καυτά σημεία" υπολείπονται πάνω στο μοντέλο πλήρους κλίμακας του

αεροσκάφους, το σχέδιο τότε μπορεί να εγκριθεί για έναρξη πλήρους παραγωγής. Όλα τ' αποτελέσματα των δοκιμών, η πρόσθετη γνώση κι εμπειρία που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάπτυξης είναι έπειτα διαθέσιμα για μελέτη, κάτι που βοηθά στην τελειοποίηση των τεχνολογιών, των υλικών και των τεχνικών που θα ενσωματωθούν στην επόμενη γενιά αεροσκαφών και βλημάτων stealth.

Εκ πρώτης όψεως, τ' αποτελέσματα της μείωσης του R.C.S. δε φαίνονται ιδιαίτερα πολύτιμα. Όμως, εισάγοντας τις μειωμένες τιμές του R.C.S. στην εξίσωση εμβέλειας του ραντάρ (ένας μαθηματικός τύπος που καθορίζει τη βασική σχέση μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων ενός ραντάρ και της απόδοσης στην εμβέλειά του), γίνεται εμφανές ότι μια μείωση του R.C.S. κατά το μισό (50%) δεν οδηγεί σε μια αντίστοιχη μείωση κατά το μισό της εμβέλειας εντοπισμού του στόχου. Η εμβέλεια εντοπισμού είναι ανάλογη με την τέταρτη ρίζα του R.C.S. κι έτσι μια μείωση του R.C.S. κατά 50% αντιστοιχεί σε μείωση της εμβέλειας εντοπισμού κατά περίπου 15% μόνο.

Ένας βασικός παράγοντας στον καθορισμό της υποβάθμισης στην εμβέλεια που προκαλείται με τη μείωση του R.C.S., είναι ο αριθμός που προκύπτει αν διαιρεθεί το μειωμένο R.C.S. ($R.C.S._{τελ.}$) με την αρχική τιμή του ($R.C.S._{αρχ.}$). Για να καθορισθεί η Μείωση της Εμβέλειας Εντοπισμού (M.E.E.) απ' τα ραντάρ, το αποτέλεσμα πρέπει να υψωθεί στο 0,25.

Δηλαδή ισχύει :

$$M.E.E. = (R.C.S._{τελ.} / R.C.S._{αρχ.})^{0,25} .$$

Αν υποθετηθεί ότι ένα αεροσκάφος έχει ένα R.C.S. ίσο με 100 m² (μία τιμή πολύ πιθανή για ένα B-52 από μπροστά), μια μείωση του R.C.S. κατά 50% θα μειώσει την εμβέλεια εντοπισμού στο :

$$M.E.E. = (R.C.S._{τελ.} / R.C.S._{αρχ.})^{0,25} = (0,5)^{0,25} = 0.84 .$$

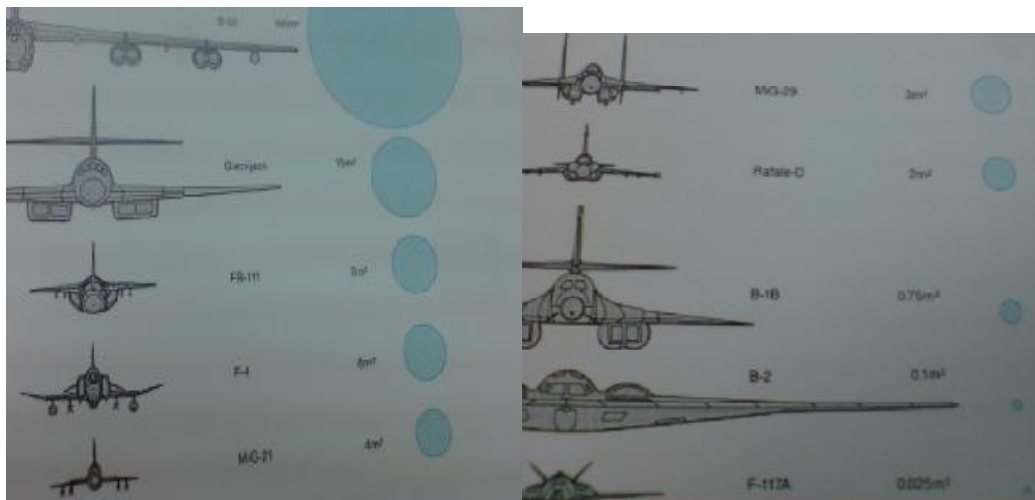
Το βομβαρδιστικό B-1A θεωρείται ότι έχει το 1/10 του R.C.S. του B-52 κι έτσι η M.E.E. μειώνεται στο : $(10 / 100)^{0,25} = 0,56$.

Έτσι, αν ένα ραντάρ ιχνηλατούσε ένα B-1A θα είχε μειωμένη εμβέλεια εντοπισμού κατά 44%. Εάν υποθετηθεί ότι θα μπορούσε ν' ανιχνεύσει ένα

B-52 σε μία απόσταση 100 km, τότε θα εντόπιζε το B-1A στα 56 km.
 Αν αντικατασταθεί το B-1A με ένα B-1B, το οποίο εικάζεται ότι έχει R.C.S. το 1/10 αυτού του B-1A και άρα το 1/100 αυτού του B-52, θα ισχύει :

$$M.E.E. = (1 / 100)^{0,25} = 0,32 .$$

Άρα η εμβέλεια εντοπισμού του B-1B απ' το ραντάρ μειώνεται κατά 32% απ' την αρχική ικανότητά του. Όσο πιο πολύ μειώνεται το R.C.S. του αεροσκάφους, ανάλογα θα μειώνεται και η M.E.E. του εχθρικού ραντάρ, σύμφωνα πάντα με τον παραπάνω τύπο. Μάλιστα στις πραγματικές επιχειρησιακές συνθήκες τα πράγματα θα είναι ακόμα καλύτερα, καθώς ακόμα κι αν εντοπιστεί η παρουσία ενός αεροσκάφους σε μια περιοχή, για να εγκλωβιστεί απ' τα αμυντικά συστήματα θα πρέπει να ιχνηλατηθεί πρώτα γι' αρκετό χρονικό διάστημα, πράγμα αρκετά δύσκολο για ένα αεροσκάφος τεχνολογίας stealth το οποίο θα μεταβάλλει συνεχώς το ίχνος του.



Εικόνα 4.20 : Σχηματική απεικόνιση που συγκρίνει αεροσκάφη διαφορετικού φυσικού μεγέθους σχετικά με το R.C.S. που παρουσιάζουν στο ραντάρ. Παρατηρείται ότι παρά το πολύ μεγάλο μέγεθός του, το βομβαρδιστικό τεχνολογίας stealth B-2 παρουσιάζει πολύ μικρότερο R.C.S. απ' το σύγχρονο μαχητικό Rafale συμβατικής τεχνολογίας.

4.22 PANTAP ΕΡΕΥΝΑΣ

Ένα επίγειο ραντάρ έρευνας το οποίο είναι επιφορτισμένο με τον εντοπισμό ενός εισερχόμενου στόχου, χρησιμοποιεί μια κινούμενη ακτίνα ακτινοβολίας για να ψάξει μια επιλεγμένη περιοχή σ' έναν χρόνο που καθορίζεται απ' το ρυθμό σάρωσης της κεραίας. Όπως φάνηκε προηγουμένως, μια μείωση του R.C.S. κατά δέκα φορές θα επιφέρει μια μείωση της M.E.E. κατά 68%. Ανάλογα, μια μείωση του R.C.S. κατά 100 ή 1000 φορές, θα μειώσει την εμβέλεια εντοπισμού κατά 90% και 99,7% αντίστοιχα. Ένα ραντάρ τοποθετημένο πάνω σ' ένα αντίπαλο αεροσκάφος έχει ένα ακόμα δυσκολότερο έργο, καθώς απαιτείται να ψάξει έναν πολύ μεγαλύτερο όγκο εναέριου χώρου σ' έναν δεδομένο χρόνο.

Έτσι, ο τύπος για τη μείωση της εμβέλειας εντοπισμού του ραντάρ θα γίνει τώρα :

$$M.E.E. = (R.C.S._{τελ.} / R.C.S._{αρχ.})^{0,75} .$$

Είναι φανερό λοιπόν ότι μια μείωση του R.C.S. είναι τώρα πολύ αποτελεσματική σ' αυτή την περίπτωση. Μειώσεις κατά 10, 100 και 1000 φορές, τώρα δίνουν αποτελέσματα M.E.E.: 0,18, 0,03 και 0,006 αντίστοιχα. Μετά απ' το πολύ γνωστό περιστατικό της κατάρριψης ενός F-117A απ' την γιουγκοσλαβική εναέρια άμυνα τον Μάρτιο του 1999, ο επικεφαλής επιχειρησιακών απαιτήσεων της αμερικανικής πολεμικής αεροπορίας (U.S.A.F.) αντιστράτηγος Bruce Carlson, δήλωσε ότι : "...Δεν είναι αόρατο. Δεν ήταν ποτέ εντελώς αόρατο. Ξέρουμε ότι υπάρχουν ραντάρ που μπορούν ν' ανιχνεύσουν τ' αεροπλάνα stealth που έχουμε. Μπορούν μερικές φορές να βρουν. Το κλειδί είναι ότι η ζώνη ανιχνευσιμότητας ή φονικότητας στενεύει πάρα πολύ, αλλά δεν είναι ακόμα αόρατα. Ο στόχος μας είναι την πρώτη ημέρα ενός πολέμου, μπορούμε, ακριβώς επειδή έχουμε στενέψει εκείνες τις ζώνες φονικότητας, να βρούμε το δρόμο μας στην εχθρική περιοχή των στόχων χρησιμοποιώντας έναν καλό και λεπτομερή προγραμματισμό αποστολής, χωρίς να είμαστε ευάλωτοι στα εχθρικά ραντάρ ή τους πυραύλους ή τ' αεροσκάφη τους". Η μείωση του R.C.S. θα αμβλύνει επίσης

την αποτελεσματικότητα των αντιαεροπορικών πυραυλικών συστημάτων (Surface to Air Missile-S.A.M.). Η εμβέλεια εντοπισμού των συστημάτων αυτών είναι συνήθως περιορισμένη, ενώ ακόμα κι αν εντοπίσουν έναν στόχο stealth θα πρέπει να τον ιχνηλατήσουν γι' αρκετή ώρα μέχρι ο πύραυλος να «κλειδώσει» πάνω του για να τον χτυπήσει. Αυτό καθίσταται ιδιαίτερα δύσχερες μ' αυτές τις συνθήκες και θεωρείται από πολλούς αναλυτές απίθανη περίπτωση.

5.ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ STEALTH

5.1 LOCKHEED U-2 “DRAGON LADY”

Η ραγδαία άνοδος της σημασίας των στρατηγικών βομβαρδισμών στην διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, έκαναν φανερή την ανάγκη για ένα αντίστοιχων επιδόσεων αναγνωριστικό αεροσκάφος που θα μπορούσε να βρίσκει τους στόχους για τα βομβαρδιστικά πετώντας βαθιά πίσω από τις εχθρικές γραμμές. Τ' αναγνωριστικά αεροπλάνα της εποχής δεν είχαν την απαιτούμενη ταχύτητα και κυρίως δεν διέθεταν την εμβέλεια που θα τους επέτρεπε να διεισδύσουν μέσα στην εχθρική ενδοχώρα και να φέρουν τις απαιτούμενες πληροφορίες. Η ανάγκη όμως για μια τέτοια στρατηγική πλατφόρμα αναγνώρισης έγινε πολύ πιο πιεστική αμέσως μετά τον πόλεμο, καθώς η Σοβιετική Ένωση έκρυβε τις κυριότερες τεχνολογικές εξελίξεις και τα όπλα που ανέπτυσσε.

Ειδικά μετά την εμπλοκή στην Κορέα και καθώς οι ενδείξεις ήταν ότι οι Σοβιετικοί προετοίμαζαν μια νέα γενιά διηπειρωτικών βαλλιστικών πυραύλων, οι αμερικανικές μυστικές υπηρεσίες μπήκαν σε μια φρενήρη αναζήτηση λύσης για την απρόσκοπτη συλλογή πληροφοριών. Μία απ' τις σχετικές διαδικασίες ξεκίνησε από το υπουργείο άμυνας που διατύπωσε τον Μάρτιο του 1953 την προδιαγραφή για ένα μονοθέσιο , υποηχητικό αεροσκάφος ικανό να μεταφέρει φορτίο 350 kgr σε αποστάσεις έως και 3000 μίλια πετώντας σε ύψη πάνω από τα 70000 ft . Αποστολή του ήταν η φωτοαναγνώριση ημέρας με δεδομένο ότι στο ύψος πτήσης του θεωρείτο απρόσβλητο από τις απειλές αεράμυνας. Δεν υπήρχε ανοιχτός διαγωνισμός, αλλά μετά από έντονες παρασκηνιακές διεργασίες το συμβόλαιο διεκδικήθηκε από τον Κλάρενς “Κέλλυ” Τζόνσον, τον

περίφημο αρχιμηχανικό της Lockheed και ιδρυτή του παραρτήματος απόρρητων σχεδίων “Skunk Works”.

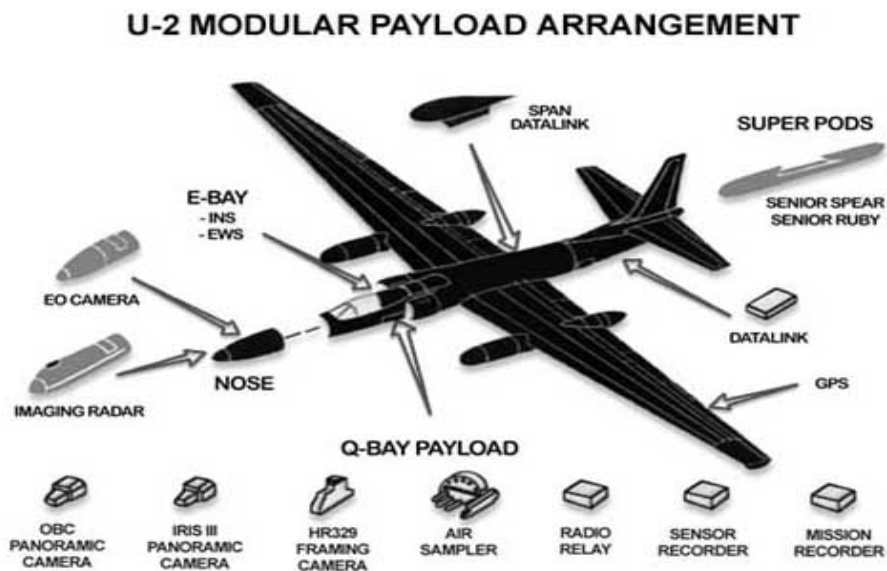
Τελικά στις 9 Δεκεμβρίου 1954, η CIA του ανέθεσε το συμβόλαιο κάτω απ’ το κωδικό όνομα “Aquatone”. Παράλληλα ξεκίνησε ένα πρόγραμμα παραπλάνησης της κοινής γνώμης με διαρροές ότι το πρόγραμμα αφορούσε ένα αεροσκάφος ατμοσφαιρικών παρατηρήσεων για την NASA (μετέπειτα NASA), ενώ απ’ την άλλη πουθενά δεν υπήρχε αναφορά σε αεροσκάφη, αλλά σε “αντικείμενα” (articles) με το πρωτότυπο να είναι γνωστό σαν “article 341”. Η τελική σχεδίαση αφορούσε ένα πρακτικά ένα ανεμόπτερο με αεριοπρώθηση , εμπέτασμα 24,44 m, μήκος 15,14 m και ύψος 4,62 m, με το πρωτότυπο να ζυγίζει κενό 5.445 kgf και 10.890 kgf στην απογείωση χρησιμοποιώντας τον κινητήρα J57-PW-37 των 10.500 lb ώσης. Ο φωτοαναγνωριστικός εξοπλισμός μεταφερόταν σ’ έναν χώρο ακριβώς κάτω απ’ το πιλοτήριο.



Εικόνα 5.1 : Ένα απ’ τα πρώτα U-2 που κατασκευάστηκαν εν πτήση με διακριτικά της U.S.A.F..



Εικόνα 5.2 : Η τελευταία έκδοση του αεροσκάφους U-2R που μετά από εκτεταμένες αναβαθμίσεις στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό, πετάει ακόμα επιχειρησιακά, 50 χρόνια μετά την πρώτη πτήση του U-2A.



Εικόνα 5.3 : Σχηματική απεικόνιση όλων των πιθανών διαμορφώσεων του φορτίου ηλεκτρονικού και φωτογραφικού εξοπλισμού που μπορεί να δεχθεί το U-2R.

Το “Article 341” πραγματοποίησε την πρώτη πτήση του την 1^η Αυγούστου 1955 με πιλότο τον Τόνι Λεβιέρ . Μια σειρά δοκιμών τους επόμενους μήνες στην Groom Lake, μία απομονωμένη τοποθεσία στην έρημο της Νεβάδα, απέδειξε τις ικανότητες της σχεδίασης, κυρίως όμως επέκτεινε τον φάκελο πτήσης σε τέτοια ύψη όπου την εποχή εκείνη δεν υπήρχε αναχαιτιστικό αεροσκάφος, αλλά ούτε και πυραυλικό σύστημα το οποίο να μπορεί να το καταρρίψει.

Πριν ακόμη ολοκληρωθούν οι δοκιμές, η ηγεσία της CIA είχε εγκρίνει την παραγωγή 20 αεροσκαφών με κωδικό U-2A. Κατά την σχεδίαση του αεροσκάφους έγιναν για πρώτη φορά προσπάθειες να περιοριστεί το ηλεκτρομαγνητικό ίχνος του, αλλά λόγω της ελάχιστης γνώσης και εμπειρίας πάνω στο θέμα πολύ λίγα πράγματα μπορούσαν να γίνουν. Το πιο σημαντικό μέτρο που υιοθετήθηκε, πέρα από κάποια μικρά σχεδιαστικά στοιχεία, ήταν μια ειδική βαφή απορρόφησης ακτινοβολίας με συστατικά Φερρίτη.

Τελικά τ' αεροσκάφος όντως παρουσίαζε μικρότερο ίχνος στα ραντάρ από το αναμενόμενο για το μέγεθος του, κάτι πρωτοποριακό για την εποχή. Η ακριβής παραγωγή του U-2 δεν έγινε ποτέ γνωστή, λόγω του πέπλου μυστικότητας που κάλυπτε για δεκαετίες το πρόγραμμα. Πιστεύεται πάντως ότι κατασκευάστηκαν περίπου 60 αεροσκάφη που χρησιμοποιήθηκαν σε χιλιάδες αποστολές κατασκοπείας, φωτοαναγνώρισης και πειραμάτων από την CIA, την U.S.A.F. και την NASA . Μάλιστα μετά την απόσυρση του SR-71, το αεροσκάφος στην τελευταία έκδοση του, την U-2R, παραμένει το μοναδικό επανδρωμένο σύστημα στρατηγικής αναγνώρισης. Έτσι, λόγω ακριβώς της μεγάλης επιχειρησιακής του αξίας ακόμη και σήμερα αποφασίστηκε η διατήρηση του σε υπηρεσία για αρκετά χρόνια ακόμη με αντικατάσταση του κινητήρα του και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

5.2 LOCKHEED SR-71 “BLACKBIRD”

Στο τέλος της δεκαετίας του '50 είχε ήδη αρχίσει να γίνεται αντιληπτό ότι οι καινούριες γενιές αντιαεροπορικών πυραύλων σύντομα θα μπορούσαν να καταρρίψουν οποιοδήποτε γνωστό αεροσκάφος υπήρχε σε υπηρεσία, συμπεριλαμβανομένου του εξαιρετικού μέχρι τότε U-2, πάρα το πολύ μεγάλο ύψος που πετούσε. Έτσι στην αντίληψη των σχεδιαστών άρχισε να επικρατεί το δόγμα “ταχύτερα, ψηλότερα, μακρύτερα”, δηλαδή η αύξηση των επιδόσεων των καινούργιων αεροσκαφών σ' εξωπραγματικό βαθμό.

Οι εξελίξεις πάνω στο θέμα αυτό επιταχύνθηκαν από το περιστατικό της κατάρριψης ενός U-2 που εκτελούσε πτήση κατασκοπείας πάνω από Σοβιετικό έδαφος, με πιλότο τον Gary Powers, την 1^η Μαΐου 1960. Ήδη όμως οι Αμερικανοί επιτελείς οραματίζονταν ένα υπερμαχητικό που θα ταξίδευε με ταχύτητα πάνω από 3 Mach στο ύψος των 90.000 ft θα είχε τεράστια εμβέλεια και θα ενσωμάτωνε την τελειότερη τεχνολογία stealth μέχρι τότε. Είναι περιττό να τονίσουμε ότι οι προδιαγραφές αυτές φάνταζαν εξωπραγματικές για την εποχή εκείνη! Το αεροσκάφος αυτών των δυνατοτήτων ανέλαβε να υλοποιήσει πάλι η Lockheed με το A-12, ένα αναχαιτιστικό αεροσκάφος που τελικά ακυρώθηκε η παραγωγή του, αλλά μπήκε σε υπηρεσία σαν στρατηγικό αναγνωριστικό με την ονομασία SR-71.

Η σχεδίαση και κατασκευή του αεροσκάφους ήταν ένας πραγματικός άθλος που δημιούργησε επανάσταση σχεδόν σε κάθε τομέα της αεροναυπηγικής. Δεν υπήρχαν στοιχεία για τέτοιες ταχύτητες, ούτε η απαραίτητη τεχνολογία μέχρι τότε για να υλοποιηθούν όλα αυτά. Η τελική έκδοση του αεροσκάφους είχε μήκος 33 m και εκπέτασμα 17 m. Το μέγιστο βάρος απογείωσης ήταν 77 tn. Ήταν διαθέσιο και προωθούταν από 2 κινητήρες τύπου scramjet, Pratt & Whitney J58 που απέδιδαν 32.500 lbs ώσης με μετάκαυση ο καθένας. Το αεροπλάνο είχε μέγιστη ταχύτητα 3,4 Mach και μέγιστη παρατεταμένη για μεγάλα διαστήματα 3+ Mach σε επιχειρησιακό ύψος 26.000 m. Οι πιλότοι του φορούσαν ειδικές διαστημικές στολές και ακολουθούσαν αυστηρό πρόγραμμα διατροφής πριν τις πτήσεις. Η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία του σκάφους ήταν 450 °C και σε κάποια σημεία η μέγιστη 1000 °C (ρύγχος και χείλη προσβολής). Τα υλικά κατασκευής ήταν κυρίως τιτάνιο και ειδικά κράματα χάλυβα που εξελίχθηκαν

τότε ειδικά για το αεροσκάφος. Όλη η άτρακτος κι οι πτέρυγες ήταν στην ουσία τεράστιες δεξαμενές καυσίμου για την επίτευξη της απαιτούμενης εμβέλειας (5.000km), οι οποίες αυτοσφραγιζόντουσαν στον αέρα όταν τα μέταλλα του αεροσκάφους επιμηκυνόντουσαν απ' τις υψηλές θερμοκρασίες. Στο έδαφος όταν ήταν σε συστολή όλο το αεροσκάφος, εστίαζε από παντού καύσιμο δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα στο προσωπικό εδάφους.

Αυτό που ήταν όμως πραγματικά εκπληκτικό ήταν ότι όλες αυτές επιδόσεις συνδυάζονταν με χαμηλό R.C.S.. Η τεχνολογία stealth που ενσωμάτωνε το αεροσκάφος για την εποχή εκείνη ήταν απίστευτη. Η άτρακτος με τις πτέρυγες ενωνόντουσαν ομοιόμορφα μ' απαλές αεροδυναμικές γραμμές χωρίς απότομες εξάρσεις και ανωμαλίες που θ' ανέβαζαν το R.C.S.. Σε μερικές κρίσιμες περιοχές όπως το ρύγχος κι η καλύπτρα, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική faceting. Τα κάθετα σταθερά έγιναν κεκλιμένα προς τα μέσα ενώ στις εισαγωγές αέρα, οι κωνικοί οδηγοί ροής κάλυπταν το πρόσωπο του κινητήρα απ' την ακτινοβολία των ραντάρ.

Ένας άλλος τομέας που σημειώθηκε τρομερή εξέλιξη ήταν τα υλικά κατασκευής. Αυτά θα έπρεπε να αντέχουν δομικά τις υψηλές θερμοκρασίες απ' την ταχύτητα των 3 Mach και παράλληλα θα έπρεπε να συνεισφέρουν στην μείωση του R.C.S.. Έτσι στα χείλη προσβολής της πτέρυγας και στις προεκτάσεις της ατράκτου χρησιμοποιήθηκε μια καινούρια γενιά πλαστικών υλικών μ' αυτές τις ιδιότητες. Τέλος η μαύρη βαφή του αεροσκάφους (που του έδωσε και την ονομασία "Blackbird") είχε δυο στόχους: ο ένας ήταν η μείωση του θερμικού ίχνους, προσφέροντας υψηλή απορρόφηση θερμότητας από την τριβή στις υψηλές ταχύτητες κι ο άλλος ήταν η μείωση του ηλεκτρομαγνητικού ίχνους με την απορρόφηση της ακτινοβολίας των ραντάρ απ' τα μεταλλικά στοιχεία που περιείχε όπως και το U-2.

Το πρώτο ολοκληρωμένο A-12 ολοκληρώθηκε τον χειμώνα του 61/62 κι έκανε την πρώτη του πτήση στις 26/4/1962 κι η ύπαρξη του ανακοινώθηκε στο κοινό στις 29/2/1964. Τελικά όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η αναχαιτιστική μονοθέσια έκδοση A-12 ακυρώθηκε και στην παραγωγή προχώρησε το αναγνωριστικό (χωρίς κανένα είδος οπλισμού) διθέσιο SR-71. Το SR-71 πέταξε για πρώτη φορά στις 22/12/1964 και το πρώτο αεροσκάφος παραδόθηκε για επιχειρησιακή χρήση τον Μάιο του 1966.

Το “Blackbird” ήταν πραγματικά ένα μοναδικό αεροσκάφος και κατά την διάρκεια της επιχειρησιακής χρήσης του έθεσε πάρα πολλά ασύλληπτα ρεκόρ ταχύτητας, υψομέτρου και κάλυψης αποστάσεων στον μικρότερο δυνατό χρόνο που ισχύουν μέχρι σήμερα! Φυσικά οι επιχειρησιακές του δυνατότητες ήταν πραγματικά τεράστιες και μέχρι σήμερα δεν έχει ξεπεραστεί από κανένα άλλο αεροσκάφος. Επίσης προσέφερε ένα τεράστιο πλήθος επιστημονικών δεδομένων κατά την διάρκεια αρκετών πειραμάτων απ’ την NASA . Τελικά το αυξανόμενο κόστος συντήρησης του τύπου κι οι διαδοχικά αυξανόμενες περικοπές των αμερικανικών ενόπλων δυνάμεων οδήγησαν στην απόσυρση του SR-71 στις 30/10/1998 χωρίς κάποιο (γνωστό) αντικαταστάτη μέχρι σήμερα.



Εικόνα 5.4 : Ένα SR-71A πετάει σε μεγάλο υψόμετρο. Το σχήμα ήταν εξωπραγματικό για την εποχή που σχεδιάστηκε και πρωτοπέταξε. Είναι εμφανή κάποια στοιχεία stealth, όπως τα κεκλιμένα κάθετα σταθερά πτερύγια, η πτέρυγα τύπου “διπλού Δέλτα” και η τριγωνική διατομή της καλύπτρας και της ατράκτου.



Εικόνα 5.5 : Φωτογραφία ενός SR-71A, η διαθέσιμη εκπαιδευτική έκδοση του τύπου. Οι επιδόσεις του αεροσκάφους και τα ρεκόρ που έχει θέσει παραμένουν αξεπέραστα μέχρι και σήμερα.

5.3 LOCKHEED F-117 “NIGHTHAWK”

5.3.1 Η γέννηση του πρώτου «αόρατου» μαχητικού

Η ανάγκη για ένα αεροπλάνο κρούσης που θα μπορούσε να διεισδύσει στην αντιαεροπορική άμυνα με ελάχιστο ρίσκο ανέκυψε μέσα από την ραγδαία ανάπτυξη των αντιαεροπορικών πυραύλων, τομέα στον οποίο η Σοβιετική Ένωση επένδυε τεράστια πόσα απ’ τα τέλη της δεκαετίας του ’50. Οι πικρές εμπειρίες της αμερικανικής αεροπορίας στο Βιετνάμ ήρθαν να επιβεβαιωθούν στον πόλεμο του Yom Kippur το 1973, όταν οι Σοβιετικοί SAM, σε αιγυπτιακά και συριακά χέρια, στοίχησαν στην αεροπορία του Ισραήλ 109 αεροπλάνα μέσα στις 18 ημέρες των επιχειρήσεων. Τα συστήματα ηλεκτρονικού πολέμου που εσπευσμένα προμήθευσαν οι Η.Π.Α. στην ισραηλινή αεροπορία απέτρεψαν μεγαλύτερη καταστροφή, αλλά ταυτόχρονα έκαναν φανερό ότι η λύση δεν ήταν τ’ αντίμετρα, αφού η απειλή θα ήταν

πάντα ένα βήμα εμπρός. Αντίθετα η λύση βρισκόνταν στην εξουδετέρωση του βασικού που διέθετε η εχθρική αεράμυνα του ραντάρ.

Οι σχεδιαστές επιχειρήσεων στο αμερικανικό Πεντάγωνο ονειρεύονταν ένα αεροσκάφος με τόσο μικρό ίχνος στα ραντάρ που θα ήταν επιχειρησιακά «αόρατο» στην αντίπαλη αεράμυνα. Η DARPA, ο οργανισμός έρευνας και ανάπτυξης του Πενταγώνου, προκήρυξε έναν απόρρητο διαγωνισμό για την υποβολή προτάσεων σχετικά με τεχνικές που θα επέτρεπαν σ' ένα αεροσκάφος να μην είναι εύκολα ανιχνεύσιμο απ' τα ραντάρ προσκαλώντας 5 εταιρίες. Στο πρόγραμμα αυτό (γνωστό ως "Harvey") παραδόξως δεν είχε προσκληθεί η Lockheed, τόσο γιατί είχε πάνω από μια δεκαετία να σχεδιάσει ένα μαχητικό αεροπλάνο, όσο και γιατί οι λεπτομέρειες απ' το πρόγραμμα του SR-71 παρέμεναν ακόμα πρακτικά άγνωστες στην ευρύτερη στρατιωτική κοινότητα. Λέγεται ότι η εταιρία χρειάστηκε να αποδεσμεύσει στοιχεία από τη CIA και να τα παρουσιάσει στην DARPA, ώστε να γίνει δέκτη στο διαγωνισμό. Το SR-71 είχε επιδείξει εκπληκτικές ιδιότητες με ίχνος έως 100 φορές μικρότερο απ' τα μαχητικά της κατηγορίας του F-14.

Στην τελική φάση του διαγωνισμού η αναμέτρηση έγινε ανάμεσα στη Lockheed και τη Northrop με την πρώτη να αναδεικνύεται νικήτρια τον Απρίλιο του 1976. Το όλο πρόγραμμα είχε την υψηλότερη δυνατή διαβάθμιση κι έτσι το παρασκήνιο δεν έγινε ποτέ γνωστό. Απ' τις πληροφορίες όμως που υπάρχουν, φαίνεται ότι η πρόταση της Northrop βασισμένη στην εμπειρία της στις ιπτάμενες πτέρυγες απαιτούσε μακρύτερο χρόνο ανάπτυξης. Αντίθετα, οι μηχανικοί της Lockheed είχαν καταλήξει σε μια πολύ πιο απλή λύση που απαιτούσε την επίλυση εξισώσεων επιφανειών (facets) δύο διαστάσεων και όχι τριών, όπως της Northrop, για την διαμόρφωση της εξωτερικής επιφάνειας του αεροπλάνου. Είχαν διαπιστώσει ότι αν ένα αεροσκάφος διέθετε πολυεδρική επιφάνεια σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε ν' ανακλά τα κύματα ραντάρ μακριά απ' τις κεραίες που τα απέστειλλαν κι ανέμεναν τις ανακλάσεις τους, θα παρέμενε «αόρατο» σ' αυτά. Απ' την άλλη η σχεδιαστική αυτή τεχνική (faceting) αναμενόταν ότι θα προκαλούσε αεροδυναμικές αδυναμίες και μεγάλη δυσκολία στο χειρισμό του αεροπλάνου, που μπορούσε να ξεπεραστεί μόνο με τη βοήθεια ενός εξελιγμένου ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου πτήσης FBW (Fly By Wire).

5.3.2 Πρόγραμμα “Have Blue”

Με την κατακύρωση του διαγωνισμού, η εταιρεία ανέλαβε αμέσως την κατασκευή δύο επανδρωμένων πρωτότυπων αεροπλάνων επίδειξης τεχνολογίας γνωστών ως Χ.Σ.Τ. (eXperimental Survivable Test – beds) με το πρόγραμμα να παίρνει την κωδική ονομασία “Have Blue”. Η κατασκευή αυτών των πρωτοτύπων έγινε χρησιμοποιώντας υπάρχουσα τεχνολογία παίρνοντας ακόμη και κομμάτια από άλλα αεροπλάνα, αφού ο μοναδικός σκοπός τους ήταν ν’ αποδείξουν την θεωρία του faceting στην πράξη. Όπως φανερώθηκε ύστερα από είκοσι σχεδόν χρόνια, η πολυεδρική εξωτερική επιφάνεια των Χ.Σ.Τ. ήταν καλυμμένη με εύκαμπτα φύλλα υλικού απορρόφησης ακτινοβολίας ραντάρ (R.A.M), τα οποία τοποθετούνταν με κόλλα επάνω στην αλουμινένια άτρακτο.

Οι λεπτομέρειες των αεροσκαφών αυτών παραμένουν ακόμη και σήμερα απόρρητες και γενικά εικάζεται ότι τα δυο Χ.Σ.Τ. βρίσκονταν πολύ κοντύτερα στην αρχική ιδέα της Lockheed για ένα «αόρατο» σχέδιο γνωστό ως “Hopeless Diamond”. Λέγεται μάλιστα ότι παρουσίαζαν ακόμα μικρότερο ίχνος στα ραντάρ απ’ ότι οι επιχειρησιακοί τους διάδοχοι, τα F-117. Η ανάπτυξη, η κατασκευή και η δομική των δυο πρωτοτύπων έγιναν με απόλυτη μυστικότητα κι οι περισσότεροι απ’ όσους ασχοληθήκαν με το πρόγραμμα δεν ήξεραν καν για τι εργάζονται, αφού τα μοναδικά ολοκληρωμένα σχέδια ήταν προσβάσιμα μόνο από ελάχιστους.

Τα δύο αεροσκάφη μεταφέρθηκαν στην αεροπορική βάση Nellis, στην περιοχή της αποξηραμένης λίμνης Groom, η οποία έχει μέγεθος αντίστοιχο της Ελβετίας, αποτελώντας ένα ιδανικό πεδίο δοκιμών που φυλάσσεται εξαιρετικά αυστηρά. Το πρώτο από τα δυο Χ.Σ.Τ. πέταξε την 1^η Δεκεμβρίου 1977. Οι δοκιμές που ακολούθησαν πραγματοποιήθηκαν με απίστευτα μέτρα ασφαλείας. Κάποιος που δεν είχε κατάλληλη εξουσιοδότηση δεν επιτρεπόταν καν να δει τα αεροπλάνα. Έτσι όταν αυτά άφηναν το υπόστεγο, το μη διαπιστευμένο προσωπικό έμενε κλειδωμένο σε ειδική αίθουσα στην άλλη πλευρά του αεροδρομίου.

Επιπλέον η ασφάλεια της βάσης έκανε σχολαστικό έλεγχο, ώστε και το παραμικρό χαρτί ή άλλο στοιχείο που σχετίζονταν με το πρόγραμμα να καταστρεφόταν όταν δεν χρειαζόταν πια.



Εικόνες 5.6 : Δύο φωτογραφίες που απεικονίζουν το αεροσκάφος X.S.T. του προγράμματος “Have Blue”. Σε σχέση με το τελικό σχέδιο του F-117 ήταν μικρότερα κατά 60% και είχαν κάποιες διαφορές στην άτρακτο και στα κάθετα σταθερά πτερύγια. Τα X.S.T. είχαν μικρότερο R.C.S. απ’ τα F-117.

Το πρώτο X.S.T. είχε ως στόχο να ερευνήσει την πτητική συμπεριφορά της σχεδίασης, όπου η μεγάλη δυναμική αστάθεια αντιμετωπιζόταν με ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου πτήσης τεσσάρων καναλιών. Παρ’ όλα αυτά ο χειρισμός του ήταν δύσκολος έως επικίνδυνος, καθώς η ραγδαία απώλεια ταχύτητας με απότομη αναρρίχηση, η υψηλή ταχύτητα προσγείωσης (κοντά στα 250 km/h) κι ο μεγάλος βαθμός βύθισης του ρύγχους ήταν χαρακτηριστικό σε πρωτόγνωρα μεγέθη για επανδρωμένο αεροπλάνο.

Έτσι το πρώτο “Have Blue” δεν άργησε να καταστραφεί σε ατύχημα, τραυματίζοντας σοβαρά τον δοκιμαστή πιλότο Bill Park. Το δεύτερο πρωτότυπο είχε ως αποστολή την επίδειξη των δυνατοτήτων απόκρυψης που προσέφερε τα υλικά R.A.M. κι η όλη διαμόρφωση του αεροπλάνου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όταν ακολουθούσε το βέλτιστο προφίλ πτήσης (ευθεία και οριζόντια με σποραδικές, αργές αλλαγές κατεύθυνσης) μόλις που διακρίνονταν ένα ασθενές στίγμα στις οθόνες των επίγειων ραντάρ που στους παλαιότερους τύπους ήταν συγκεχυμένο με το “θόρυβο υποβάθρου” (background noise).

5.3.3 F-117A : Το τελικό σχέδιο παραγωγής

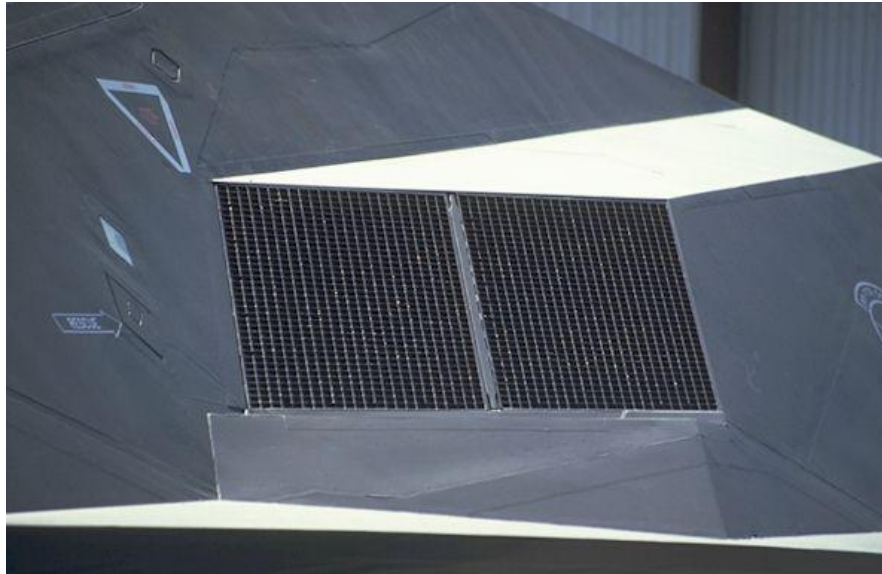
Οι ιθύνοντες της U.S.A.F. εντυπωσιασμένοι από τ' αποτελέσματα του προγράμματος “Have Blue” ανέθεσαν την 1/11/1978 την κατασκευή μιας επιχειρησιακής έκδοσης στο πλαίσιο ενός προγράμματος που ονομάστηκε “Senior Trend”. Η αρχική παραγγελία αφορούσε 5 αεροπλάνα προπαραγωγής και 20 παραγωγής. Τελικά η συνολική παραγγελία έφτασε τα 59, αφήνοντας στην εταιρία κέρδη 79 εκατ. δολαρίων, πόσο μικρό σε σχέση μ' αλλά προγράμματα, στα οποία η παραγωγή έφτανε τα εκατοντάδες κομμάτια. Το πρώτο απ' τα αεροπλάνα πέταξε στις 18/6/1981 πραγματοποιώντας μια πτήση χωρίς προβλήματα.

Το πρώτο F-117 παραγωγής παραδόθηκε το 1982 και το τελευταίο το 1990. Αν και κανονικά το νέο αεροπλάνο θα έπρεπε να πάρει τον κωδικό “F-19”, επίσημα του δόθηκε ο κωδικός “F-117” χωρίς ποτέ να αιτιολογηθεί επαρκώς το γιατί έγινε αυτό, αφήνοντας έτσι περιθώρια για διάφορα σενάρια συνωμοσιολογίας. Η ύπαρξη του νέου αεροπλάνου κι αργότερα η μορφή του θα παρέμενε κρυφή για πολλά χρόνια ακόμη, αλλά στις αρχές της δεκαετίας του 1980 ο Λευκός Οίκος ανακοίνωσε την ύπαρξη του ενός νέου, ριζοσπαστικού τακτικού μαχητικού. Το νέο αεροπλάνο ονομάστηκε “stealth fighter” και θα γινόταν ένα από τα πιο «καυτά» δημοσιογραφικά θέματα της ερχόμενης δεκαετίας.



Εικόνα 5.7α : Το F-117 σχεδιάστηκε με βάση την τεχνική faceting, που του δίνει ένα πολύ ιδιαίτερο και ριζοσπαστικό σχήμα. Οι πτέρυγες έχουν μεγάλη οπισθόκλιση και η ουρά σχήμα “V”.





Εικόνες 5.7β : Οι εισαγωγές αέρα των κινητήρων καλύπτονται μ' ένα ειδικό πλέγμα από υλικό R.A.M.. Η καλύπτρα, οι θυρίδες και τ' ανοίγματα έχουν προιονωτές άκρες για διασπορά της ακτινοβολίας.

Τελικά τον Νοέμβριο του 1988, το Πεντάγωνο παρουσίασε την πρώτη φωτογραφία του αεροπλάνου, στην οποία φαινόταν μόνο το περίγραμμα του και κάποια βασικά στοιχεία χωρίς άλλες λεπτομέρειες ή πληροφορίες. Το F-117 έχει μήκος 20 m, εμπέτασμα 13,2 m και μέγιστο βάρος απογείωσης 23.800 kgr.

Πρωθείται από 2 τουρμποφάν κινητήρες General Electric F404-GE-F1D2, χωρίς μετακαυστήρες για μειωμένο υπέρυθρο ίχνος που του δίνουν μέγιστη ταχύτητα 0,9 Mach. Η κατασκευή του είναι κυρίως από αλουμίνιο, εκτός από την περιοχή των κινητήρων και των εξαγωγών που είναι από τιτάνιο .

Για την σχεδίαση του έγινε εκτεταμένη χρήση της τεχνικής faceting στην άτρακτο και παντού κυριαρχούν οι ευθείες γραμμές και οι γωνίες αντί για καμπύλες ή κοίλα τμήματα. Για την μεταφορά οπλισμού χρησιμοποιεί δυο εσωτερικές αποθήκες που ανοίγουν αυτόματα την στιγμή της ρίψης. Οι θυρίδες αυτές μπορούν να μεταφέρουν μόνο μια βόμβα η καθεμιά, αλλά πάντα χρησιμοποιούνται καθοδηγούμενες βόμβες υψηλής ακρίβειας και μεγάλης ισχύος. Δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει πυραύλους αέρος-αέρος,

ούτε έχει εσωτερικά φερόμενο πυροβόλο αλλά μπορεί να μεταφέρει πυρηνικά όπλα. Όλες οι θυρίδες (συντήρησης, καλύπτρας, οπλισμού, σκελών προσγειώσεως) έχουν “πριονωτά” άκρα για την διασπορά της ακτινοβολίας.

Οι εισαγωγές αέρα καλύπτονται από ένα μεταλλικό πλέγμα ειδικής σχεδίασης, κατασκευασμένο με υλικά RAM, που «κρύβει» την εσοχή και το μέτωπο του κάθε κινητήρα, ενώ οι εξαγωγές των καυσαερίων έχουν παραλληλόγραμμο σχήμα αντί για το συνηθισμένο κυκλικό. Επίσης σε πάρα πολλά σημεία του αεροσκάφους έχουν χρησιμοποιηθεί υλικά R.A.M., ενώ κι η χαρακτηριστική μαύρη βαφή του αεροσκάφους έχει κάποια στοιχεία απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Ένα άλλο στοιχείο που συμβάλλει στη μείωση του ίχνους του αεροσκάφους είναι τα ουραία πτερύγια σε σχέδιο “πεταλούδας” που αντικατέστησαν το τυπικό σετ του κάθετου σταθερού κι οριζοντίων πτερυγίων. Ωστόσο η διαμόρφωση αυτή παρέχει μειωμένη ικανότητα ελέγχου του αεροσκάφους σε υψηλές ταχύτητες. Λόγω του σχήματος του, το F-117 χρησιμοποιεί ένα τετραπλό ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου “Fly-By-Wire (F.B.W.)”, χωρίς το οποίο δεν θα μπορούσε να πετάξει ποτέ. Αν κι είναι γενικά ευέλικτο αεροσκάφος, αν βγει εκτός παραμέτρων του φακέλου πτήσεως είναι πολύ δύσκολο να επανέλθει σε ελεγχόμενη πτήση και θεωρείται ιδιαίτερα επικίνδυνο απαιτώντας έτσι ειδική μεταχείριση.

Βέβαια για κάθε αποστολή, το προφίλ πτήσεως είναι προγραμματισμένο έτσι ώστε ν’ αποφεύγονται οι μεγάλες κλίσεις ή οι απότομοι ελιγμοί, αφού έτσι αυξάνεται το R.C.S.. Το F-117 δεν έχει ραντάρ για τον περιορισμό των εκπεμπόμενων ακτινοβολιών, αλλά χρησιμοποιεί 2 συσκευές υπερύθρων “FLIR” για την εύρεση των στόχων του και μία συσκευή λέιζερ για να τους «φωτίσει» στις κεφαλές των βομβών του.



Εικόνα 5.8 : Πλάγια όψη του αεροσκάφους όπου διακρίνεται τ' οπίσθιο ρομβοειδές σχήμα της ατράκτου και τα πολύ λεπτά ορθογώνια ακροφύσια. Λόγω του σχήματός του, το F-117 έχει επικίνδυνα πτητικά χαρακτηριστικά και δεν πρέπει να βγαίνει ποτέ εκτός φακέλου πτήσης. Για να μπορεί να πετάει, χρησιμοποιεί ένα εξελιγμένο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου πτήσης F.B.W..

5.3.4 Επιχειρησιακή δράση

Με την παραλαβή αρκετών αεροσκαφών και την εκπαίδευση των χειριστών, τα F-117 τέθηκαν σ' επιχειρησιακή διαθεσιμότητα με τα αεροπλάνα επιφυλακής να μπορούν ν' αναχωρήσουν εντός δύο ωρών ανά πάσα στιγμή. Οι αποστολές μπορούσαν ν' αναληφθούν μόνο υστέρα από προεδρική εντολή και σε δύο τουλάχιστον περιπτώσεις η μονάδα τέθηκε σε συναγερμό, αλλά τελικά τα F-117 δεν πέταξαν ποτέ. Η μία ήταν η περίπτωση της αμερικανικής επέμβασης στην Γρενάδα τον Οκτώβριο του 1983, όπου αποφασίστηκε ότι η αποστολή δεν ήταν αρκετά σημαντική, ενώ τον ίδιο μήνα μια αποστολή για να πληγούν στόχοι στο Λίβανο ακυρώθηκε,

διότι η μετάβαση κρίθηκε ιδιαίτερα πολύπλοκη, βάζοντας σε ρίσκο τη μυστικότητα του προγράμματος.

Το 1986, τα F-117 είχαν σχεδιαστεί να επιχειρήσουν εναντίον της Λιβύης, αλλά πάλι η αποστολή δεν εγκρίθηκε. Τελικά η πρώτη πολεμική επιχείρηση των F-117 έγινε το Δεκέμβριο του 1989, κατά την αμερικανική εισβολή στον Παναμά. Εκεί χρησιμοποιήθηκαν μονό 2 αεροσκάφη απ' τα 6 που απογειώθηκαν συνολικά, με τα υπόλοιπα να ανακαλούνται πίσω στην βάση τους. Αν και δεν έπληξαν με ακρίβεια τους στόχους τους, η αποστολή θεωρήθηκε επιτυχημένη γιατί δεν αποκαλύφθηκαν απ' τα ραντάρ του αντιπάλου.



Εικόνα 5.9 : Το F-117 έχει δύο εσωτερικές αποθήκες εξοπλισμού που η κάθε μία χωράει από μία έξυπνη βόμβα των 1.000 kg. Την στιγμή της άφησης οι θυρίδες ανοίγουν και κλείνουν μέσα σ' ελάχιστο χρόνο για περιορισμό των ανεπιθύμητων αντανάκλασεων που δημιουργούνται.

Ωστόσο το F-117 απέδειξε την αξία στον πόλεμο του Ιράκ τον Ιανουάριο του 1991, όπου και αναδείχθηκε πρωταγωνιστής των αεροπορικών επιχειρήσεων. Τις πρώτες ώρες του πολέμου ανέλαβαν τις πιο δύσκολες αποστολές, πετώντας αυτόνομα, βαθιά μέσα στο εχθρικό έδαφος, χτυπώντας αθέατα τους πιο σημαντικούς στρατηγικούς στόχους κι αργότερα τις εγκαταστάσεις των ραντάρ της Ιρακινής αεράμυνας, ανοίγοντας έτσι τον

δρόμο στα υπόλοιπα αεροσκάφη των συμμαχικών δυνάμεων. Η δράση τους συνεχίστηκε μ' έντονους ρυθμούς σ' όλη την διάρκεια του πολέμου επιδεικνύοντας τις τεράστιες δυνατότητες της τεχνολογίας stealth.

Επόμενο μεγάλο επιχειρησιακό πεδίο ήταν στον πόλεμο της Γιουγκοσλαβίας το 1999, όπου και υπέστη την μοναδική κατάρριψη του τύπου μέχρι τώρα και τέλος οι πλέον πρόσφατες αποστολές πραγματοποιηθήκαν πάλι εναντίον του Ιράκ, το 2002 κατά την διάρκεια της επιχείρησης "Iraqi Freedom". Έχει υπολογιστεί ότι ένα μόνο F-117, μ' έναν πιλότο και μία βόμβα καθοδηγούμενη με λέιζερ, μπορεί να εξουδετερώσει έναν στόχο για τον οποίο την εποχή του Β' Παγκοσμίου Πολέμου θα απαιτούνταν συνολικά 108 βομβαρδιστικά B-17, με 1080 άτομα πλήρωμα και 648 ρίψεις συμβατικών βομβών !

5.3.5 Το μέλλον του Nighthawk

Η διατήρηση των ικανοτήτων απόκρυψης του F-117 απ' τα ραντάρ απαιτεί μία δύσκολη, χρονοβόρα και πανάκριβη διαδικασία συντήρησης των ετερόκλητων υλικών R.A.M. που καλύπτουν την άτρακτο του. Επιπλέον, το πρόβλημα των 7 διαφορετικών υποεκδόσεων μεταξύ των κατασκευασμένων F-117 ήταν δυσβάσταχτο όλα αυτά τα χρόνια, καθώς απαιτούσε εκτεταμένο εξοπλισμό βάσης, ευρεία λογιστική υποστήριξη και πολύπλευρη εκπαίδευση των μηχανικών. Για τους λόγους αυτούς και δεδομένης της εξέλιξης της τεχνολογίας των υλικών R.A.M. αποφασίστηκε η αλλαγή της επικάλυψης.

Έτσι αφαιρούνται τα κολλητά φύλλα από το 75% της συνολικής εξωτερικής επιφάνειας και το αεροπλάνο επιχρίεται με βαφή R.A.M. σε μορφή σπρέι, που γίνεται ρομποτικά. Το νέο υλικό R.A.M. είναι πολύ πιο ανθεκτικό από τα προηγούμενα και μ' αυτό επιτυγχάνεται ευκολότερα κάλυψη χωρίς φεγάδια. Ταυτόχρονα με τις παραπάνω αλλαγές, πραγματοποιούνται παράλληλα και πολλές άλλες επιδιορθώσεις και αναβαθμίσεις σε κρίσιμα δομικά και ηλεκτρονικά στοιχεία του αεροσκάφους με απώτερο στόχο την αύξηση των επιχειρησιακών ικανοτήτων και μείωση των αναγκών συντήρησης και υποστήριξης. Το F-117 προβλέπεται να χρησιμοποιείται τουλάχιστον μέχρι και το 2018 ή και πιο μετά αν δεν υπάρξει έγκαιρα αντικαταστάτης.

6.ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ STEALTH

6.1 NORTHROP B-2 “SPIRIT”

6.1.1 Γέννηση και ανάπτυξη του προγράμματος

Το B-2 θεωρείται σήμερα ως ένα από τα κορυφαία βομβαρδιστικά αεροσκάφη, καθώς ενσωματώνει μία σειρά πρωτοποριακών χαρακτηριστικών. Η αποστολή του μπορεί γενικά να διαιρεθεί σε τρία τμήματα: Το πρώτο είναι η διείσδυση βαθιά μέσα στην εχθρική ενδοχώρα χωρίς να γίνει αντιληπτό από τα συστήματα προειδοποίησης του αντιπάλου, το δεύτερο είναι η επιλογή των στόχων (σταθερών ή κινητών) διατηρώντας την παρουσία του κρυφή και το τρίτο είναι η προσβολή των στόχων μ' εξελιγμένα πυρομαχικά ακρίβειας. Σκιαγραφώντας το περίγραμμα της αποστολής του B-2 γίνεται κατανοητό ότι οι απαιτήσεις για την σχεδίαση του ήταν ιδιαίτερα αυξημένες.

Είναι το πρώτο βομβαρδιστικό που σχεδιάστηκε με κύριο γνώμονα την επιβιωσιμότητα απέναντι στην πλειοψηφία των εχθρικών απειλών, επιτυγχάνοντας υψηλό δείκτη επιτυχίας χρησιμοποιώντας υπέρ εξελιγμένη τεχνολογία stealth. Η γέννηση του προγράμματος μπορεί να θεωρηθεί ότι ανάγεται στις αρχές της δεκαετίας του '60, όταν η U.S.A.F. αναζητούσε ένα αεροσκάφος που θα μπορούσε να αντιμετωπίσει την ισχυρή σοβιετική αεράμυνα. Μεταξύ 1961 και 1965 ακολούθησαν πέντε νέες μελέτες για το νέο στρατηγικό βομβαρδιστικό. Αποτέλεσμα των μελετών ήταν η ανάθεση στην Rockwell, τον Ιούνιο του 1970, του συμβολαίου για την ανάπτυξη του B-1 A. Όμως στα μέσα της δεκαετίας του '70 έγινε αντιληπτό ότι το B-1 δεν θα μπορούσε να αντιμετωπίσει την σοβιετική αεράμυνα.

Νέα ραντάρ κατόπτευσης διάφορων μαχητικών και οι δοκιμές των ραντάρ της νέας γενιάς αεροσκαφών έγκαιρης προειδοποίησης έδειξαν ότι

μπορούσαν να εντοπίσουν το χαμηλά ιπτάμενο B-1. Η καλύτερη λύση για την επιβίωση ενός βομβαρδιστικού αεροσκάφους ήταν η εξαφάνιση του από τις οθόνες των ραντάρ.

Η νέα τεχνολογία της χαμηλής παρατηρησιμότητας, που έπαιρνε σάρκα και οστά στα απόρρητα αμερικανικά εργαστήρια, έδινε πολλές υποσχέσεις για το μέλλον. Η αμερικανική ηγεσία προχώρησε στο πρόγραμμα του Προηγούμενου Τακτικού Βομβαρδιστικού (Advanced Tactical Bomber – A.T.B.) έχοντας μεγάλες προσδοκίες. Βασική απαίτηση ήταν η μεταφορά 22.500 kgρ φορτίου σε απόσταση μεγαλύτερη των 9.600 km και η ικανότητα επιχειρήσεων από αεροδρόμια που μπορούσαν να δεχθούν το Boeing 727. Η πρόκληση ήταν το αεροσκάφος να εκτελέσει την αποστολή πρακτικά χωρίς να εντοπιστεί από εχθρικά ραντάρ.

Ο διαγωνισμός για το A.T.B. προκάλεσε το ενδιαφέρον πολλών εταιριών κι αρκετές απ' αυτές παρουσίασαν διάφορες εξωτικές προτάσεις σε μια προσπάθεια να κερδίσουν το πλεονέκτημα από τον ανταγωνισμό. Τελικά το 1978 οι δύο αντίπαλοι ήταν η ομάδα των Lockheed – Rockwell κι αυτή των Northrop – Boeing – LTV . Για τους κινητήρες του βομβαρδιστικού διαγωνίζονταν η Pratt & Whitney και η General Electric. Η πρόταση της πρώτης ομάδας απέκτησε την κωδική ονομασία Senior Peg και βασιζόταν στο μετέπειτα F-117 A. Η πρόταση της Northrop ήταν μια ιπτάμενη πτέρυγα με την ονομασία Senior Ice και βασιζόταν στα XB-35/YB-49 που είχαν παρουσιάσει στα τέλη της δεκαετίας του '40 και παρουσίαζαν εκπληκτικά χαρακτηριστικά stealth κι επιδόσεων.



Εικόνα 6.1 : Το Northrop YB-49 ήταν το πρώτο αεριωθούμενο βομβαρδιστικό με σχήμα ιπτάμενης πτέρυγας. Αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '40, αλλά δεν μπήκε ποτέ σε παραγωγή. Κατά την διάρκεια των δοκιμών του παρατηρήθηκε ότι εντοπίζονταν δύσκολα ή χάνονταν τελείως απ' τα ραντάρ.

Το 1976 ο πατέρας της ιπτάμενης πτέρυγας στην Αμερική και ιδρυτής της ομώνυμης εταιρίας, John Northrop, ζήτησε από τη NASA ν' αξιολογήσει τα αεροδυναμικά δεδομένα από το πρόγραμμα XB-35/YB-49. Η απάντηση της NASA ήταν ιδιαίτερα αποκαλυπτική κι επαινούσε τα πλεονεκτήματα της ιπτάμενης πτέρυγας. Είναι πολύ πιθανό η πρόταση της Northrop να είχε διαφορετική μορφή αν δεν υπήρχε το υπόβαθρο των προηγούμενων αυτών αεροσκαφών. Αρωγός στην προσπάθεια της εταιρίας ήταν η σύγχρονη τεχνολογία που βοήθησε στην επίλυση των προβλημάτων, τα οποία είχαν καταδικάσει το πρόγραμμα των XB-35/YB-49 αρκετά χρόνια νωρίτερα.

Στις 20/10/1981 η ομάδα της Northrop κέρδισε το συμβόλαιο ανάπτυξης του A.T.B. κι η General Electric το συμβόλαιο ανάπτυξης των κινητήρων του, ενώ το καινούριο αεροσκάφος ονομάστηκε B-2. Για την κατασκευή του πρώτου πρωτοτύπου η Northrop αγόρασε ένα παλαιό

εργοστάσιο αυτοκινήτων της Ford στο προάστιο Πίκο Ριβιέρα του Λος Άντζελες. Τα μέτρα ασφαλείας ήταν πραγματικά εντυπωσιακά και το κόστος για τη διατήρηση του απορρήτου του προγράμματος έφτασε συνολικά τα δύο δισεκατομμύρια δολάρια.

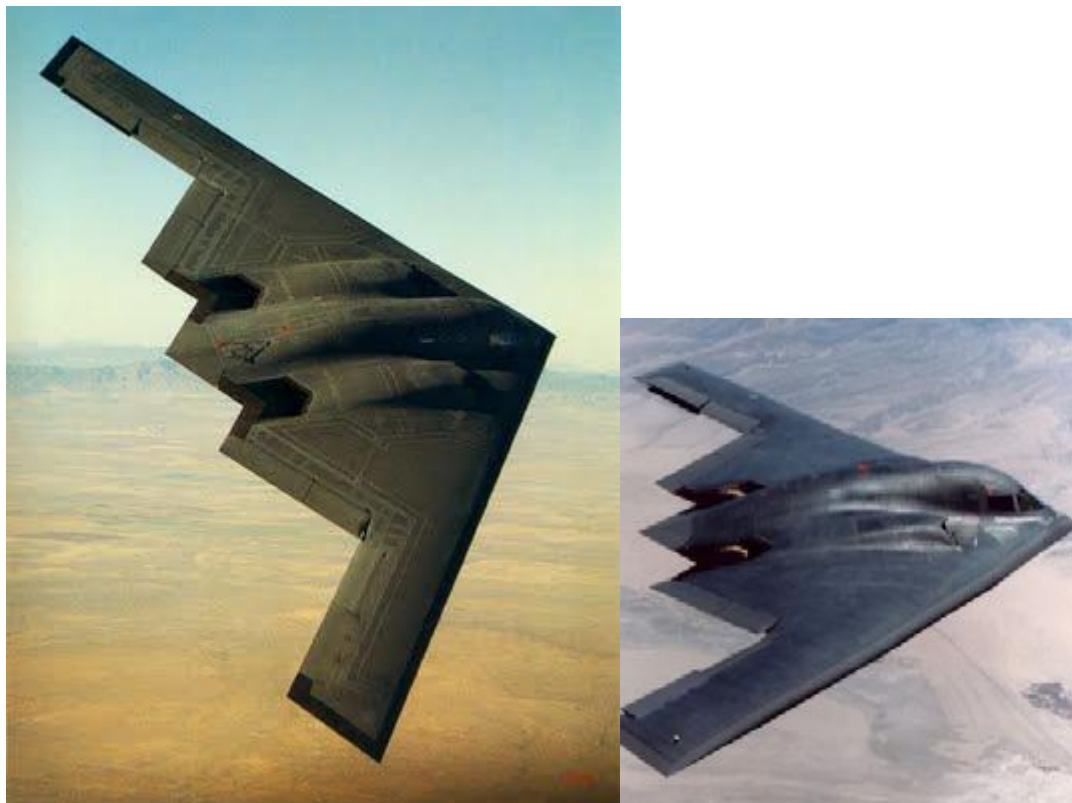
Το εργοστάσιο άρχισε να λειτουργεί επίσημα στις 3/1/1983 και διέθετε ένα απ' τα τελειότερα συστήματα σχεδίασης CAD/CAM. Λίγο μετά την έναρξη της λειτουργίας του εργοστασίου η U.S.A.F. άλλαξε τις προδιαγραφές κι ήθελε το αεροσκάφος ν' αντέχει για χαμηλή πτήση διείσδυσης διατηρώντας τις αρχικές προδιαγραφές μεταφοράς φορτιού κι εμβέλειας. Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων η Northrop αναγκάστηκε να επανασχεδιάσει το αεροσκάφος, με αίτημα την καθυστέρηση ενός έτους στο πρόγραμμα κι αυξημένο κόστος σχεδόν κατά ένα δισεκατομμύριο δολάρια.

Το πρώτο πρωτότυπο, Air Vehicle-1, παρουσιάστηκε δημόσια στις 22/11/1988 κι οι πρώτες δοκιμές τροχοδρόμησης πραγματοποιήθηκαν στις 10/7/1989. Το αεροσκάφος πρώτο πέταξε στις 17/7/1989 από τη βάση Edwards. Η πτήση ήταν διάρκειας 112 λεπτών και πραγματοποιήθηκε χωρίς ν' ανασυρθεί το σύστημα προσγείωσης για λόγους ασφαλείας. Το AV-1 ήταν το πιο δοκιμασμένο αεροσκάφος της ιστορίας πριν καν πετάξει, αφού είχαν προηγηθεί πάνω από 800.000 ώρες δοκιμών απ' τη Northrop.

Αρχικά το προβλεπόμενο κόστος για 132 αεροσκάφη ήταν 36,6 δισεκατομμύρια δολάρια. Την περίοδο της πρώτης πτήσης, το 1989, το πόσο αυτό είχε αυξηθεί κατά 20%. Στις αρχές του 1990, όταν το κόστος του προγράμματος έφθασε τα 45 δισεκατομμύρια δολάρια σε τιμές 1981, ο αριθμός των αεροσκαφών μειώθηκε στα 75. Στα τέλη του 1991 το Κογκρέσο αποφάσισε τη χρηματοδότηση 15 μόνο αεροσκαφών, με κόστος 865 εκατομμύρια δολάρια ανά μονάδα. Τελικά η U.S.A.F. απέκτησε μόνο 21 μονάδες και το κόστος ανά μονάδα για τα τελευταία αεροσκάφη παραγωγής προβλέπονταν να μειωθεί στα 550 εκατομμύρια δολάρια ή σχεδόν όσο αυτό μιας ολόκληρης μοίρας αεροσκαφών F-16. Το B-2 είναι το ακριβότερο αεροπλάνο που κατασκευάστηκε ποτέ στην ιστορία της αεροπορίας.



Εικόνα 6.2 : Το B-2 είναι ένα μοναδικό αεροσκάφος με σχήμα ιπτάμενης πτέρυγας.



Εικόνες 6.3 : Πλάγια όψη του αεροσκάφους όπου διακρίνονται διάφορες λεπτομέρειες, όπως οι επιφάνειες ελέγχου στα χείλη εκφυγής των πτερυγίων και το ύψος του πιλοτηρίου.

6.1.2 Δομή

Το B-2 έχει εκπέτασμα 52,42 m, μήκος 21,03 m κι ύψος 5,18 m. Η συνολική πτερυγική του επιφάνεια είναι 477,51m². Το κενό βάρους του αεροσκάφους είναι 57 tn, ενώ το μέγιστο βάρος του είναι 168 tn.

Το μεγαλύτερο τμήμα της ιπτάμενης πτέρυγας κατασκευάζεται από συνθετικά υλικά, ενώ ο σκελετός αποτελείται από κράμα τιτανίου κι αλουμινίου. Η κατασκευή του B-2 απαιτήσε μεγάλες επενδύσεις στον τομέα της ανάπτυξης και της διαμόρφωσης μεγάλων τμημάτων συνθετικών υλικών. Η τυπική διαδικασία περιλαμβάνει αρχικά την αποθήκευση των συνθετικών υλικών. Η τυπική διαδικασία περιλαμβάνει αρχικά την αποθήκευση των συνθετικών υλικών σε χώρους με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες για τη διατήρηση των ιδιοτήτων τους.

Στον χώρο παραγωγής τα συνθετικά υλικά σχηματίζουν στρώματα ανάμεσα σε λωρίδες εποξικής ρητίνης, για τον αρχικό σχηματισμό των τμημάτων των αεροσκαφών. Τα μεγάλα τμήματα υφίστανται επεξεργασία σε κενό αέρος και μεταφέρονται στην περιοχή του αυτόκλειστου. Κάθε αυτόκλειστο έχει μήκος 27,4 m και διάμετρο 7,6 m κι εφαρμόζει στα τμήματα θερμοκρασία 177 °C και πίεση 100 psi ώστε να λάβουν το κατάλληλο σχήμα. Στο επόμενο στάδιο τα διαμορφωμένα τμήματα λαμβάνουν το τελικό τους σχήμα. Η διαμόρφωση των συνθετικών υλικών, αλλά και των υπολοίπων υλικών που χρησιμοποιούνται στη δομή, πραγματοποιείται από ειδικά ρομποτικά συστήματα που χρησιμοποιούν αφιονισμένο νερό πίεσης 55.000 psi και ταχύτητας 2.092 km/h. Το τελικό στάδιο είναι ο έλεγχος των δομικών τμημάτων με υπερήχους κι ακτίνες X.



Εικόνα 6.4 : Τμήμα της γραμμής παραγωγής του B-2. Κατασκευάστηκαν μόνο 21 και θεωρείται το ακριβότερο αεροσκάφος στην ιστορία της αεροπορίας.

Τα αποτελέσματα των επιθεωρήσεων αποθηκεύονται και αποτελούν μια πολύτιμη βάση δεδομένων για τις μελλοντικές συντηρήσεις του αεροσκάφους, αφού έχει καταγραφεί το 100% των συστημάτων και της δομής τους .

Η πτέρυγα αποτελείται από μία δοκό τιτανίου, όπως και το κεντρικό τμήμα σύνδεσης των πτερυγίων. Τα εξωτερικά τμήματα των πτερυγίων αποτελούνται από συνθετικά υλικά κι είναι οι μεγαλύτερες κατασκευές αυτού του είδους, με μήκος 19,8 m. Στα εξωτερικά τμήματα βρίσκονται οι δεξαμενές καυσίμου, με συνολική μεταφορική ικανότητα 74.844 kg. Το τμήμα πίσω απ' το πιλοτήριο, μήκους 15,24 m αποτελείται επίσης από συνθετικά υλικά.

Το χείλος προσβολής της πτέρυγας είναι μια πολύπλοκη κατασκευή, ώστε να διατηρείται το ίχνος στο ραντάρ μικρό μέσω της αλλαγής της καμπυλότητας και του πάχους της. Η απόκλιση της πτέρυγας είναι 33 μοίρες. Το τμήμα του χείλους προσβολής απ' το ρύγχος από το εξωτερικό τμήμα των

κινητήρων είναι ειδικά σχεδιασμένο για την καθοδήγηση του αέρα σχεδόν υπερηχητική ταχύτητα προς τις αεροεισαγωγές.

Το σύστημα ελέγχου του B-2 διαφέρει σημαντικά απ' τα υπόλοιπα συμβατικά αεροσκάφη κι αξίζει ξεχωριστή αναφορά. Στο εξωτερικό τμήμα του χείλους έκφυλης υπάρχει το ζεύγος καταστροφών άντωσης (drag rudders) για τον έλεγχο στο κάθετο επίπεδο. Κάθε "drag rudder" διαιρείται σε δύο ανεξάρτητα τμήματα, άνω και κάτω. Δίπλα απ' τα drag rudder υπάρχουν τρία πηδάλια ανόδου-καθόδου που καταλαμβάνουν το υπόλοιπο τμήμα της κάθε ημιπτέρυγας. Το εξωτερικό πηδάλιο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της πρόνευσης και του διατοιχισμού σ' όλο το φάσμα του φακέλου πτήσης.

Τα υπόλοιπα δύο πηδάλια έχουν βοηθητικό χαρακτήρα και λειτουργούν μόνο σε χαμηλές ταχύτητες. Η απόληξη των επιφανειών ελέγχου δημιουργεί ένα πηδάλιο με τη χαρακτηριστική ονομασία "ουρά κάστορα (beaver tail)". Το πηδάλιο αυτό είναι κατασκευασμένο από συνθετικά υλικά και σχηματίζει ένα τρίγωνο, η βάση του οποίου συνδέεται με το μοναδικό μη κινητό τμήμα του χείλους έκφυλης, ακριβώς στη νοητή προέκταση του πιλοτηρίου ανάμεσα στους κινητήρες. Το "beaver tail" λειτουργεί ως αντισταθμιστής της πρόνευσης του ρύγχους προς τα πάνω και προς τα κάτω. Κάθε επιφάνεια ελέγχου λειτουργεί με δύο ή τρία υδραυλικά έμβολα που καθοδηγούνται απ' το υδραυλικό σύστημα των 4.000 psi. Οι επιφάνειες ελέγχου αντιστοιχούν στο 15% της πτερυγικής επιφάνειας και στο 90% του χείλους έκφυλης.

Το σύστημα προσγείωσης του B-2 αποτελεί μια τροποποιημένη έκδοση σχεδιάσεων για τα επιβατικά της Boeing μ' ελαστικά της Goodyear. Το ριναίο σκέλος ανασύρεται προς τα πίσω κι αποτελείται από δύο τροχούς. Κάθε κύριο σκέλος αποτελείται από τέσσερις τροχούς εφοδιασμένους με σύστημα πέδησης κι ανασύρεται προς τα εμπρός. Σε κάθε θυρίδα του αεροσκάφους έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για την ελαχιστοποίηση των επιστροφών ραντάρ. Το B-2 διαθέτει δύο αποθήκες βομβών που βρίσκονται πίσω απ' τη θυρίδα του ριναίου σκέλους και διαθέτουν δύο υδραυλικά ελεγχόμενες θυρίδες. Η είσοδος στο πιλοτήριο πραγματοποιείται μέσω μιας ενσωματωμένης αναδιπλούμενης κλίμακας στην αριστερή πλευρά και στο οπίσθιο τμήμα του ριναίου σκέλους.



Εικόνα 6.5 : Στην εικόνα αυτή διακρίνονται τ' ακροφύσια χαμηλού θερμικού ίχνους, το "Beaver Tail", τις βοηθητικές θυρίδες των αεροεισαγωγών ανοικτές και τα κύρια σκέλη προσγειώσεως.



Εικόνα 6.6 : Κοντινή άποψη του αεροσκάφους όπου διακρίνεται το μεγάλο αλεξινέμιο, οι εισαγωγές αέρα των κινητήρων και η θυρίδα της υποδοχής του βραχίονα για εναέριο ανεφοδιασμό καυσίμου.

Στο συμπιεζόμενο πιλοτήριο ο κυβερνήτης του αεροσκάφους βρίσκεται στη δεξιά πλευρά, ενώ ο δεύτερος πιλότος στην αριστερή και πίσω απ' αυτόν μια τρίτη θέση στο πιλοτήριο. Το διμελές πλήρωμα κάθεται σ' εκτινασσόμενα καθίσματα μηδενικού ύψους και ταχύτητας ACES II. Η ορατότητα απ' το πιλοτήριο είναι άριστη (200^0), μέσω των τεσσάρων τμημάτων του αλεξινεμίου, που διαθέτει φωτοευαίσθητες επιφάνειες κι ένα λευκό στρώμα χρυσού για τη μείωση των επιστροφών του ραντάρ. Σε περίπτωση πυρηνικής έκρηξης τ' αλεξινέμιο θα μαυρίσει αυτόματα για την προστασία του πληρώματος από τη λάμψη.

6.1.3 Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός

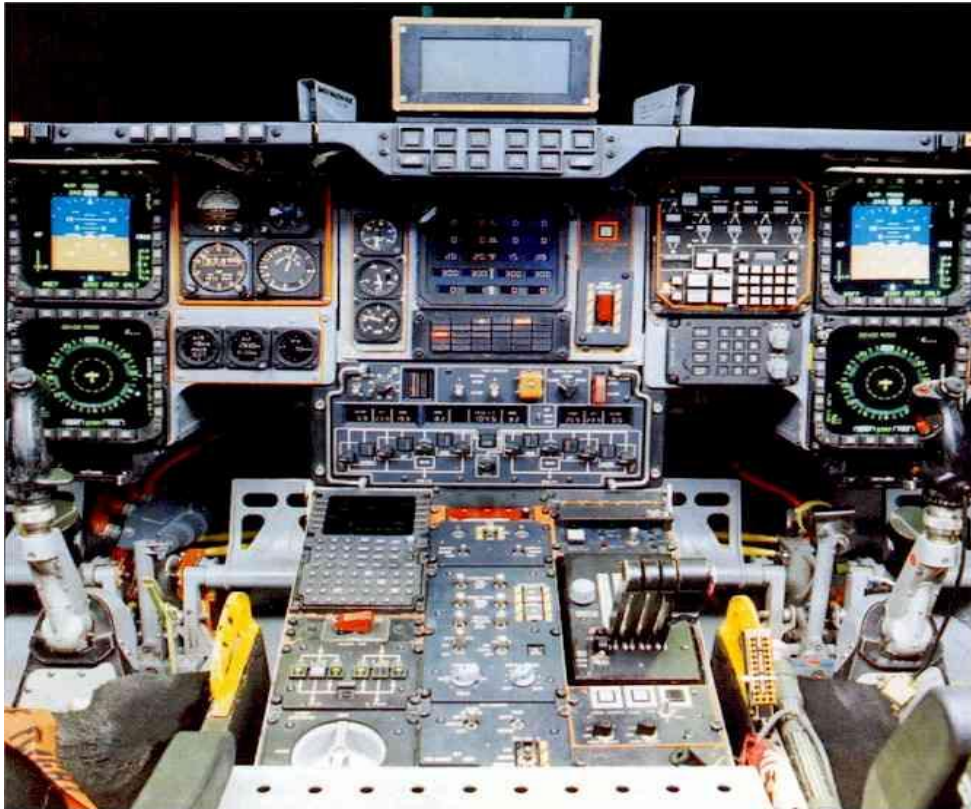
Κύριος Ηλεκτρονικός εξοπλισμός του B-2 είναι το ραντάρ APQ-118 L.P.I. (Low Probability of Intercept) της (πρώην) Hughes που χαρακτηρίζεται ως ραντάρ: διείσδυσης χαμηλού ύψους-πλοήγησης-έρευνας-εντοπισμού-εγκλωβισμού στόχων. Για την κατασκευή του πολύπλοκου αυτού συστήματος η Hughes ανέπτυξε ειδικό εξοπλισμό με ανοχές μόλις 0,01 mm κι ικανότητα διαμόρφωσης των απαραίτητων τμημάτων με ταχύτητα ως και 100.000 rpm. Η χρησιμοποίηση ειδικών επικαλύψεων κι υλικών μείωσε το βάρος κατά 15% και το κόστος ανά μονάδα περίπου κατά 10%.

Το βάρος των τμημάτων του ραντάρ (LRU) και των κεραιών είναι 953 kgr. Οι LRU είναι συμμετρικά τοποθετημένες στα τοιχώματα της θυρίδας του ριναίου σκέλους προσγείωσης και οι δύο επεξεργαστές δεδομένων είναι κάθετα τοποθετημένοι στο οπίσθιο τοίχωμα της θυρίδας. Το βάρος κάθε υδρόψυκτης κεραίας είναι 260,8 kgr κι αυτή βρίσκεται τοποθετημένη κατά μήκος του χαμηλότερου τμήματος του χείλους προσβολής της κάθε ημιπτέρυγας. Ένας ειδικός αισθητήρας (Motion Sensor Subsystem) ελέγχει την κίνηση της κεραίας αντισταθμίζοντας τους ελιγμούς του B-2. Κατά την πτήση σε χαμηλό ύψος το έργο του αισθητήρα γίνεται πιο δύσκολο, αφού το B-2 έχει λιγότερο εύκαμπτη κατασκευή σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά αεροσκάφη. Πολύ σημαντικό είναι επίσης και τ' άστρο-αδρανειακό σύστημα ναυτιλίας που είναι εξαιρετικά ακριβές κι αποτελείται από έξι τμήματα συνολικού βάρους 149 kgr.

Η ανάπτυξη των πολύπλοκων συστημάτων του B-2 δεν έγινε φυσικά χωρίς προβλήματα, απ' τα οποία όμως πολύ λίγα έφθασαν στο φως της δημοσιότητας. Στις 16/7/1995, σε μια μελέτη του Γενικού λογιστικού Γραφείου (GAO) έγινε γνωστό ότι το ραντάρ του B-2 δεν μπορούσε να διακρίνει ένα σύννεφο από ένα βουνό κι ότι η βροχή επηρέαζε την επικάλυψη του αεροσκάφους κι αύξανε το ίχνος του στο ραντάρ. Η μελέτη κατέληγε στο συμπέρασμα ότι απαιτούνταν ακόμη έξι χρόνια δοκιμών μέσα στα οποία τελικά ξεπεράστηκαν οι τεχνικές δυσκολίες και το αεροσκάφος κατέστη πλήρως επιχειρησιακό.



Εικόνες 6.7 : Κοντινές απόψεις του ρύγχους όπου μπορεί να διακριθεί το χείλος προσβολής, το ριναίο σκέλος με τις θυρίδες του ανοιχτές και δίπλα του την αριστερή κεραία του ραντάρ.



Εικόνα 6.8 : Το εσωτερικό του πιλοτηρίου. Το B-2 έχει διμελές πλήρωμα.

6.1.4 Σύστημα Πρόωσης

Το B-2 διαθέτει τέσσερις κινητήρες General Electric F118-GE-100 που αποδίδουν 8,618 kgf ώσης ο καθένας χωρίς μετάκαυση. Ο F118-GE-100 βασίζεται στον F101-GE-102 που αναπτύχθηκε για το B-1B και έχει υποστεί μια σειρά τροποποιήσεων και βελτιώσεων. Η ανάπτυξη του άρχισε το 1983. Διαθέτει την ίδια διάμετρο ανεμιστήρα με τον F110 των F-16C και F-14D, αλλά με υψηλότερο λόγω πίεσης κι αυξημένη ροή αέρα. Αποτελείται από τριβάθμιο ανεμιστήρα, εννεαβάθμιο συμπιεστή υψηλής πίεσης, μονοβάθμιο στρόβιλο υψηλής πίεσης και διβάθμιο στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Η μέγιστη διάμετρος του είναι 114 cm και το μήκος του 254 cm. Η μέγιστη ταχύτητα του B-2 είναι 0,8 Mach στο επίπεδο της θάλασσας.

Οι τέσσερις κινητήρες διαθέτουν μια σειρά συστημάτων που μειώνουν δραματικά το θερμικό ίχνος και το ίχνος στα ραντάρ. Παράλληλα είναι κι εξαιρετικά αθόρυβοι. Οι αεροεισαγωγές είναι σχήματος “S” και οι κινητήρες βρίσκονται σχεδόν 1 m κάτω από το επίπεδο τους, ώστε η προσπίπτουσα

ακτινοβολία του ραντάρ να μην ανακλάται στα πτερύγια του ανεμιστήρα, κύρια πηγή της δημιουργίας του ίχνους. Κάτω απ' τις αεροεισαγωγές υπάρχουν μικρά ανοίγματα – θυρίδες για την εισαγωγή πρόσθετου αέρα με σκοπό την ταχύτερη ψύξη των κινητήρων. Ένα ζευγάρι ενεργοποιούμενων θυρίδων, στο άνω τμήμα των θυλακίων των κινητήρων, χρησιμοποιείται για την εισαγωγή αέρα στις φάσεις τροχοδρόμησης και σε συνθήκες κατά τις οποίες οι κινητήρες βρίσκονται στη θέση "idle". Ο χρόνος ενεργοποίησης των θυρίδων είναι 3 sec κι η λειτουργία τους είναι συνάρτηση του αριθμού Mach.

Οι εξαγωγές των καυσαερίων των κινητήρων καταλήγουν σε παραλληλόγραμμα ακροφύσια που ψύχονται ταχύτερα και διαθέτουν μεγαλύτερη επιφάνεια για τη διάχυση της θερμότητας σε σχέση με τα σφαιρικά. Τα καυσαέρια αναμιγνύονται με αέρα για την μείωση της θερμοκρασίας τους και κατευθύνονται προς τα πάνω. Για την αποφυγή σχηματισμού υδρατμών σε μεγάλο ύψος αναμιγνύονται με χλωροφθοριοθειϊκό οξύ.

Ειδικές θερμικές ασπίδες από άνθρακα στ' ακροφύσια προστατεύουν την υπόλοιπη κατασκευή απ' τις υψηλές θερμοκρασίες. Αξίζει ν' αναφερθεί ότι τα ειδικά οργανικά υλικά (π.χ. πολυαμίδια) που έχουν τοποθετηθεί στα διαμερίσματα των κινητήρων αντέχουν σε θερμοκρασίες ως και 232 °C, πολύ υψηλότερες απ' τα όρια αντοχής των συνθετικών υλικών που βασίζονται σε εποξικές ρητίνες. Μια τριγωνική θυρίδα εξωτερικά του αριστερού θύλακα των κινητήρων είναι η εξαγωγή καυσαερίων της μονάδας βοηθητικής ισχύος της Garrett. Για την τροφοδοσία των κινητήρων το B-2 μπορεί να μεταφέρει 74.844 kgρ καυσίμου JP-8 και μ' έναν μόνο ανεφοδιασμό η εμβέλεια του αυξάνεται από τα 11.118 km στα 18.532 km. Πίσω απ' το πιλοτήριο βρίσκεται η υποδοχή του σωλήνα εναέριου ανεφοδιασμού.

Για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας των χαρακτηριστικών stealth του B-2 σε επιχειρησιακές συνθήκες, η U.S.A.F. διερεύνησε πάνω από πενήντα τεχνικές αεράμυνας που θα μπορούσαν να εντοπίσουν τα B-2 και σχημάτισε την ομάδα "Red Team", της οποίας κύριος σκοπός ήταν η ανεύρεση των κατάλληλων τεχνικών για την ανίχνευση των F-117 A και B-2. Δοκιμάστηκαν διάφορες τεχνικές, όπως ακουστικοί αισθητήρες κι ανιχνευτές κοσμικής ακτινοβολίας. Τ' αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι οι ακουστικοί αισθητήρες έχουν περιορισμένη εμβέλεια χωρίς να εξάγονται χρήσιμα

συμπεράσματα ως προς την κατεύθυνση του αεροσκάφους. Για τον εντοπισμό του εισβολέα υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 30.000 km σε μια χώρα με το μέγεθος της Ρωσίας κι ότι ένα τέτοιο σύστημα θα καλύπτει μόνο τα πρώτα 241 km.

Οι ηλεκτροστατικές ιδιότητες ενός αεροσκάφους stealth επηρεάζουν τον «βομβαρδισμό» της γης με κοσμικές ακτίνες, αλλά η ανάπτυξη ανάλογου αισθητήρα θα είχε μόνο περιορισμένη αποτελεσματικότητα. Τα συστήματα υπέρυθρης ακτινοβολίας δεν αποτελούν ικανοποιητική απάντηση στο πρόβλημα εντοπισμού του B-2, αφού επηρεάζονται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και καθίσταται αδύνατη η μέτρηση της απόστασης ή της ταχύτητας του στόχου.

Το ραντάρ φαίνεται ότι είναι η μόνη λύση στον εντοπισμό του B-2 ή άλλων αεροσκαφών stealth. Η U.S.A.F. χρησιμοποίησε διστατικά ραντάρ, στα οποία ο πομπός κι ο δέκτης βρίσκονταν σε διαφορετικές τοποθεσίες για τον εντοπισμό της διαχεόμενης ανακλώμενης ακτινοβολίας. Μία άλλη τεχνική είναι η χρησιμοποίηση ραντάρ U.W.R. (Ultra Wideband Radio), απ' το οποίο εκπέμπεται ένας παλμός διάρκειας νάνο-δευτερολέπτων σ' ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Δοκιμές ενός συστήματος U.W.R. συνδεδεμένου με διστατικό ραντάρ έδειξαν ότι μπορεί ν' αναπαρασταθεί το τρισδιάστατο ίχνος ενός B-1B, όμως κάτω από άριστες και θεωρητικές συνθήκες.

Γενικότερα η αντιμετώπιση του B-2 μ' έναν δακτύλιο προηγμένων ραντάρ που θα περιβάλλε τα σύνορα της Ρωσίας, θ' απαιτούσε τη διάθεση τεράστιων ποσών με αμφίβολα αποτελέσματα. Ο υπολογισμός της διατομής στο ραντάρ (R.C.S.) βασίζεται σε τρεις συντελεστές: στην γεωμετρική διατομή (G.C.S. – Geometric Gross Section), στην ενέργεια που αντανακλάται από το αεροσκάφος και στην κατεύθυνση της ανακλώμενης ενέργειας. Ορισμένα αεροσκάφη έχουν υψηλότερη R.C.S. από G.C.S., όπως το F-15, που έχει G.C.S. 25 m² και διατομή στο ραντάρ 405 m². Το ίχνος στο ραντάρ εξαρτάται απ' την γωνία πρόσπτωσης και την συχνότητα του ραντάρ. Αξίζει να αναφερθεί ότι η R.C.S. του B-52 είναι 99 m², του B-1B 1,02 m², του F-22A 0,0065 m², του F-117A 0,0030 m² και του B-2 μόλις 0,0,14 m².

6.1.5 Οπλισμός

Το B-2 μεταφέρει εσωτερικά όλο του τον οπλισμό διατηρώντας αναλλοίωτα τα χαρακτηριστικά stealth. Το αεροσκάφος μπορεί να μεταφέρει δύο προηγμένους περιστροφικούς εκτοξευτές ARL της Boeing για την μεταφορά 16 πυρηνικών όπλων. Κάθε εκτοξευτής έχει μήκος 6,7 m, πλάτος 0,9 m και βάρος (κενό) 733 kg, που φτάνει τα 1.032 kg με την εγκατάσταση όλου του προβλεπόμενου εξοπλισμού. Το κύριο σώμα του εκτοξευτή είναι κατασκευασμένο από εποξικό γραφίτη και διαθέτει όλες τις απαραίτητες συνδέσεις μεταξύ του αεροσκάφους και των οπλικών συστημάτων. Οι εκτοξευτές έχουν πιστοποιηθεί για την μεταφορά συνολικά 54 συνδυασμών βομβών και πυραύλων. Το αεροσκάφος μπορεί να μεταφέρει πυρηνικά και συμβατικά όπλα συνολικού βάρους 18.144 kg.



Εικόνα 6.9 : Το B-2 μπορεί να μεταφέρει συνολικά 48 συμβατικές βόμβες, καθοδηγούμενες με GPS των 2.000 lbs η καθεμία, στις δύο εσωτερικές αποθήκες οπλισμού που διαθέτει.

Με την χρησιμοποίηση του συστήματος GATS το B-2 μπορεί να πλήξει τους στόχους του από ύψος 12.190 m, με ακρίβεια μεγαλύτερη των 6 m. Χωρίς το GATS το μέσο σφάλμα των βομβών από το ίδιο ύψος είναι 107 m.

Το σύστημα GATS χρησιμοποιεί το ραντάρ συνθετικού διαφράγματος ώστε να διαπιστωθεί η ακριβής θέση του B-2 σε σχέση με το στόχο.

Υπολογίζεται ότι τρία B-2 μπορούν να σταματήσουν την προέλαση μιας τεθωρακισμένης μεραρχίας, χρησιμοποιώντας ειδικά πυρομαχικά εναντίον οχημάτων, καταστρέφοντας τα 350 απ' τα 750 οχήματα διαφόρων τύπων της (το σενάριο προϋποθέτει ότι η μεραρχία αποτελείται από τρία συντάγματα αρμάτων μάχης και τεθωρακισμένων οχημάτων κι ένα σύνταγμα πυροβολικού, που προελαύνουν με ταχύτητα περίπου 40 km/h σε τρεις στήλες μήκους 14,5 km η καθεμιά, ενώ η απόσταση μεταξύ τους είναι περίπου 10 km).

Η ακτίνα δράσης του B-2 με οκτώ πυραύλους SRAM κι οκτώ βόμβες B-83, συνολικού βάρους 16.919 kg, είναι 11.667 km όταν η αποστολή πραγματοποιηθεί σε μεγάλο ύψος, 9.815 km για αποστολή "hi-lo-hi" (απ' τα οποία τα 1.850 km σε χαμηλό ύψος. Τ' αντίστοιχα μεγέθη για το B-1B είναι 10.186 km, 8.667 km και 7.148 km.

Σε μελέτης της U.S.A.F. για πιθανή κρίση με τη Λιβύη, υπολογίστηκε ότι για τη ρίψη 120 tn βομβών σε διάφορους στόχους απαιτούνται δύο ομάδες μάχης αεροπλανοφόρων ή δέκα B-52H με 32 αεροσκάφη tanker και 14 αεροσκάφη υποστήριξης (με συνολικό πλήρωμα 202 ατόμων) ή έξι B-2 μ' έξι αεροσκάφη ανεφοδιασμού και πλήρωμα μόνο 36 ατόμων.

6.1.6 Επιχειρησιακή Ανάπτυξη

Οι αρχικές απαιτήσεις της U.S.A.F. για 132 B-2 μειώθηκαν τελικά σε 21 αεροσκάφη που εντάσσονται στην 509 η Πτέρυγα Βομβαρδιστικού στην αεροπορική βάση Whiteman στο Μισούρι. Το πρώτο B-2 παραγωγής (88-0329), "Spirit of Missouri", παραδόθηκε στις 17/12/1993 στη U.S.A.F., 90 χρόνια ακριβώς μετά την πρώτη πτήση των αδελφών Ράιτ. Σ' όλα τ' αεροσκάφη έχουν δοθεί ονόματα πολιτειών, εκτός από το B-2A (93-1086) "Spirit of Kitty Hawk", που παραδόθηκε στις 30/8/1996. Οι παραδόσεις των B-2 είχαν ολοκληρωθεί το 2000.

Οι πρώτες πολεμικές αποστολές για το B-2 έγιναν στον πόλεμο της Γιουγκοσλαβίας όπου απογειωνόντουσαν απ' την βάση τους στην Αμερική,

πετούσαν απευθείας ως την Γιουγκοσλαβία, χτυπούσαν τους στόχους τους εντελώς αθέατα κι επέστρεφαν πίσω στην Αμερική μένοντας συνεχώς στον αέρα μ' εναέριους ανεφοδιασμούς από αεροσκάφη-τάνκερ. Η διάρκεια των αποστολών αυτών έφτανε μέχρι και τις 32 ώρες. Αργότερα το B-2 συμμετείχε έχοντας πρωταγωνιστικό ρόλο και στις επιχειρήσεις του Αφγανιστάν και τον πόλεμο του Ιράκ, όπου κάποιες αποστολές έφτασαν σε διάρκεια τις 44 ώρες συνεχούς παραμονής στον αέρα.



Εικόνα 6.10 : Ένα B-2 ανεφοδιάζεται με καύσιμο στον αέρα από ένα αεροσκάφος-τάνκερ KC-10. Το B-2 επιχειρώντας από μία μόνο βάση στην Αμερική έχει την ικανότητα να πλήξει έναν στόχο σε οποιοδήποτε σημείο της Γης, μένοντας συνεχώς εν πτήση μ' εναέριους ανεφοδιασμούς καυσίμου.

Πάρα τις αρχικές επικρίσεις για την απόδοση του λόγω των προβλημάτων που αντιμετώπισε στην εξέλιξη του, το B-2 είναι σήμερα το ικανότερο βομβαρδιστικό που υπάρχει κι είναι σίγουρο ότι λόγω της εξαιρετικά προηγμένης τεχνολογίας stealth που ενσωματώνει και των εξαιρετικών επιδόσεων του, θα δεσπόζει στα πεδία μαχών του 21^{ου} αιώνα. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν εκπονηθεί προβλέπεται να είναι επιχειρησιακό μέχρι το 2045.

6.2 LOCKHEED MARTIN F/A-22 “RAPTOR”

Το F/A-22 Raptor προβλέπεται ν’ αποτελέσει τον ακρογωνιαίο λίθο για την κυριαρχία της U.S.A.F. στον αέρα κατά τον 21^ο αιώνα, διαθέτοντας έναν συνδυασμό εξαιρετικά προηγμένης τεχνολογίας stealth κι ανώτερων ηλεκτρονικών συστημάτων. Τα πρώτα τέτοια αεροσκάφη είχαν τεθεί σ’ αρχική υπηρεσία τον Ιανουάριο του 2006, ένα τέταρτο του αιώνα μετά την έναρξη του προγράμματος ανάπτυξης. Είναι το πιο πολύπλοκο και πιο προηγμένο μαχητικό παγκοσμίως. Από αρκετούς θεωρείται ως απομεινάρι του “Ψυχρού Πολέμου”, ενώ η U.S.A.F. το χαρακτηρίζει ως το καλύτερο μαχητικό που έχει κατασκευαστεί ποτέ...

6.2.1 Ιστορικό

Το F/A-22 Raptor είναι το αποτέλεσμα του πολυετούς διαγωνισμού A.T.F. (Advanced Tactical Fighter) για την κάλυψη των αναγκών της U.S.A.F. για ένα αεροσκάφος διάδοχο του F-15 που θα ήταν ανώτερο απ’ τα σοβιετικά μαχητικά MiG-29 και Su-27, τα οποία εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του ’70 και τους νέους αντιαεροπορικούς πυραύλους που βρισκόνταν τότε υπό ανάπτυξη. Στην τελική φάση τον Απρίλιο του ’91, υπερίσχυσε η Lockheed Martin με το YF-22, έναντι του YF-23 “Black Widow” της Northrop, ένα πολύ καλό αλλά άτυχο αεροσκάφος. Ήταν η αρχή μιας δύσκολης πορείας λόγω των πολυσυνθέτων προβλημάτων ολοκλήρωσης.

Την περίοδο ανάθεσης του προγράμματος η αρχική ένταξη σε υπηρεσία υπολογίζονταν για το 2001. Εξίσου σημαντική ήταν και η “μάχη των κινητήρων” ανάμεσα στον F120 της General Electric και τον F119 της Pratt & Whitney. Η πρόταση της τελευταίας υπήρχε τεχνολογικά πιο ώριμη από τον F120, ο οποίος είχε όμως καλύτερες επιδόσεις. Ο F119 βασίζεται στην τεράστια εμπειρία που’ χει αποκομίσει η P&W απ’ το πρόγραμμα του F100 κι ενσωματώνει προηγμένη τεχνολογία, η οποία του επιτρέπει ν’ αποδίδει περισσότερη ώση λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας λειτουργίας, αλλά και της αυξημένης αξιοπιστίας εξαιτίας των λιγότερων εξαρτημάτων.

Κατά τη φάση επιλογής η Lockheed Martin κατασκεύασε δύο αεροσκάφη τεχνολογικής επίδειξης. Μετά την ανάθεση του συμβολαίου

ξεκίνησε η φάση E.M.D. (Engineering and Manufacturing Development) που περιελάμβανε αλλαγές στην πτέρυγα και τις κάθετες ουραίες επιφάνειες, καθώς και την μετακίνηση των αερορροών προς τα πίσω για βελτίωση της ορατότητας. Στις 9/4/1997, το F-22 απέκτησε επίσημα την ονομασία “Raptor”, αν και τα πρώτα χρόνια της ανάπτυξης του αναφέρονταν ως Lightning II .



Εικόνα 6.11 : Το YF-22 της Lockheed ήταν ο τελικός νικητής του διαγωνισμού ATF.



Εικόνα 6.12 : Το Northrop YF-23 ήταν ο μεγάλος χαμένος του προγράμματος ATF.

6.2.2 Δομή – Συστήματα

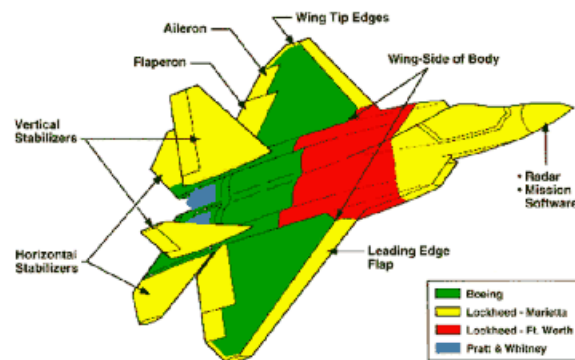
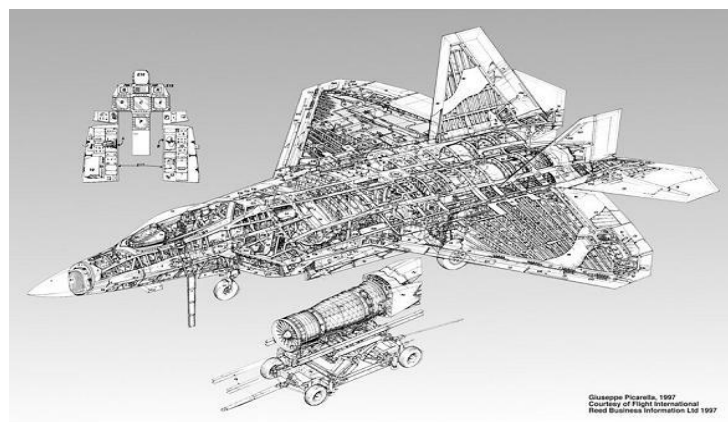
Η άτρακτος του Raptor αποτελείται από τρία τμήματα. Το εμπρόσθιο τμήμα μήκους 5,18 m και βάρους 771 kg αποτελείται από συνθετικά υλικά. Το κεντρικό τμήμα της ατράκτου είναι η καρδιά της δομής του αεροσκάφους. Έχει μήκος 5,18 m, πλάτος 4,57 m και ζυγίζει 3.855 kg. Αποτελείται από αλουμίνιο (35%), τιτάνιο και συνθετικά υλικά. Το οπίσθιο τμήμα της ατράκτου ζυγίζει 2.268 kg και αποτελείται από τιτάνιο (67%), αλουμίνιο (22%) και συνθετικά υλικά (11%). Το αυξημένο ποσοστό τιτανίου εκεί επιβάλλεται λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και των καταπονήσεων. Συνολικά το αεροσκάφος αποτελείται από τιτάνιο (39%), συνθετικά υλικά (25%), αλουμίνιο (16%), χάλυβα (6%) και διάφορα άλλα υλικά 14%.

Ο πιλότος διαθέτει εκτινασσόμενο κάθισμα ACES II κι ενσωματωμένο σύστημα προστασίας NBC. Η ορατότητα του είναι ουσιαστικά απεριόριστη. Διαθέτει την μεγαλύτερη μέχρι σήμερα ενιαία καλύπτρα, με μήκος 3,55 m και πλάτος 1,14 m. Με τα χειριστήρια τύπου HOTAS (Hands On Throttle And Stick) μπορεί να επιτελέσει περισσότερες από 60 λειτουργίες. Το αεροσκάφος είναι μονοθέσιο. Τον Ιούλιο του 1996 η U.S.A.F. αποφάσισε ν' ακυρώσει την ανάπτυξη του διθέσιου εκπαιδευτικού F-22B σε μια προσπάθεια μείωσης του κόστους.

Η καρδιά των ηλεκτρονικών συστημάτων του Raptor αποτελείται από δύο υπολογιστές C.I.P. (Common Integrated Processor) κι υπάρχει δυνατότητα μελλοντικής εγκατάστασης και τρίτου τέτοιου Η/Υ. Η διασύνδεση των C.I.P. πραγματοποιείται μέσω διαύλου δεδομένων με οπτικές ίνες που προσφέρει έως και 50 φορές ταχύτερη μετάδοση απ' τους υπάρχοντες διαύλους MIL-STD-1553B. Οι δυνατότητες επεξεργασίας είναι τεράστιες: 700 M.I.P.S. (Million Instruction Per Second) και 20 B.O.P.S. (Billion Operations Per Second). Λόγω της αλματώδους βελτίωσης της τεχνολογίας των επεξεργαστών το Raptor θα αξιοποιεί εμπορική τεχνολογία (COTS), ώστε να παραμένει στην αιχμή της τεχνολογίας χωρίς δαπανηρές μετατροπές στον πυρήνα των ηλεκτρονικών.

Οι C.I.P. ελέγχουν την λειτουργία των αισθητήρων, ανάμεσα στους οποίους ξεχωρίζει το ραντάρ AN/APG-77 που αναπτύσσεται απ' τις Northrop Grumman & Raytheon. Το ραντάρ διαθέτει κεραία διάταξης φάσης και

αποτελείται από 1.500-2.000 στοιχειά-πομποδέκτες αρσενικούχου γάλλιου. Ένα απ' τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του είναι η μικρή πιθανότητα εντοπισμού (L.P.I.-Low Probability of Intercept) από τους αισθητήρες αντιπάλων αεροσκαφών. Το AN/APG-77 χρησιμοποιεί μια σειρά τεχνικών L.P.I., όπως είναι η διαχείριση της ισχύος της δέσμης που μειώνεται ανάλογα με την απόσταση απ' το στόχο χρησιμοποιώντας τον ελάχιστο δυνατό αριθμό παλμών για να διατηρήσει τον εγκλωβισμό του, η δυνατότητα αλλαγής των χαρακτηριστικών της δέσμης PRF (Pulse Repetition Frequency), πλάτος παλμών κ.ά..



Εικόνες 6.13 : Σχηματικές απεικονίσεις της δομής και των συστημάτων του αεροσκάφους.



Εικόνα 6.14 : Στις φωτογραφίες αυτές διακρίνεται ένα πλήθος λεπτομερειών, όπως η μεγάλη κι ενιαία καλύπτρα, το πράσινο κρύσταλλο του HUD, η εισαγωγή αέρα σταθερής γεωμετρίας, το σύστημα προσγειώσεως και ο διηλεκτρικός θόλος του ραντάρ στο ρύγχος.

Το ραντάρ διαθέτει μια σειρά χαρακτηριστικών N.C.T.R. (Non Cooperative Target Recognitions) για την αναγνώριση στόχων απ' τις χαρακτηριστικές επιστροφές των πτερυγίων του στροβίλου (τεχνική που εφαρμόστηκε απ' το 1991 κατά την "καταιγίδα της ερήμου") και την τεχνική "High Range Resolution", κατά την οποία η απόσταση αναγνώρισης του στόχου συγκρίνεται με στοιχεία μιας βάσης δεδομένων. Επίσης η κεραία έχει ελαφρά κλίση προς τα πάνω ώστε να μειώνει τις πιθανότητες εντοπισμού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παρεμβολές σε μια συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων. Ο θόλος του ραντάρ αποτελεί ένα απ' τα σημαντικότερα τμήματα

διότι είναι κατάλληλα διαμορφωμένος έτσι ώστε αντανακλά όλα τα μήκη κύματος εκτός απ' αυτά που χρησιμοποιεί το σύστημα. Ακόμα κι η απλή επαφή μ' αυτόν απαιτεί ειδική αδεία.

Αρωγός του ραντάρ είναι το σύστημα AN/ALR-94 που προσφέρει δυνατότητες ανάλυσης κι εντοπισμού σημάτων άμεσα συγκρινόμενες με σύστημα ESM, τα οποία είναι τοποθετημένα σ' εξειδικευμένα αεροσκάφη ELINT (Electronic Intelligence). Το σύστημα μπορεί να εντοπίσει αεροσκάφη που χρησιμοποιούν το ραντάρ τους από απόσταση 465 km και να τροφοδοτήσει το οικείο ραντάρ με τ' απαιτούμενα στοιχεία όταν ο στόχος φτάνει σ' απόσταση 200 km. Το AN/ALR-94 μπορεί να επεξεργαστεί δεδομένα από συστήματα AWACS.

Το Raptor διαθέτει δύο συστήματα ζεύξης δεδομένων, το ένα για τα συστήματα επικοινωνίας και το I.F.D.L. (Intra Flight Data Link) που επιτρέπει τη διασύνδεση δύο ή περισσότερων Raptor. Η I.F.D.L. επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων από ένα αεροσκάφος που βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση απ' το στόχο και χρησιμοποιεί το ραντάρ του για ιχνηλατήσει σ' ένα αεροσκάφος το οποίο βρίσκεται εγγυτέρα, αλλά δεν εκπέμπει για να πραγματοποιήσει μια «αθόρυβη» επίθεση.

Τα υποσυστήματα C.N.I. (Communication Navigation and Identification) χρησιμοποιούν κοινές κεραίες για την μείωση των ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών κι επιτελούν τις λειτουργίες επικοινωνιών με συστήματα HF/VHF/UHF, ναυτιλίας με δέκτη GPS κι αδρανειακή εξέδρα λέιζερ και I.F.F. (Identification Friend or Foe). Ο πιλότος επιλέγει το επιθυμητό επίπεδο εκπομπών για κάθε αισθητήρα κι οι υπολογιστές καθορίζουν τις παραμέτρους λειτουργίας.

Το πιλοτήριο αποτελεί πρότυπο εργονομίας με H.U.D. (Head Up Display) και τέσσερις οθόνες πολλαπλών λειτουργιών. Δεν υπάρχουν καθόλου αναλογικά όργανα. Όλες οι πληροφορίες ενοποιούνται και παρουσιάζονται στην οθόνη τακτικής κατάστασης. Το πιλοτήριο είναι σκοτεινό κι οι ενδείξεις στις οθόνες ενεργοποιούνται μόνον όταν παραστεί ανάγκη, π.χ. όταν σημειωθεί εντοπισμός απειλής. Τα εχθρικά αεροσκάφη παρουσιάζονται ως κόκκινα τρίγωνα, τα φιλικά ως πράσινοι κύκλοι, τα μη αναγνωρίσιμα ως κίτρινα τετράγωνα κι οι παραστάτες στον σχηματισμό ως μπλε F/A-22. Οι θέσεις εκτοξευτών αντιαεροπορικών πυραύλων παρουσιάζονται ως

πεντάγωνα με χαρακτηριστικές ενδείξεις για τον τύπο των πυραύλων και την ακτίνα δράσης. Μετακινώντας έναν κέρσορα ο πιλότος μπορεί να' χει στη διάθεση του περισσότερες πληροφορίες για κάθε στόχο.

Το Raptor δεν διαθέτει ηλεκτροπτικό αισθητήρα, σ' αντίθεση με τα ευρωπαϊκά Eurofighter και Rafale, καθώς βασίζεται και σε μια σειρά παθητικών τεχνικών για τον εντοπισμό και την καταστροφή ενός στόχου. Πάρα τα προηγμένα χαρακτηριστικά του είναι εξοπλισμένο με τ' ολοκληρωμένο σύστημα αυτοπροστασίας INEWS (Integrated EW System) που είναι αναπρογραμματιζόμενο κατά την πτήση, εντοπίζει τις εχθρικές εκπομπές ραντάρ και λέιζερ, ενεργοποιεί τα κατάλληλα αντίμετρα (chaff, flares και ECM) και προτείνει στον πιλότο τους απαραίτητους ελιγμούς.

Το INEWS διαθέτει μέσο χρόνο μεταξύ εμφάνισης βλαβών (MTBF) 400 ώρες. Στον εξοπλισμό αυτοπροστασίας περιλαμβάνονται ακόμα σύστημα προειδοποίησης M.A.W. (Missile Approach Warner) AAR-56 μ' έξι επίπεδες κεραίες για ολόπλευρη κάλυψη και διανομείς αντίμετρων ALE-52 στο οπίσθιο κάτω τμήμα της ατράκτου.

Σύμφωνα με την Lockheed Martin το F/A-22 θα διαθέτει σημαντικά χαρακτηριστικά stealth χωρίς να είναι απαραίτητη η συντήρηση του σ' εξειδικευμένους χώρους μ' ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, όπως γίνεται στα βομβαρδιστικά B-2. Μία σημαντική παράμετρος κατά τη σχεδίαση του αεροσκάφους ήταν η ελαχιστοποίηση του αριθμού των υλικών χαμηλής παρατηρητικότητας, σ' αντίθεση με τα προγράμματα των F-117 και B-2 όπου είχε δοθεί σημασία στην επιλογή του βέλτιστου υλικού ανά συγκεκριμένη περιοχή με τίμημα την αύξηση τους.

Το Raptor διαθέτει μία αγωγίμη μεταλλική επικάλυψη σ' ολόκληρη την επιφάνεια του που εμποδίζει την ακτινοβολία του ραντάρ να διαπεράσει τη συνθετική δομή. Επιπλέον διαθέτει υλικά απορρόφησης ακτινοβολίας (R.A.M.) σ' επιφάνειες όπως είναι οι διάφορες θυρίδες ή επιφάνειες ελέγχου.

Σύμφωνα μ' ανεπιβεβαίωτες πληροφορίες η U.S.A.F. ανέπτυξε διάφορους εξωτικούς τρόπους για τη μείωση της θερμότητας στο χείλος προσβολής της πτέρυγας. Ανάμεσα τους έχει αναφερθεί η χρήση του καυσίμου JP-8 με κατάλληλα πρόσθετα. Όπως αναφέρουν αξιωματικοί της U.S.A.F., το αεροσκάφος θα προσφέρει χαμηλό θερμικό ίχνος σε συνθήκες παρατεταμένης υπερηχητικής πτήσης.



Εικόνα 6.15 : Το πιλοτήριο του FA-22 αποτελεί πρότυπο διαθέτοντας προηγμένα συστήματα.



Εικόνα 6.16 : Ένα FA-22 πραγματοποιεί δοκιμές του συστήματος αυτοπροστασίας αφήνοντας μια ριπή θερμοβολίδων. Οι θερμοβολίδες αναπτύσσουν μεγάλο θερμικό ίχνος για να παραπλανήσουν τους πυραύλους IR που ερευνούν για εστίες θερμότητας, ώστε να χτυπήσουν αυτές αντί για το αεροσκάφος.

6.2.3 Πρόωση τεχνολογίας αιχμής

Για την πρόωση του F/A-22 χρησιμοποιούνται δυο F119 της Pratt & Whitney που παράγουν, ο καθένας, μέγιστη ξηρή ώση 22.000 lbs (11.567 kgf) και 35.000 lbs (17.237 kgf) ώσης με μετάκαυση. Οι κινητήρες αυτοί είναι κι οι πλέον προηγμένοι αεριωθητές γενικά μέχρι τώρα. Έτσι σε συνδυασμό με την αεροδυναμική σχεδίαση του αεροσκάφους επιτρέπουν την πτήση σε υψηλές ταχύτητες για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση μετάκαυσης. Με τους πανίσχυρους αυτούς κινητήρες το Raptor μπορεί να πραγματοποιήσει υπερηχητική πτήση χωρίς την χρήση μετάκαυσης (ικανότητα “super cruise”).

Η αξιοπιστία του κινητήρα δοκιμάστηκε σε περισσότερες από 8.000 ώρες λειτουργίας, τόσο σε επίγειες εγκαταστάσεις με απότομη μετακίνηση των μοχλών ισχύος από στοιχεία μέγιστης ώσης σε χαμηλά στοιχεία και το αντίστροφο, όσο και σε σχεδόν μηδενικές ταχύτητες χωρίς να παρατηρηθεί το παραμικρό πρόβλημα.



Εικόνα 6.17 : Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και η αξιοπιστία του κινητήρα F-119 της Pratt & Whitney. Δοκιμάστηκαν πολύ σκληρά μ' ένα εντατικό πρόγραμμα δοκιμών, φτάνοντας τελικά στις 8.000 ώρες λειτουργίας σ' έδαφος κι αέρα μέχρι την οριστικοποίηση όλων των παραμέτρων.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό στοιχείο του αεροσκάφους είναι τ' ακροφύσια κατευθυνόμενης ώσης των κινητήρων του που μπορούν να κινούνται κατά $\pm 20^\circ$ στον κάθετο άξονα του αεροσκάφους και σε συνάρτηση με ουραία οριζόντια πτερύγια. Η δυνατότητα αυτή, η οποία ενσωματώνεται για πρώτη φορά σ' ένα επιχειρησιακό μαχητικό κι ότι πειραματικά εξασφαλίζει στο αεροσκάφος υπερευελιξία σε συνθήκες κλειστών αερομαχιών (dogfights) και σ' όλο το φάσμα του φακέλου πτήσης, όπου κι αναμένεται η πλήρη επικράτηση του εναντίον οποιουδήποτε υπάρχοντος αεροσκάφους μέχρι σήμερα.

Εκτός από την πρόωση, οι δυο κινητήρες F119 προσδίδουν στο αεροσκάφος έλεγχο στο κατακόρυφο επίπεδο μέσω των ακροφυσίων κατευθυνόμενης ώσης, ενώ τροφοδοτούν και το σύστημα περιβαλλοντικού ελέγχου, στο οποίο παράγεται επίσης το οξυγόνο του χειριστή.



Εικόνα 6.18 : Ένα απ' τα σημαντικότερα στοιχεία του αεροσκάφους είναι τα' ακροφύσια μεταβαλλόμενης διεύθυνσης της ώσης κατά $\pm 20^\circ$, τα οποία προσδίδουν στο F/A-22 υπερευελιξία.

6.2.4 Οπλισμός

Ο μόνιμος οπλισμός του αεροπλάνου αποτελείται από το εξάκανο περιστροφικό πυροβόλο M61A2 Vulcan των 20 mm με αναχορηγία 480 βλημάτων, στη δεξιά πλευρά του. Σε διάστημα ενός δευτερολέπτου το πυροβόλο εξαπολύει 6-10 kg βλημάτων βάρους 101 kg το καθένα. Για αποστολές εναέριας κυριαρχίας μεταφέρει έξι πυραύλους AIM-120C στην κεντρική αποθήκη και δύο AIM-9X στις δύο πλευρικές. Γι' αποστολές στις οποίες δεν κρίνεται απαραίτητη η διαμόρφωση stealth, το F-22 μπορεί να μεταφέρει δύο εξωτερικές δεξαμενές καυσίμου των 2.271 Lt στους δύο εσωτερικούς φορείς και τέσσερις AIM-120 στους δύο εξωτερικούς φορείς.

Το 1994 η U.S.A.F. αποφάσισε να ενσωματώσει τη δυνατότητα μεταφοράς δύο GBU-32 JDAM των 454 kg στην θέση των AIM-120, έτσι τον Οκτώβριο του 2002 το αεροσκάφος μετονομάστηκε από F-22 σε F/A-22 (Fighter/Attack) για να υποδηλωθεί η νέα του αποστολή και να καταστεί πιο ελκυστικό στα μάτια του Κογκρέσου. Εκτός των JDAM το Raptor προβλέπεται να μεταφέρει 8-12 βόμβες μικρής διαμέτρου (S.D.B.-Small Diameter Bomb) των 110 kg σε συνδυασμό με δύο AIM-9X και δύο AIM-120C.

Εκτός απ' τις προσπάθειες ολοκλήρωσης νέων όπλων η Lockheed Martin έχει πραγματοποιήσει μελέτες για μια έκδοση βομβαρδιστικού με την πιθανή ονομασία FB-22, η οποία θα συμπληρώσει τη δύναμη των υπάρχοντων βομβαρδιστικών της U.S.A.F.. Η εταιρία μελέτησε διάφορες διαμορφώσεις ανάμεσα τους και μία πτέρυγα δέλτα κλίσης 65⁰ και εμπειτάσματος 14 m χωρίς κάθετες κι οριζόντιες ουραίες επιφάνειες. Η άτρακτος αυτής της έκδοσης προβλέπεται να επιμηκυνθεί κατά 3-3,5 m επιτρέποντας την μεταφορά δύο JDAM σε σειρά σε κάθε αποθήκη. Λόγω της αύξησης του μήκους της άτρακτου θα διπλασιαστεί σχεδόν η χωρητικότητα των δεξαμενών καυσίμου κι η ακτίνα μάχης εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 2.000 – 2.500 km. Το FB-22 θα διατηρήσει το πιλοτήριο και το εμπρόσθιο τμήμα του F/A-22 . Θα έχει δυνατότητα μεταφοράς 30 SDB και πιθανώς θα χρησιμοποιεί αναβαθμισμένους κινητήρες.

6.2.5 Παραγωγή

Το πρώτο αεροσκάφος της φάσης EMD (91-4001) έφτασε στην βάση Edwards στις 5/2/1998 μέσα σε ένα C-5 Galaxy κι αποσύρθηκε απ' τις πτήσεις στα τέλη του 2000. Το δεύτερο Raptor (91-4002) πέταξε στις 29/6/1998. Λίγους μήνες αργότερα, στις 12 Οκτωβρίου, το 4001 πραγματοποίησε την πρώτη του υπερηχητική πτήση.

Μετά από εννέα Raptor EMD (91-4001/4009) τον Δεκέμβριο του 1999 ανατέθηκε ένα συμβόλαιο για οχτώ Raptor PRTV I (Production Representative Test Vehicles).

Στις 16/8/2001 εγκρίθηκε η αρχική ένταξη σε παραγωγή και λίγο αργότερα ανατέθηκε συμβόλαιο για δέκα αεροσκάφη LRIP Lot I (01-4018/4027). Τον Φεβρουάριο του 2002 η Lockheed Martin επιβεβαίωσε το συμβόλαιο αξίας 2,68 δις δολαρίων για τα 13 αεροσκάφη του Lot 2 (02-4028/4040) που θα διατεθούν στην βάση Tyndal . Το Lot 3 καλύπτει την παρτίδα 20 αεροσκαφών 03-4041/4060. Στις 30/4/2003 η εταιρία ανέλαβε ένα συμπληρωματικό συμβόλαιο αξίας 117,6 εκατομμυρίων δολαρίων για ένα επιπλέον Lot 3 με χρόνο ολοκλήρωσης τον Νοέμβριο του 2005. Συνολικά οι τρεις πρώτες παρτίδες περιλαμβάνουν 44 αεροσκάφη.

Για τα οικονομικά έτη (FY) 2004-2006 προβλεπόταν η χρηματοδότηση 72 αεροσκαφών. Από το 2007 ο αριθμός προβλεπόταν να σταθεροποιηθεί στα 32 αεροσκάφη ετησίως. Για τα 22 Raptor του FY2004 η U.S.A.F. κι η κατασκευάστρια εταιρία συμφώνησαν σε μία τιμή ανά μονάδα ελαφρά μικρότερη των 110 εκατομμυρίων δολαρίων, ενδεικτική των προσπάθειών μείωσης του κόστους και των υπερβάσεων. Η εξέλιξη του προγράμματος δοκιμών ήταν υπό συνεχή παρακολούθηση: απ' την συμπλήρωση των 183 ωρών δοκιμών στις 23/11/1998, στις 1.460 ώρες τον Νοέμβριο του 2001, στις 3.000 ώρες τον Μάρτιο του 2003 και στη συμπλήρωση των 5.000 ωρών από το Raptor No 4003 στις 9/2/2004. Το τελευταίο EMD 4009 παραδόθηκε στις 15/4/2002 και το πρώτο PRTV I 4010 στη βάση Edwards στις 24/10/2002.

Συμφώνα με υπολογισμούς το Raptor μπορεί να επιτύχει την καταστροφή του 80% των εχθρικών δυνάμεων σε 15 ημέρες, έναντι των 57 που χρειάζεται ο υπάρχων συνδυασμός αεροσκαφών. Σε περιοχές με πυκνό δίκτυο αντιαεροπορικών πυραύλων η παρουσία του Raptor μειώνει τον

απαιτούμενο αριθμό αεροσκαφών κατά 41% για τα ίδια αποτελέσματα. Σε σχέση με το F-15C το Raptor θα προσφέρει 100% υψηλότερο ρυθμό χρησιμοποίησης κατά τη μάχη και χρόνο χρήσης μικρότερο κατά 30%, επειδή θα ολοκληρώνει την αποστολή πιο γρήγορα. Επίσης σε σχέση με τις ανάγκες μεταστάθμευσης μιας μοίρας 24 F-15C που απαιτεί 18 C-141B και 398 άτομα προσωπικό υποστήριξης, μία μοίρα Raptor θ' απαιτεί μόλις οκτώ C-141B και 258 άτομα. Το κόστος υποστήριξης μίας μοίρας επί 20 χρόνια θα είναι 0,81 δις δολάρια έναντι 1,5 δις για το F-15C.



Εικόνα 6.19α : Ένα Raptor σε δοκιμή πυρός εκτοξεύει έναν πύραυλο AIM-9 Sidewinder απ' την αριστερή εσωτερική θυρίδα οπλισμού της ατράκτου. Μπορεί να μεταφέρει συνολικά 8 πυραύλους.



Εικόνα 6.19 β : Ο πύραυλος AIM-9 Sidewinder.

6.2.6 Προς υπηρεσία

Το Raptor έχει βρεθεί στη δίνη σημαντικών αντιπαραθέσεων λόγω των σημαντικών τεχνικών προβλημάτων και των υπερβάσεων κόστους του προγράμματος. Μεταξύ άλλων έχουν σημειωθεί προβλήματα με την αποκόλληση υλικού απ' τις ουραίες οριζόντιες επιφάνειες, φαινόμενα πτερυγισμού στις κάθετες επιφάνειες κι αστάθεια στα πολύπλοκα ηλεκτρονικά συστήματα όταν ο πιλότος προσπαθούσε να χρησιμοποιήσει ταυτόχρονα τα συστήματα CNI, ραντάρ κι ηλεκτρονικού πολέμου.

Η πλήρης επίλυση των προβλημάτων προβλεπόταν να έχει επιτευχθεί μέχρι τους πρώτους μήνες του 2006. Πιο σοβαρή θεωρείται η αύξηση στο βάρος (κενό), όπως προκύπτει από πληροφορίες. Το σχεδιαζόμενο βάρος (κενό) είναι 14.365 kgr. Μερικές πηγές μιλούν γι' αύξηση που φτάνει ως το 10% που θα μειώσει τον λόγο ισχύος προς βάρος και θα μικρύνει το χάσμα σε σχέση με τα κορυφαία αεροσκάφη της παρούσας γενιάς. Το μέγιστο βάρος απογείωσης εκτιμάται σε 30.845 kgr. Η U.S.A.F. έχει δημοσιοποιήσει την εσωτερικά μεταφερόμενη ποσότητα καυσίμου που φτάνει τα 8.323 kgr. Μ' έξι AIM-120C, δύο AIM-9X και τα 480 βλήματα των 20 mm το βάρος απογείωσης εκτιμάται σε 24.500 kgr. Η ακτίνα μάχης παραμένει απόρρητη, ενώ η εμβέλεια μεταστάθμευσης είναι 3.333 km. Σύμφωνα με τη USAF η ακτίνα μάχης του Raptor υπερβαίνει τις προδιαγραφές κι η ίδια είναι απόλυτα ικανοποιημένη.

Σύμφωνα όμως με εκτιμήσεις η σχετική επίδοση είναι μικρότερη των 900 km που ήταν ο στόχος του διαγωνισμού ATF. Το αεροσκάφος διαθέτει 300 περίπου θυρίδες προσιτότητας με στόχο την πραγματοποίηση του 95% των εργασιών συντήρησης κατά την διάρκεια ανάπτυξης 30 ημερών χωρίς να απαιτηθεί η αφαίρεση εξαρτήματος. Για λόγους ταχύτητας εφοδιασμού υπάρχει μονό σημείο ανεφοδιασμού σε καύσιμα κι ένα σημείο απ' όπου ελέγχεται η κατάσταση των αναλωσίμων: λιπαντικό, θερμοβολίδες (flares) και αερόφυλλα (chaff).

Οι υπερβάσεις στο κόστος ανάπτυξης αποτελούν ένα «αγκάθι» για το πρόγραμμα κι έχουν οδηγήσει σε διαδοχικές μειώσεις του προβλεπόμενου αριθμού αεροσκαφών. Κατά την έναρξη του προγράμματος ATF η U.S.A.F. προέβλεπε μία παραγγελία για 750 αεροσκάφη μ' ετήσιο ρυθμό παραγωγής 72 ATF απ' το 1992. Όταν το 1991 επιλέχτηκε η πρόταση της Lockheed

Martin, ο αριθμός μειώθηκε σε 648 με ρυθμό παραγωγής 48 αεροσκάφη από το 1996. Το 1994 ο αριθμός μειώθηκε στα 442, το 1997 στα 339 και το 2001 στα 295-297.

Οι μειώσεις του αριθμού έχουν προκαλέσει σημαντικές αυξήσεις στο κόστος ανά μονάδα που την παρούσα περίοδο έχει υπερβεί τα 150 εκατομμύρια δολάρια. Η U.S.A.F. έχει ανακοινώσει στην κατασκευάστρια εταιρία ότι ο συνολικός προϋπολογισμός ανάπτυξης και παραγωγής είναι 36,8 δις δολάρια κι οι υπερβάσεις στο κόστος ανάπτυξης (εκτιμήσεις το ανεβάζουν στα 22 δις δολάρια) θα καλυφτούν από μειώσεις του αριθμού παραγωγής. Οι απαισιόδοξες εκτιμήσεις αναφέρουν έναν τελικό αριθμό 224-235 μονάδων, ενώ οι χειρότερες μιλούν για μόλις 180 αεροσκάφη. Η U.S.A.F. ελπίζει να αποκτήσει 276 αεροσκάφη τη στιγμή που οι απαιτήσεις της για την αντικατάσταση των F-15C φθάνουν τουλάχιστον τα 381. Η U.S.A.F. έχει επιλέξει τέσσερις βάσεις για δοκιμές, την εκπαίδευση και την επιχειρησιακή ανάπτυξη.

Η 1^η Πτέρυγα Μαχητικών θα 'ναι η πρώτη επιχειρησιακή μονάδα του Raptor. Οι παραδόσεις επρόκειτο ν' αρχίσουν στα τέλη του 2004 στην 27^η Μοίρα Μαχητικών στη βάση Langley. Προβλέπεται να κηρυχθεί επιχειρησιακή στις αρχές του 2006, περίπου 25 χρόνια μετά τον προσδιορισμό της ανάγκης αντικατάστασης των F-15 και 15 χρόνια μετά την έναρξη του προγράμματος ανάπτυξης του F-22. Ο εξοπλισμός της 1^{ης} Πτέρυγας θα ολοκληρωθεί το 2007 με την 94^η Μοίρα. Κάθε μοίρα θα διαθέτει 24 αεροσκάφη. Το πρόγραμμα εκπαίδευσης ξεκίνησε στις αρχές του 2004 με πέντε αεροσκάφη. Συνολικά η Air Force Education and Training Command θα παραλάβει 25 Raptor. Το κέντρο Αεροπορικού Πολέμου έχει αναλάβει την εκπαίδευση του πυρήνα των πιλότων και τον καθορισμό των επιχειρησιακών διαδικασιών. Οι αρχικές επιχειρησιακές δοκιμές (Initial Operational Test and Evaluation) ξεκίνησαν στη βάση Edwards στην Καλιφόρνια στις 29/04/2004. Ο διοικητής του κέντρου δοκιμών έχει δηλώσει: "... θα αξιολογήσουμε το Raptor σε ένα αληθοφανές περιβάλλον, προσομοιώνοντας τις απειλές που προβλέπεται να αντιμετωπίσουμε τα επόμενα χρόνια".

Ο συνδυασμός ευελιξίας, ταχύτητας, ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών συστημάτων και stealth καθιστά το F/A-22 το πιο προηγμένο αεροσκάφος παγκοσμίως. Η υπεροχή του σε αποστολές αέρος-αέρος είναι καταγιστική. Σε

μια αποστολή πέντε F-15 αντιμετώπισαν ένα μόνο Raptor. Η μάχη είχε τελειώσει μέσα σε διάστημα τριών λεπτών χωρίς τα θύματα να εντοπίσουν ποτέ τον θύτη.

6.2.7 Δοκιμάζοντας τις ικανότητες του Raptor

Η έρημος Mojave στην Καλιφόρνια, όπου βρίσκεται η αεροπορική βάση Edwards κι η έδρα του κέντρου πτητικών δοκιμών της U.S.A.F., εδώ και καιρό αποτελεί το ορμητήριο της Συνδυασμένης Ομάδας Δοκιμών (Combined Test Force) του F/A-22. Βασική επιδίωξη της ομάδας αυτής, μηχανικών και ιπτάμενων είναι η ολοκλήρωση του προγράμματος πτητικών δοκιμών του μαχητικού με την επίλυση σειράς από προβλήματα που κατά καιρούς έχουν οδηγήσει σε σημαντικές καθυστερήσεις, έτσι ώστε να γίνει μια ομαλή μετάβαση απ' τη φάση ανάπτυξης στο επιχειρησιακό στάδιο.



Εικόνα 6.20 : Καθώς οι αριθμοί των διαθέσιμων F/A-22 αυξάνονται γρήγορα και τα προβλήματα έχουν ξεπεραστεί, η πρώτη μοίρα κηρύχθηκε επιχειρησιακά διαθέσιμη στις αρχές του 2006.



Εικόνα 6.21 : Το F/A-22 Raptor αποτελεί αυτή τη στιγμή το πιο προηγμένο αεροσκάφος παγκοσμίως. Οι εξαιρετικές επιδόσεις του σ' όλους τους τομείς και τ' ανώτερα τεχνολογικά συστήματά του μπορούν να το καταστήσουν νικητή σε κάθε αερομαχία.

Το πρόγραμμα μετάβασης του αεροσκάφους στο επιχειρησιακό στάδιο περιλαμβάνει μεταξύ άλλων διεύρυνση του φακέλου πτήσης, δόκιμη των προηγμένων ηλεκτρονικών, καθώς κι εκπαίδευση του προσωπικού που θ' αξιολογήσει την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα των αεροσκαφών. Με καθαρή διαμόρφωση, ο φάκελος πτήσης του αεροσκάφους φθάνει σήμερα τα 9 G, τις 60⁰ γωνία προσβολής (AoA) και ταχύτητα 2 Mach, η οποία ταχύτητα συνεχώς επεκτείνεται ακόμη πιο πέρα. Η διεύρυνση του φακέλου πτήσης σ' ένα αεροσκάφος υψηλών επιδόσεων δεν είναι εύκολο εγχείρημα, ιδιαίτερα μάλιστα όταν πρόκειται για μαχητικό με προηγμένα χαρακτηριστικά stealth. Για παράδειγμα, η αποδέσμευση του προαναφερόμενου φακέλου πτήσης έπρεπε να γίνει στα ίδια όρια και για τα πλευρικά και κύρια διαμερίσματα οπλισμού, ώστε τα βλήματα που θα φέρει εσωτερικά της ατράκτου να μπορούν να εξαπολύονται σε όλο το φάσμα του φακέλου.

Οι ανοιχτές θύρες μεταβάλλουν την αεροδυναμική του αεροσκάφους κι επηρεάζουν τα πτητικά χαρακτηριστικά του, καθώς επιδρούν ισχυρά φορτία όχι μόνο στην κατασκευή του αεροσκάφους, αλλά και στις θύρες. Τα φορτία αυτά διαφέρουν ανάλογα με την ταχύτητα και τη γωνία προσβολής, καθώς ο

αέρας που εισέρχεται μέσα στις ανοιχτές κοιλότητες δημιουργεί ακουστικούς κραδασμούς. Ειδικά όταν πρόκειται για τα' απώτατα άκρα του φακέλου πτήσης, η προσέγγιση γίνεται με μικρά βήματα.

Τ' αεροσκάφη πτητικών επιστημών είναι εξοπλισμένα για το σκοπό αυτό με μια σειρά από όργανα όπως μετρητές φορτίσεων, επιταχυνσιόμετρα και μικρόφωνα. Σαν αεροσκάφος, το F/A-22 έχει υπερκαλύψει τις κρίσιμες παραμέτρους επιδόσεων (key performance parameters). Η διατομή ραντάρ (R.C.S.) έχει επανέλθει σε 3 αεροσκάφη κι είναι πολύ χαμηλότερη απ' τις αρχικές προδιαγραφές. Επίσης η ικανότητα του super cruise, δηλαδή η διατήρηση υπερηχητικής ταχύτητας χωρίς μετάκαυση είναι 1,68 Mach, 12% πάνω από την βασική απαίτηση. Άλλες παράμετροι, όπως η επιτάχυνση, το οπλικό φορτίο κι η ακτίνα στροφής, υπερκαλύπτουν τις απαιτήσεις, όπως η κατευθυνόμενη ώση που καλύπτει τις προδιαγραφές ευελιξίας.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα από πλευράς ατράκτου που συνέβαλε και στις μεγαλύτερες καθυστερήσεις του προγράμματος ήταν η ρίπιση (buffet) των κεκλιμένων σταθερών πτερυγίων πάνω απ' τα 10.000 ft. Για την αντιμετώπιση του μεταβλήθηκε υλικό κατασκευής της πίσω δοκού από συνθετικό σε τιτάνιο.

6.2.8 Στα δυο άκρα του φακέλου πτήσης

Μέχρι σήμερα, όλοι σχεδόν οι χειριστές που είχαν την ευκαιρία να πετάξουν το F-22, εξοικειώθηκαν αμέσως με τα μοναδικά χαρακτηριστικά του, περιγράφοντας τις εξαιρετικές δυνατότητες χειρισμού του αεροσκάφους σε ταχύτητες και γωνίες προσβολής που θα οδηγούσαν οποιοδήποτε άλλο μαχητικό εκτός ελεγχόμενης πτήσης. Το F/A-22 πέραν όλων των άλλων χαρακτηριστικών αποδεικνύεται ένα εντυπωσιακό αεροσκάφος και στα δύο άκρα του φακέλου πτήσης. Η ικανότητα super cruise είναι ένα απ' τα μοναδικά χαρακτηριστικά του μαχητικού, προσδίδοντας του μία σειρά από τακτικά πλεονεκτήματα, αμυντικά κι επιθετικά, που δεν συναντά κανείς σ' άλλο αεροσκάφος σήμερα.

Για παράδειγμα, η κινηματική ακτίνα του βλήματος AMRAAM επεκτείνεται κατά περίπου 50% όταν ή ταχύτητα του αεροσκάφους κατά την εκτόξευση αυξάνεται από 0,9 σε 1,5 Mach. Έτσι, το βλήμα αυτό μπορεί να

φτάσει σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες. Το Raptor μπορεί να πετά υπερηχητικά σε αυτό το φάσμα ταχυτήτων χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία και για μεγάλο χρονικό διάστημα, τη στιγμή που τα συμβατικά μαχητικά μπορούν μεν να διατηρήσουν για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα υπερηχητική ταχύτητα χωρίς χρήση μετάκαυσης, αλλά χωρίς τη μεταφορά οπλικών φορτίων και εξωτερικών δεξαμενών καυσίμου. Το F/A-22 εκμεταλλεύεται την αεροδυναμική του και τους πανίσχυρους κινητήρες για να πετά υπερηχητικά σε πλήρη πολεμική διαμόρφωση, έτοιμο για επιχειρήσεις.

Το γεγονός ότι το αεροσκάφος φέρει όλο τον οπλισμό εσωτερικά, αποτελεί το μεγάλο πλεονέκτημα, καθώς η συνολική οπισθέλκουσα διατηρείται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Μάλιστα, πάρα το γεγονός ότι η σχεδίαση των εισαγωγών αέρα είναι σταθερή, η όλη διαμόρφωση και οι κινητήρες αποδίδουν εξαιρετικά στις υψηλές υπερηχητικές ταχύτητες. Το αεροσκάφος μπορεί εύκολα να υπερβεί τα σχεδιαστικά όρια ταχυτήτων σε χαμηλά ύψη, με αποτέλεσμα να έχουν εκδοθεί οδηγίες που εφιστούν την προσοχή των χειριστών.

Πραγματική διασκέδαση όμως είναι η πτήση με τ' αεροσκάφη συνοδείας F-16 και F-15 στις δοκιμαστικές πτήσεις του F/A-22. Τ' αεροσκάφη αυτά συνήθως φέρουν μόνο μία κεντρική δεξαμενή καυσίμων, ώστε να είναι αεροδυναμικά καθαρά και να μπορούν να παρακολουθήσουν το Raptor. Παρ' όλα αυτά, τα F-16 με τους ισχυρούς κινητήρες νεότερης γενιάς μένουν αρκετά πίσω στις αρχικές επιταχύνσεις περνώντας στο υπερηχητικό φάσμα. Όταν οι ταχύτητες αυξάνουν, κανένα αεροσκάφος δεν μπορεί ν' ανταποκριθεί για παρατεταμένο χρονικό διάστημα στην ικανότητα "super cruise" του Raptor, καθώς θα καταναλώσει όλο το καύσιμο του εξαιτίας της χρήσης μετάκαυσης.

Το F/A-22 πρόκειται ν' αλλάξει τους κανόνες της εναέριας μάχης στις υπερηχητικές ταχύτητες τον 21^ο αιώνα, αλλά θα μπορεί να ανταποκριθεί εξίσου και στην αντίθετη πλευρά του φακέλου πτήσης, στις εμπλοκές με χαμηλές ταχύτητες. Οι δυνατότητες αυτές αναδείχθηκαν μέσα απ' το πρόγραμμα δοκιμών σε υψηλές γωνίες προσβολής και το Raptor έδειξε ότι μπορεί να ξεπερνά όλα τα πρότυπα. Στα περισσότερα αεροσκάφη η έναρξη μιας πτήσης σε υψηλές γωνίες προσδιορίζουν μέχρι πρόσφατα από τις 30 μοίρες και μετά, τιμή που μονό πειραματικά αεροσκάφη έχουν καταφέρει να επιδείξουν, όπως για παράδειγμα το X-31 και το F-16 MATV.

6.2.9 Αξιολογώντας την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα

Καθώς τα σημεία που απομένουν για τις δοκιμές ελέγχου του προγράμματος ανάπτυξης εκτελούνται, μια διαφορετική ομάδα προετοιμάζεται για τις δίκες της πτητικής δοκιμής, οι δοκιμές θα είναι κι οι πλέον καθοριστικές. Ιπτάμενοι και μηχανικοί της Διοίκησης Αεροπορικού Πολέμου (ACC) έχουν συστήσει στην βάση Edwards το Απόσπασμα 6 προκειμένου να πραγματοποιήσουν την επίσημη αξιολόγηση των επιχειρησιακών δυνατοτήτων του F/A-22. Η τελική αυτή αναφορά θα προωθηθεί κατευθείαν στο υπουργείο άμυνας των Η.Π.Α. προκειμένου ν' αποτελέσει τη βάση για όλες τις μετέπειτα αποφάσεις για την πορεία του προγράμματος.

Οι χειριστές της προαναφερόμενης ομάδας εκπαιδεύτηκαν ακλουθώντας ένα πρόγραμμα σ' εξομοιωτές και πτήσεις στο πραγματικό αεροσκάφος προκειμένου να είναι σε θέση να χειρίζονται το Raptor. Συνολικά, η εκπαίδευση μετάβασης στο F/A-22 περιλαμβάνει 29 ώρες στον εξομοιωτή και 14 εξόδους στο αεροσκάφος. Στη συνέχεια, αποστολή των πληρωμάτων είναι ν' αξιολογηθούν διάφορες τακτικές που η ACC έχει αναπτύξει σ' εξομοιωτές και να τις δοκιμάσουν σε πραγματικές συνθήκες, αφού πρώτα θα έχουν πάρει μια γεύση για το πώς συμπεριφέρεται το αεροσκάφος σ' ένα επιχειρησιακό περιβάλλον.

Το σκέλος των τακτικών αέρος-αέρος περιλαμβάνει από πτήσεις μόνο ενός μαχητικού σε βασικούς ελιγμούς εναέριας μάχης εναντίον ενός αντίπαλου αεροσκάφους, έως και πτήσεις πολλών Raptor που θα συνοδεύουν αεροσκάφη B-2 κι άλλους τύπους αεροσκαφών σ' επιθετικά πακέτα μεγάλης κλίμακας εναντίον προηγμένων δυνάμεων επίγειας αεράμυνας. Το τελευταίο αυτό σενάριο εντάσσεται στα πλαίσια του σχεδίου της "Δύναμης Παγκόσμιας Κρούσης", το οποίο βρίσκεται σ' επεξεργασία από το Γενικό Επιτελείο Αεροπορίας των Η.Π.Α. το τελευταίο διάστημα. Το σχέδιο αυτό αποτελεί το μοντέλο για το πώς θα μάχονται οι Η.Π.Α. στις μελλοντικές πολεμικές επιχειρήσεις.

Ουσιαστικά το σχέδιο αυτό προβλέπει διείσδυση στην εχθρική ζώνη αεράμυνας με αεροσκάφη Raptor, τα οποία αφού εξουδετερώσουν τις κύριες συνιστώσες της θα επιτρέπουν την είσοδο σε συμβατικές δυνάμεις μαχητικών.

Στα πλαίσια αυτά, ένα F/A-22 θα επιχειρήσει από κοινού με ένα B-2 μέσα σε ρεαλιστικό περιβάλλον προσομοίωσης εναντίον αρκετά εξελιγμένων απειλών αέρος-αέρος και εδάφους-αέρος, επαληθεύοντας ότι μπορούν να τις εξουδετερώσουν, να προσβάλλουν τους επίγειους στόχους και να επιστραφούν στη βάση τους.

Η ομάδα του JOT&E δεν θα προσδιορίσει μόνο πόσο γρήγορα μπορεί να πετάξει ένα αεροσκάφος F/A-22 ή πόσα αντίπαλα αεροσκάφη μπορεί να καταρρίψει, αλλά θ' αξιολογήσει και διάφορες άλλες παραμέτρους όπως την ευκολία συντήρησης, την αξιοπιστία και την επιβιωσιμότητα στο θεατό μάχης. Στόχος τελικά του προγράμματος είναι η καθολική εναέρια επικράτηση του F/A-22 εναντίον οποιουδήποτε αντιπάλου κατά 100%.

Τα πρώτα αποτελέσματα των δοκιμών δείχνουν ότι ο στόχος αυτός θα επιτευχθεί πλήρως.

6.3 BOEING / SIKORSKY RAH – 66 “COMANCHE”

6.3.1 Η ακύρωση του πρώτου ελικοπτέρου stealth

Το εξοπλισμένο αναγνωριστικό ελικόπτερο RAH-66 Comanche των εταιριών Boeing και Sikorsky παρουσιάζονταν μέχρι πρόσφατα ως το κύριο ιπτάμενο όχημα εκσυγχρονισμού κι ανάπτυξης της αεροπορίας του αμερικανικού στρατού (U.S.Army). Η σύλληψη του αντανάκλούσε μια επιβίωση στον σχεδιασμό επιχειρήσεων στο πλαίσιο της αξιοποίησης προηγμένων οπλικών συστημάτων και μικρότερων αριθμητικά δυνάμεων σε σχέση με τις υπάρχουσες που θα είναι πολλαπλών ρόλων, με ικανότητες stealth, ταχείας ανάληψης δράσης, επιβιώσιμες εύκολο συντηρητές και μ' εξαιρετικά ανεπτυγμένες δυνατότητες ανταλλαγής πληροφοριών.

Αν και φαινόταν πως το RAH-66 πληρούσε όλες αυτές τις επιταγές, το πρόγραμμα του έμοιαζε να κλυδωνίζεται στις 23/2/2004, ύστερα από πρόταση του αμερικανικού στρατού για ακύρωση του, τη στιγμή που οι δοκιμές απέδιδαν πολύ καλά αποτελέσματα και δεν υπήρχε καμιά υπέρβαση του

προκαθορισμένου προϋπολογισμού της τρέχουσας φάσης της μηχανολογικής ανάπτυξης και κατασκευής.

Τελικά έπειτα από τρεις ημέρες, ο αμερικανικός στρατός ανακοίνωσε επίσημα τον οριστικό τερματισμό του RAH-66. Το πρόγραμμα του ελικοπτέρου RAH-66 Comanche, συνολικού κόστους 39 δις δολαρίων, ακυρώθηκε ύστερα από 21(!) χρόνια ανάπτυξης σχετικών τεχνολογιών και εξόδων γύρω στα 8 δις δολάρια (χωρίς να υπολογίζεται η επιπλέον απόδοση ρητρών στις κατασκευάστριες εταιρίες που ίσως φτάσουν στα 2 δις δολάρια).

Ως βασική αιτιολογία του αμερικανικού στρατού για τη λήψη αυτής της απόφασης ήταν ο ισχυρισμός ότι το ελικόπτερο με το διπλό ρόλο αναγνώρισης πεδίου μάχης και αυτόνομης ανάληψης επίθεσης δεν έχει θέση στο μελλοντικό σχεδιασμό του.

Σχεδόν ταυτόχρονα με την ανακοίνωση του άδοξου τερματισμού, οι ιθύνοντες του στρατού ζήτησαν απ' το Κογκρέσο την απορρόφηση των 14,6 δις δολαρίων που προορίζονταν για το πρόγραμμα έως το 2011 για τον εκσυγχρονισμό 738 ελικοπτέρων AH-64D, την αγορά 20 CH-47 Chinook, 80 UH-60 Black Hawk και επιπλέον UAV διάφορων ρόλων. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η συγκεκριμένη απόφαση επηρεάζει βασικά την τύχη των 1.300 ανθρώπων που εργάζονταν στο πρόγραμμα, μιας και η Sikorsky δεν κινδυνεύει άμεσα χάρη στην μεγάλη επιτυχία του Blackhawk, ενώ η Boeing (που κατασκευάζει και το ανταγωνιστικό AH-64 Apache) δεν δίστασε να δηλώσει ότι το πρόγραμμα του RAH-66 αντιπροσώπευε λιγότερο από το 1% των αναμενόμενων εσόδων της για το 2004.



Εικόνα 6.22 : Το RAH-66 Comanche είναι το πρώτο ελικόπτερο stealth στον κόσμο.

6.3.2 Ιστορικό του προγράμματος

Οι αρχές της ιστορίας που οδήγησε στο RAH-66 εντοπίζονται στα τέλη της δεκαετίας του '70, όταν η βιομηχανία εκπονούσε σοβαρές μελέτες στο πλαίσιο της προσπάθειας για βελτίωση του ελικοπτέρου ως ιπτάμενης μηχανής με υιοθέτηση ριζοσπαστικών τεχνολογιών. Όταν προκηρύχθηκε ο διαγωνισμός απ' τον αμερικανικό στρατό για το νέο ελαφρύ πειραματικό ελικόπτερο (L.H.X.: Light Experimental Helicopter), το 1983, τα προτεινόμενα προς υλοποίηση σχέδια ήταν εξωπραγματικά κι υπερβολικά κοστολογημένα ώστε να μην έχουν καμιά ελπίδα.

Ελικόπτερα με μορφή εντόμων χωρίς καλύπτρα, αλλά με ψηφιακή απεικόνιση του περιβάλλοντος, με ραντάρ μαχητικών αεροσκαφών, χωρίς ουραίο στροφέιο, με κεντρικό στροφέιο που σταθεροποιούνταν και λειτουργούσε σαν πτέρυγα "X" κι αλλά πολλά περίεργα τεχνολογικά γνωρίσματα είχαν εξάψει τη φαντασία όλων. Ο ίδιος ο αμερικανικός στρατός που' χε ενθαρρύνει κι είχε χρηματοδοτήσει μερικώς την έρευνα κι ανάπτυξη των ελικοπτέρων με πτέρυγα "X" και με αντιπεριστρεφόμενο στροφέιο, σύντομα επέβαλε την τάξη στους κατασκευαστές ορίζοντας τους την επιστροφή σε όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστες λύσεις.

Ο αρχικός σκοπός του αμερικανικού στρατού ήταν η αντικατάσταση του στόλου των AH-1 Cobra, OH-58 Kiowa και OH-6a Cayuse μ' ένα ελικόπτερο που θ' αναλάμβανε τους ρόλους τους (επίθεση, κατάδειξη στόχων και αναγνώριση). Έτσι υπήρχε η προοπτική κατασκευής 1.300 L.H.X. για την αντικατάσταση 3.000 ελικοπτέρων των παραπάνω τύπων. Όταν ο διαγωνισμός L.H.X. έφτανε στα τελικά του στάδια στα τέλη του 1980, τα σχέδια των δύο συνασπισμών εταιριών που είχαν προκριθεί, McDonnell Douglas/Bell (Super Team) και Boeing/Sikorsky (First Team), έμοιαζαν πιο συμβατικά απ' ότι θα περίμενε κανείς, τουλάχιστον εξωτερικά, μιας και κάθε μη εφαρμοσμένη ιδέα είχε απορριφτεί. Απ' την άλλη δεν έγινε κανένας συμβιβασμός στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό των αμερικανικών ελικοπτέρων, ο οποίος είναι αυτός τελικά που δρα ως πολλαπλασιαστής δύναμης σε κάθε ελικόπτερο.

Το ελικόπτερο της Super Team (McDonnell Douglas/Bell) ήταν ένα ενδιαφέρον ελικόπτερο με κύριο γνώρισμα το σύστημα NO.TA.R.

(No Tail Rotor: χωρίς ουραίο στροφέιο), αλλά γενικότερα φάνηκε αρκετά πιο συμβατικό σε σχέση με την πρόταση της First Team (Boeing/Sikorsky), που παρουσιάστηκε την άνοιξη του 1990. Το πρώτο είχε ως μειονέκτημα το εμφανές υπέρυθρο ίχνος του ισχυρού ρεύματος των καυσαερίων που χρησιμοποιούνταν για τον έλεγχο εκτροπής, ενώ την ίδια στιγμή υστερούσε και στην ενσωμάτωση τεχνολογιών stealth για την μείωση του ηλεκτρομαγνητικού ίχνους του.

Απ' την άλλη η πρόταση της First Team αφορούσε εξ' αρχής διμελές πλήρωμα, ενώ αυτή της Super Team μονομελής. Είχε πια καταστεί προφανές ότι η αυτοματοποίηση των λειτουργιών πτήσης και δράσης χάρη στην εκτεταμένη ανάλυση της τακτικής κατάστασης από υπολογιστές πριν απ' την εμφάνιση της τελικής πληροφορίας προς τον χειριστή, δεν φαινόταν ότι μπορεί ν' αντικαταστήσει το δεύτερο μέλος του πληρώματος.

Η αξιολογήσει των απειλών, ο χειρισμός, των οπλών, η πτήση, ο αναμενόμενος φόρτος κι η λήψη αποφάσεων ιδιαίτερα σε κατάσταση κινδύνου είναι ανάγκες που δεν ικανοποιούνταν από μονομελές πλήρωμα. Πέρα απ' αυτά, για την ιστορία του διαγωνισμού αξιοπρόσεκτο είναι το γεγονός ότι για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συμπίεση του κόστους, τα δύο αντίπαλα σχέδια δεν υλοποιήθηκαν πάρα μόνο σε μορφή στατικών πρωτότυπων και ηλεκτρονικών μοντέλων σ' εντελώς νέους, υπερεξελιγμένους εξομοιωτές.

Τελικά, έπειτα από περίπου ένα χρόνο στις 5/4/1991 επιλέχτηκε το σχέδιο της First Team, μόλις πέντε χρόνια μετά το συνασπισμό των εταιριών, αλλά οκτώ ολόκληρα χρόνια απ' την αρχική προκήρυξη του διαγωνισμού. Το όλο πρόγραμμα όμως δε στηριζόταν σε γερές βάσεις πια, αφού καθημερινά πλήθαιναν οι φωνές που θεωρούσαν το ελικόπτερο περιττό για τις πιο ειρηνικές ημέρες που έρχονταν. Το πρώην σοβιετικό μπλοκ είχε καταρρεύσει και το AH-64 Apache έδειχνε ιδιαίτερα ικανό, ενώ η προσπάθεια για τόνωση της αμερικανικής οικονομίας δε συμβάδιζε με την ανάληψη δυσβάσταχτων οπλικών προγραμμάτων. Έτσι οι παράγοντες απείλησαν το ελικόπτερο πριν ακόμα πετάξει το πρωτότυπό του. Ο αρχικός στόχος για κατασκευή έξι πρωτότυπων υποβαθμίστηκε στα δύο, ενώ οι προοπτικές κατασκευής έξι αεροσκαφών προ παραγωγής από το 1999 έως και το 2001 κι έναρξης παραγωγής το 2004 κατάποντίστηκαν. Πάρα τις δυσκολίες, το πρώτο

πρωτότυπο YRAH-66 παρουσιάστηκε στις εγκαταστάσεις της Sikorsky Aircraft στις 25/5/1995 κι εκτέλεσε την παρθενική πτήση του στις 4/1/1996.

Το πρόγραμμα του ελικοπτέρου απορρόφησε 2,1 δισεκατομμύρια δολάρια μεταξύ των F.Y. (Focal Years : έτη προϋπολογισμού): 1991-1997. Το πρόγραμμα εισήλθε στη φάση της τεχνολογικής ανάπτυξης και κατασκευής, προϋπολογισμού 3,1 δισεκατομμυρίων δολαρίων τον Ιούνιο του 2000, όποτε και προβλέφτηκε η κατασκευή έντεκα αεροσκαφών επιπλέον των δύο πρωτότυπων έως το 2006. Πάντως το πρόγραμμα πέρασε από πολύ δύσκολα στάδια, με το πιο κρίσιμο στις αρχές του 2002 όταν κι ήταν φανερό ότι απειλούνταν με ακύρωση.

Τελικά μόλις τον Οκτώβριο του ίδιου έτους αποφασίστηκε ότι θα συνεχιστεί, αλλά μ' εντολή κατασκευής μόλις 650 μονάδων, με φυσικό επακόλουθο την εκτόξευση του κόστους κτήσης ανά μονάδα στα ύψη. Πάντως είχε ήδη εγκατασταθεί βασικός εξομοιωτής (σε PC) και είχε αρχίσει η εκπαίδευση του προσωπικού στις νέες τακτικές χρήσης, αξιοποίησης και συντήρησης του RAH-66. Λίγο πριν το πρόγραμμα ακυρωθεί, στον αέρα βρίσκονταν μόλις δυο ελικόπτερα κι αλλά τέσσερα (λίγο) απείχαν από την πρώτη τους πτήση . Η παραγωγή της πρώτης παρτίδας των εβδομήντα οκτώ ελικοπτέρων θα άρχιζε το 2007 με τα βασικά μοντέλα Block I να εισέρχονται σε υπηρεσία το 2009 και οι πλήρως ικανές εκδόσεις Block II κι ανώτερες, απ' το 2011 μέσα από μία γραμμή κατασκευής εβδομήντα δύο μονάδων ανά έτος.

6.3.3 Κατασκευή

Παρόλο που ακόμα και μετά την ακύρωση του προγράμματος το μεγαλύτερο μέρος των τεχνολογιών κατασκευής του RAH-66 θα παραμείνει απόρρητο, υπάρχουν αρκετά γνωστά κι ενδιαφέροντα στοιχεία. Το ελικόπτερο ήταν «χτισμένο» γύρω από ένα κεντρικό δικτύωμα δοκών τετραγωνικής διατομής, κατασκευασμένων από γραφίτη εμποτισμένο σε ρητίνη. Σχεδιαστικό χαρακτηριστικό της χωροταξικής σχεδίασης ήταν το γεγονός ότι ο εξοπλισμός που θ' απαιτούσε τακτική συντήρηση δε «χανόταν» στο βάθος του σκελετού, αλλά ήταν άμεσα προσιτός με το άνοιγμα των εξωτερικών θυρίδων πρόσβασης. Αυτές κάλυπταν το 40% της εξωτερικής επιφάνειας του

ελικοπτέρου κι ήταν κατασκευασμένες από κυψελωτό κέβλαρ, με την υπόλοιπη εξωτερική επιφάνεια να αποτελείται από διάφορα συνθετικά υλικά με ίνες.

Τα τελευταία προσδίδουν εξαιρετική αντοχή αφού δεν διαδίδονται ρωγμές στη δομή τους, ενώ η επιδιόρθωση τους στο πεδίο της μάχης γίνεται με απλά μπαλώματα. Τα υλικά απορρόφησης ακτινοβολίας ραντάρ (R.A.M.) δεν θα πρέπει να είχαν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη έκταση, αφού είναι γνωστό ότι δεν παρέχουν την θωρακισμένη προστασία που χρειάζεται να έχει ένα ελικόπτερο, όπως το Comanche, το οποίο αντέχει σε πλήγματα βλημάτων των 23 mm παντού εκτός από το ουραίο στροφείο που αντέχει μέχρι 12,7 mm. Πάντως είναι προφανές ότι η απόκρυψη από ραντάρ βασιζόταν κυρίως στο εξωτερικό σχήμα της ατράκτου που αντανάκλα την προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην δυνατότητα εσωτερικής μεταφοράς οπλισμού, αλλά και στην ειδική βαφή ανάλογη αυτής των F-117.

Το πιλοτήριο παρείχε πλήρη προστασία στο πλήρωμα έναντι Πυρηνικού, Βιολογικού και Χημικού Πολέμου (N.B.C.W.: Nuclear Biological Chemical Warfare) για πρώτη φορά σ' ελικόπτερο. Το πάτωμα ήταν κατασκευασμένο από συνθετικά υλικά και θα συνθλιβόταν με προκαθορισμένο τρόπο, προκειμένου τα θωρακισμένα καθίσματα να μη μεταδώσουν όλη την ενέργεια της κρούσης στο πλήρωμα. Επίσης σε περίπτωση πτώσης με ταχύτητα μεγαλύτερη από 6 m/sec, το ουραίο τμήμα της ατράκτου θ' απομακρύνονταν ώστε το κεντρικό σύστημα προσγείωσης να έχει μικρότερη ορμή να εξουδετερώσει.

Τα πρωτοποριακά για την εποχή τους στροφεία του ελικοπτέρου αποτελούσαν έναν απ' τους παράγοντες της τελικής επιλογής. Το κεντρικό πεντάφυλλο στροφείο χωρίς έδρανα (B.M.R.: Bearing less Main Rotor) βασίστηκε στη σχεδίαση που ανέπτυξε η MBB (μέλος της Euro copter πλέον) για το εξαιρετικό ελικόπτερο Bo-108/EC135, με κύριο γνώρισμα τα ελαστομερικά στοιχεία που ελαττώνουν την πολυπλοκότητα της κατασκευής, μηδενίζουν τις ανάγκες συντήρησης, προσφέρουν εξαιρετική αεροδυναμική απόδοση και δομική αντοχή και συνεισφέρουν στην ελάττωση της ηλεκτρομαγνητικής αντανάκλαστικότητας σε σχέση με τα συμβατικά στροφεία.

Τα πτερύγια είχαν σκελετό από γραφίτη κι επικάλυψη από ίνες γυαλιού εμποτισμένες με ρητίνη. Το οκτάφυλλο ουραίο στροφείο τύπου "fantail" ήταν

ενσωματωμένο στην άτρακτο και βασίστηκε στο Fenestron, το οποίο ήδη υπήρχε σε υπηρεσία με αρκετά ευρωπαϊκά ελικόπτερα (Gazelle, Dauphin κ.ά.). Συνολικά σε σχέση με ένα συμβατικό στροφέιο προσφέρει καλύτερη απόκριση στις εντολές, υψηλότερη επιβιωσιμότητα έναντι πληγμάτων (ακόμα και μ' ένα πτερύγιο λιγότερο προσφέρει έλεγχο πτήσης), ελάχιστη επικινδυνότητα κατά την πτήσης κοντά στο έδαφος), αλλά και πρωτόγνωρη ασφάλεια απέναντι στα πληρώματα εδάφους.



Εικόνα 6.23 : Το RAH-66 θα είχε διμελές πλήρωμα με τον πιλότο μπροστά, ανασυρόμενο σύστημα προσγειώσεως, πυροβόλο των 20mm του οποίου η κάνη κρύβονταν κάτω απ' το ρύγχος όταν δεν θα χρησιμοποιούνταν και ραντάρ τοποθετημένο στην κορυφή του πεντάφυλλου στροφείου.



Εικόνα 6.24 : Το Comanche έχει άτρακτο τραπεζοειδούς διατομής για μείωση του R.C.S.. Παράλληλα για μείωση του θερμικού ίχνους οι κινητήρες δεν έχουν κανονικές εξαγωγές, αλλά εκτονώνουν τα καυσαέρια τους προς τα κάτω μέσω αγωγών που τ' αναμιγνύουν με ψυχρό αέρα εκατέρωθεν της δομής της ουράς. Το ουραίο στροφέιο είναι τύπου Fenestron για μείωση του ακουστικού ίχνους.

6.3.4 Προωστικό σύστημα

Η εταιρία που κέρδισε το διαγωνισμό ανάπτυξης του προωστικού συστήματος του ελικοπτέρου προήλθε απ' τον συνασπισμό της Allison Gas Turbine με την Garrett Turbine Engine Company (τώρα Allied Signal Propulsion Engines). Τον Οκτώβριο του 1988 η Allison Garrett Light Helicopter Turbine Engine Company (LHTEC) αναδείχθηκε νικήτρια και ανέλαβε την κατασκευή του T800-LHT800.

Το βασικό μοντέλο T800-LHT801 παράγει 1.200 hp (895 KW) και ελέγχεται από ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου (FADEC), ενώ έχει σχεδιαστεί με δυνατότητα επέκτασης στο μέλλον έως τους 1.800 hp. Το βάρος του είναι 139 kg και καταναλώνει 10 έως 30% λιγότερο απ' τους κινητήρες των Cobra και Κίωα. Οι 2 κινητήρες του RAH-66 τροφοδοτούνταν με καύσιμο από εσωτερικές δεξαμενές χωρητικότητας 1.415 L ή κι από τέσσερις εξωτερικά μεταφερόμενες των 870 L (μέγιστο) η καθεμιά.

Ένα νεωτεριστικό χαρακτηριστικό του ελικοπτέρου θα ήταν ότι η βοηθητική μονάδα ισχύος (A.P.U.: Auxiliary Power Unit) WTS124 δε θα είχε ως ρόλο μόνο την εκκίνηση των κινητήρων, αλλά θα λειτουργούσε συνεχώς «οδηγώντας» το σύστημα κλιματισμού και παρέχοντας ισχύ στο Νο 3 υδραυλικό σύστημα. Γι' αυτόν τον λόγο ονομάζονταν και δευτερεύουσα μονάδα ισχύος (S.P.U.: Secondary Power Unit) .

6.3.5 Επιχειρησιακά χαρακτηριστικά

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του RAH-66 θα ήταν η εύκολη εναέρια μεταφορά με μικρή λογιστική υποστήριξη. Χάρη στο αναδιπλούμενο στροφέιο και στη δυνατότητα σύμπτυξης του συστήματος προσγείωσης θα μπορούσαν να μεταφερθούν οκτώ από ένα C-5 Galaxy, τρία από ένα C-141 Star lifter, τέσσερα από ένα C-17 Globe master III κι ένα απ' το C-130 Hercules. Ακόμα περισσότερο, απ' τη στιγμή που κάθε ελικόπτερο βρίσκονταν στη βάση του θα μπορούσε να ετοιμαστεί για πτήση μέσα σε 20 λεπτά σε σχέση με τις δύο ώρες που απαιτεί το Apache ή το Cobra. Ακόμα κι η προετοιμασία για την μεταφορά με πλοίο θ' απαιτούσε λιγότερη εργασία, επειδή το μεγαλύτερο μέρος του ελικοπτέρου αποτελούνταν από συνθετικά υλικά που είναι απρόσβλητα από τη διάβρωση. Συνολικά, η απρόσκοπτη ύπαρξη του RAH-66 και η φιλικότητα προς το χρήστη του θα επέτρεπαν την υψηλή επιχειρησιακή διαθεσιμότητα και την συρρίκνωση του συνολικού αριθμού των ελικοπτέρων που απαιτούνται για την ανάληψη του ίδιου αριθμού αποστολών. Αναμενόταν ότι σε σχέση με τα σημερινά ελικόπτερα που μπορούν να βρίσκονται στον αέρα το πολύ πέντε ώρες την ημέρα, το Comanche θα μπορούσε να επιχειρεί ένα δωδεκάωρο !

Αυτό το επίτευγμα δεν ήταν ουτοπικό και προέκυπτε εμμέσως κι από παράγοντα "mmh/fhr maintenance man hours / fight hour": ανθρωπόωρες συντήρησης / ώρες πτήσης), που στο RAH-66 δε θα ξεπερνούσε τις 3 mmh/fhr, τη στιγμή που το AH-1 και το AH-64 απαιτούν 7 και 9 mmh/fhr αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές θα επιτυγχάνονταν κυρίως χάρη στην προηγμένη κατασκευή του (2.000 λιγότερα μέρη από το AH-64), στα ελάχιστα απαιτούμενα εργαλεία (49 σε σχέση με τα 320 του AH-64), στην πολύ

βελτιωμένη προσβασιμότητα στα διάφορα υποσυστήματα του RAH-66 και στην αυτοπονημένη εύρεση βλαβών με την βοήθεια PC.

6.3.6 Τεχνολογία stealth

Το σκεπτικό γύρω από τη σχεδίαση του Comanche ήταν ότι θα εξασφάλιζε τις ασφαλείς προϋποθέσεις του χαμηλού υπέρυθρου, ηλεκτρομαγνητικού, ακουστικού και ηλεκτρονικού ίχνους, προκειμένου να επιχειρεί έχοντας το πλεονέκτημα του αιφνιδιασμού. Το υπέρυθρο ίχνος του ήταν τόσο αμυδρό (εννέα φορές χαμηλότερο από του UH-60 με τους καταστολείς, τέσσερις φορές από του AH-64, δυο φορές από του OH-58), που η πρόσκτηση του ελικοπτέρου από πύραυλο IR αποδείχτηκε δυσκολότερη από ποτέ.

Η επιτυχία αυτή οφειλόταν στην ιδιαίτερα προσεγμένη εξαγωγή των καυσαερίων των κινητήρων, τα οποία πριν εκτονωθούν στην ατμόσφαιρα, αναμιγνύονταν με αέρα του περιβάλλοντος, περνούσαν εκατέρωθεν του ουραίου τμήματος της ατράκτου και τελικά διασκορπίζονταν πλήρως απ' το ρεύμα του αέρα του "fantail". Βέβαια και το ηλεκτρομαγνητικό ίχνος του ήταν ιδιαίτερα ασθενές, κάτι που επιτεύχθηκε με το μικρό μέγεθος, την πολύ επίπεδη εξωτερική σχεδίαση, αλλά και την ειδική, πανάκριβη βαφή.

Σε αυτά συνεπικουρούσε το ανασυρόμενο σύστημα προσγείωσης, η εσωτερική μεταφορά φορτιού σε ειδικές θυρίδες, η δυνατότητα απόκρυψης της κάνης του πυροβόλου εντός ειδικού καλύμματος, ακόμα κι η ειδική σχεδίαση της κεραίας του ραντάρ Longbow (μια ειδική έκδοση αυτού που φέρουν τα AH-64D). Έτσι επιτεύχθηκε μετωπικό R.C.S. 360 φορές μικρότερο από του AH-64 Apache και 250 φορές από του OH-58D Kiowa Warrior.

Αυτό σημαίνει ότι το Comanche θα μπορούσε να πλησιάζει πέντε φορές κοντύτερα σ' ένα ραντάρ απ' ότι ένα Apache προτού ανιχνευθεί απ' αυτό.

Αξιοσημείωτο είναι και το ακουστικό ίχνος του RAH-66, το οποίο ήταν υψηλό συχνό και ασθενές, κάτι που αποδεδειγμένα βοηθά όχι μόνο στην απόκρυψη από επίγειους παρατηρητές, αλλά και στην καλύτερη προστασία απ' τις ανάλογες νάρκες εναντίον ελικοπτέρων. Η φίμωση που αναπτύχθηκε

χάρη στο ειδικής σχεδίασης πεντάφυλλο κύριο στροφείο και στο ουραίο πίσω στροφείο (το οποίο μπορούσε να περιστρέφεται με 10% μικρότερη ταχύτητα, για περαιτέρω μείωση του θορύβου). Συνολικά το ακουστικό ίχνος του RAH-66 ήταν δύο φορές ασθενέστερο από του AH-64 και του OH-58D, επιτρέποντας του να πλησιάσει στο στόχο του επί 40% κοντύτερα από αυτά προτού γίνει αντιληπτό.

6.3.7 Εξελιγμένα συστήματα και ικανότητες

Το πλήρωμα του Comanche θα μπορούσε να κατευθύνεται με ακρίβεια προς την περιοχή ενδιαφέροντος χάρη στα προηγμένα συστήματα ναυτιλίας και πλοήγησης (GPS και γυροσκόπια λέιζερ), στον μετρητή ύψους Doppler, στο ραντάρ Longbow, στους ηλεκτροπτικούς αισθητήρες και στις απεικονίσεις των οθόνων του τρισδιάστατου κινούμενου χάρτη.

Επιπλέον είχε δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην ανταλλαγή πληροφοριών με άλλες μονάδες (J-STARS, UAV, U-2 κ.τ.λ.) και στις επικοινωνίες, αφού το αναπτυσσόμενο σύστημα τηλεπικοινωνιών ICNIA με τις αστραπιαίες κωδικοποιημένες μεταδόσεις δεδομένων και φωνής με συνεχή αναπήδηση συχνότητας θα μπορούσε να περνά απαρατήρητο από εχθρικά παρατηρητήρια παρακολούθησης ηλεκτρονικών εκπομπών κι επικοινωνιών (εξ ου και το χαμηλό ηλεκτρονικό ίχνος).

Τα δύο μέλη του πληρώματος θα κάθονταν σε θωρακισμένα καθίσματα φορώντας κράνος προβολικής απεικόνισης των στοιχείων πτήσης, οπλισμού, αλλά και του περιβάλλοντος από αισθητήρες FLIR και TV (προαιρετικά) ξεχωριστά ή σε μία εικόνα. Επιπλέον σ' αντίθεση με τα Apache και Cobra, δεν υπήρχε άμεση οπτική ζεύξη μεταξύ των αισθητήρων και των προβολικών στοιχείων τους, αλλά μεσολαβούσαν οι υπολογιστές του RAH-66, όπου τα στοιχεία μεταδίδονταν σ' αυτούς μέσω οπτικών ινών, όπως θα συνέβαινε με το ραντάρ Longbow και το σύστημα πλοήγησης (αυτές αποδίδουν έως και 800 φορές περισσότερα δεδομένα στον ίδιο χρόνο σε σχέση με τη γνωστή αρτηρία δεδομένων 1553B). Απ' την άλλη τα μέλη του πληρώματος θ' απολάμβαναν χαμηλό φόρτο εργασίας χάρη στον αυτοματισμό των διαδικασιών (η αναφορά μιας εχθρικής θέσης θ' απαιτούσε μόλις πέντε

βήματα σε σχέση με τα τριάντα τέσσερα στο OH-58D), στην ευελιξία των απεικονίσεων στις οθόνες, στα κράνη και στα εξελεγμένα χειριστήρια τύπου HOTAS .



Εικόνα 6.25 : Ένα RAH-66 πετάει σε σχηματισμό μ' ένα AH-64 Apache, το ελικόπτερο που θ' αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό. Είναι εμφανής οι διαφορές στην ενσωμάτωση τεχνολογίας stealth.

Τέλος, το RAH-66 αποδείχτηκε κορυφαίο σε δυνατότητες εκτέλεσης ελιγμών, επιταχύνσεων κι αναρρίχησης, επιτυγχάνοντας ελάχιστους χρόνους αλλαγής πορείας κι απόκρυψης πίσω απ' την εδαφική μορφολογία, στοιχεία που το καθιστούσαν κι εξαιρετικό κυνηγό ελικοπτέρων. Στις εξαιρετικές επιδόσεις του πέρα από την καταπληκτική αεροδυναμική και την απόδοση των κινητήρων, σημαντική ήταν κι η συμβολή του ψηφιακού συστήματος ελέγχου πτήσης F.B.W..

Χάρη σ' αυτό αυξήθηκαν τα περιθώρια ασφαλείας, μειώθηκε το βάρος του συστήματος μετάδοσης εντολών του πιλότου (δεν υπήρχαν μηχανικοί μεταδότες της κίνησης) κι επιτράπηκε η απαλοιφή των ποδωστηρίων, με την

λειτουργία τους να εκτελείται απ' το δεξί χειριστήριο. Όσον αφορά την δράση του ελικοπτέρου, επιστρατεύτηκε ότι πιο σύγχρονο κι εξελιγμένο για την κάλυψη των ολοένα και πιο απαιτητικών αναγκών στο σύγχρονο πεδίο μάχης. Αυτές οι ανάγκες σε πρώτο στάδιο θα ικανοποιούνταν από ηλεκτροπτικά όργανα δεύτερης γενιάς (όργανα FLIR, κάμερα TV, αποστασιόμετρο/ καταδείκτης λέιζερ) που επιτρέπουν τη μικρότερη ανίχνευση και πρόσκτηση στόχων κατά 40% και 50%, αντίστοιχα (εμβέλεια μεγαλύτερη από δέκα χιλιόμετρα), σε σχέση με την προηγούμενη γενιά (αυτή του AH-64) με απλό καιρό, με ομίχλη ή βροχή και μάλιστα στο μισό σχεδόν χρόνο.

Από εκεί κι υστέρα, σε πραγματικά άσχημο καιρό ή παρουσία καπνού, μια νέα έκδοση του ραντάρ Longbow που χρησιμοποιεί το Apache θα αναλάμβανε δράση, αφού χάρη στα χαρακτηριστικά λειτουργίας του διαπερνά τέτοια εμπόδια μ' ευκολία. Η αξιολόγηση των λαμβανόμενων ηλεκτρονικών εκπομπών θα γινόταν από αναπρογραμματισμένο σύστημα ανίχνευσης ηλεκτρονικών απειλών R.W.R. (Radar Warning Receiver), του οποίου τα στοιχεία θα αναλύονταν και θα συγκρίνονταν με την υποθηκευμένη βιβλιοθήκη σημάτων προκειμένου ν' αναγνωρισθεί έπειτα ο τύπος της πηγής, αλλά κι η θέση της.

Η αναγνώριση των απειλών κι η εύρεση της κατεύθυνση της ακτινοβολίας θα επέτρεπαν όχι μονό την προσβολή τους, αλλά και την ασφαλέστερη επιλογή της πορείας πτήσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι το Comanche δεν είχε κανενός είδους ενεργό παρεμβολέα πάρα μόνο προειδοποιείς N.B.C., ακτινοβολίας ραντάρ και λέιζερ. Το βασικό λειτουργικό πλεονέκτημα που θα κατάτασσε το ελικόπτερο σε ανώτερη κλάση σε σχέση με κάθε άλλο, προέκυπτε απ' την συνολική επεξεργασία των εισερχομένων πληροφοριών απ' τους παραπάνω αισθητήρες στο σύστημα υποβοηθούμενης εύρεσης και κατάταξης στόχων (A.T.D.C.: Assisted Target Detection and Classification).

Χάρη σ' αυτό, το πλήρωμα του ελικοπτέρου θα μπορούσε να αναγνωρίσει τον τύπο κάθε στόχου και να συντονίσει επίθεση προς στόχους μέγιστου ενδιαφέροντος, αλλά και να μειώσει στο ελάχιστο τις πιθανότητες φιλικού χτυπήματος. Η αναγνώριση θα γινόταν με σύγκριση της «εικόνας» στους αισθητήρες σε σχέση με της αποθηκευμένες βάσεις δεδομένων. Το

όλο σύστημα βασιζόταν στο σύστημα του F/A-22 Raptor που θεωρούνταν ως το «μυαλό» του ηλεκτρονικού εξοπλισμού κι ένα απ' τα δυσκολότερα στοιχεία για ανάπτυξη και τεκμηρίωση. Η βασική δύναμη πυρός του RAH-66 θα μεταφερόταν εσωτερικά (τα τρία ανά πλευρά σημεία ανάρτησης δέχονταν ισάριθμους AGM-114 Hellfire, 24 Hydra των 72mm ή 6 Stinger) ή κι εξωτερικά (δύο μη αντωτικές πτέρυγες θ' αύξαναν το συνολικό φορτίο σε 14 Hellfire, 62 ρουκέτες ή 18 Stinger).

Ακόμα, ιδιαίτερα χρήσιμο θα ήταν και το πολύ ελαφρύ (127 kgr) τρίκανο πυροβόλο των 20 mm της General Electric (βασισμένο στο πυροβόλο της GLAT THL 20) που είναι επαρκώς ταχυβόλο κι ακριβές για την πλήξη εναέριων κι επίγειων στόχων (με ρυθμό βολής 700 ή 1.500 βλήματα/λεπτό), με αναχορηγία έως και 500 βλήματα.

6.3.8 Το τέλος του προγράμματος

Σε όλη την ιστορία του προγράμματος δεν είχε εννοηθεί ποτέ ότι το μέλλον του Comanche είχε εξασφαλιστεί απόλυτα κι ειδικά μετά την απόφαση εκσυγχρονισμού αρκετών AH-64 με νέα ηλεκτροπτικά ανάλογα του RAH-66 και την ωρίμανση της τεχνολογίας των U.A.V. για τις αναγνωρίσεις του πεδίου μάχης, αλλά και για επιλεγμένες επιθέσεις αυτό έγινε πιο εμφανές. Ειδικά όταν αποδείχτηκε η αξιοπιστία κι η καλή απόδοση των αναγνωριστικών U.A.V. με τη μεγαλύτερη ακτίνα δράσης και το κυριότερο, τη δυνατότητα επίθεσης με Hellfire (το βασικό όπλο του RAH-66) άρχισαν να κλονίζουν την αναγκαιότητα του ελικοπτέρου.

Έτσι κατέστη κατανοητή η κυνική δήλωση του αμερικανικού στρατού ότι το RAH-66 είναι πια παρωχημένο, αφού σχεδιάστηκε με γνώμονα τις απειλές της δεκαετίας του '90 κι ότι απ' το 1983 που εκκίνησε το πρόγραμμα, μέχρι σήμερα οι απειλές έχουν αυξηθεί ποιοτικά. Εξάλλου το πρόγραμμα είχε καθυστερήσει σε τέτοιο βαθμό που για να καταστεί ικανό ν' αντιμετωπίσει τις απειλές της ερχόμενης δεκαετίας έπρεπε να εφοδιαστεί επιπλέον ή και με πιο σύγχρονο εξοπλισμό, κάτι που θ' αύξανε ακόμα πιο πολύ τον εξαιρετικά βεβαρημένο προϋπολογισμό του προγράμματος. Το συνεχώς αυξανόμενο κόστος ήταν τελικά κι η αχίλλειος πτέρνα του.

Πάντως η κληρονομιά που αφήνει το RAH-66 είναι μεγάλης σημασίας. Οι τεχνολογικές που αναπτύχθηκαν ειδικά στον τομέα απόκρυψης, οπωσδήποτε θα μεταφερθούν σ' επόμενα ελικόπτερα. Επιπλέον το F.B.W. που επέτρεψε την απαλοιφή των ποδωστηρίων ίσως να ενσωματωθεί στα Black Hawk και Apache, αυξάνοντας τις δυνατότητες και την αξιοπιστία τους. Απ' την άλλη ο κινητήρας T800 θεωρείται από ορισμένους το πιο εντυπωσιακό επίτευγμα του προγράμματος, αφού παρουσίασε εξαιρετικά μικρό όγκο και βάρος για την ισχύ που προσφέρει κι όλα αυτά με χαμηλή κατανάλωση, κορυφαία αξιοπιστία και ιδιαίτερα απλή κι εύκολα συντηρήσιμη κατασκευή. Ήδη τοποθετείται σε Super Lynx και η χρήση του αναμένεται να επεκταθεί πολύ περισσότερο στο μέλλον.

Τελικά φαίνεται πως το φουτουριστικό RAH-66 θα περάσει οριστικά στην αεροπορική ιστορία ως ένα ακόμα εξαιρετικό αεροσκάφος που δεν κατασκευάστηκε ποτέ . Δυστυχώς γι' αυτό, η ανάπτυξη του ξεκίνησε σχεδόν ταυτόχρονα με το καταλάγιασμα των απειλών για τις οποίες σχεδιάστηκε, με αποτέλεσμα να πέσει θύμα ενός συνεχόμενου χαμηλού προϋπολογισμού ανάπτυξης που φυσιολογικά δεν επέτρεψε την εισαγωγή του σε υπηρεσία όταν έπρεπε.



Εικόνα 6.26 : Η σιλουέτα του ελικοπτέρου του προσέδιδε πολύ μικρό οπτικό ίχνος. Τελικά το Comanche θα μείνει στην ιστορία ως ένα εξαιρετικό ελικόπτερο που δεν μπήκε ποτέ σε παραγωγή.

6.4 LOCKHEED MARTIN F-35 “JOINT STRIKE FIGHTER”

6.4.1 Το πρόγραμμα “Joint Strike Fighter”

Στις 26/10/2001 ανακοινώθηκε η ιστορικής σημασίας απόφαση του αμερικανικού Πενταγώνου για την επιλογή του τακτικού μαχητικού κρούσης “Joint Strike Fighter”, το οποίο θα κυριαρχεί για της επόμενες τέσσερις δεκαετίες και τελικά με βάση την απόφαση, θ’ αναπτυχθεί και θα κατασκευαστεί απ’ την εταιρία Lockheed Martin ως F-35 αντί του ανταγωνιστικού αεροσκάφους F-32 απ’ την Boeing. Το πρόγραμμα θα είναι συνολικού ύψους 200 δις δολαρίων κι είναι δεδομένο ότι θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την παγκόσμια αγορά μαχητικών. Συνολικά περίπου 3.000 αεροσκάφη θα κατασκευαστούν για την κάλυψη των αναγκών των ενόπλων δυνάμεων των Η.Π.Α. και της Μεγάλης Βρετανίας, ενώ αυτός ο αριθμός αναμένεται να ξεπεράσει τις 5.000 μονάδες στα προσεχή 20 χρόνια εάν συνυπολογιστούν και οι εξαγωγικοί πελάτες του αεροσκάφους. Το πρόγραμμα ανάπτυξης του αεροσκάφους “Joint Strike Fighter (J.S.F.)”, όπως αυτό εκπροσωπείται από εδώ και στο εξής από το F-35 της Lockheed Martin (L.M.), αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο και ίσως το πιο φιλόδοξο εγχείρημα στο χώρο της πολεμικής αεροπορικής βιομηχανίας εδώ και 40 χρόνια. Το πρόγραμμα αυτό δεν πρόκειται ν’ αποτελέσει απλά τον προπομπό στη νέα γενιά ηλεκτρονικών κι αισθητήρων, χαρακτηριστικών σχεδίασης stealth, κατασκευαστικές τεχνολογίες, αλλά και μια εξέλιξη που θα επαναπροσδιορίσει τις αμυντικές προμήθειες στον 21^ο αιώνα.

Όπως πολλοί παρατηρητές επισημαίνουν, το πρόγραμμα του J.S.F. κατάφερε αυτό που πριν μερικά χρόνια θεωρείτο ακατόρθωτο, κατάφερε δηλαδή να καταργήσει τις καθιερωμένες αντιλήψεις, ώστε μία μόνο σχεδίαση

να γίνει κοινά αποδεκτή κι απ' τα τρία αεροπορικά όπλα των αμερικανικών ενόπλων δυνάμεων. Το μυστικό αυτής της επιτυχίας όπως αποδείχθηκε με το πέρασμα του χρόνου ήταν η αποφυγή του εγκλωβισμού σε κάποιες επιχειρησιακές προδιαγραφές που τα επόμενα χρόνια θα είχαν ξεπεραστεί απ' τις εξελίξεις. Αντίθετα, επρόκειτο για μία εξελικτική διαδικασία που σταδιακά ενσωμάτωσε τις διαφορετικές ανάγκες όλων των κλάδων επάνω σε μία κοινή πλατφόρμα σχεδίασης αναδεικνύοντας τρεις ξεχωριστές εκδόσεις.



Εικόνα 6.27 : Το X-35 της Lockheed Martin ήταν ο τελικός νικητής του διαγωνισμού J.S.F..



Εικόνα 6.28 : Το X-32 ήταν η σχεδιαστική πρόταση της Boeing για το J.S.F. όπου έχασε τελικά.

Έτσι, κάθε έκδοση του αεροσκάφους θα μπορεί να συμβαδίσει μ' όλες τις μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις. Σαν αεροσκάφος το J.S.F. στη σημερινή του μορφή αποτελεί το τελικό προϊόν των συμβιβασμών μεταξύ των διάφορων απαιτήσεων που είχαν προβάλει κατά καιρούς η Αεροπορία, το Ναυτικό των Η.Π.Α. και το Σώμα των Πεζοναυτών, με τελικό σκοπό να αντικαταστήσουν μια πληθώρα διάφορων τύπων μαχητικών αεροσκαφών. Το πρόγραμμα J.S.F. αναπτύχθηκε αρχικά στα πλαίσια μιας μελέτης για τη διερεύνηση της μακροπρόθεσμης πιθανότητας σχεδίασης ενός κοινού μαχητικού των U.S.A.F. και U.S.N., όπου θα γινόταν εκμετάλλευση των συμπερασμάτων απ' το κοινό πρόγραμμα του J.A.S.T. (Joint Advanced Spike Technology), ενσωματώνοντας παράλληλα την τεχνολογία που είχε αναπτυχθεί στο πρόγραμμα ανάπτυξης C.A.L.F. (Common Affordable Lightweight Fighter).

Το τελευταίο αναπτύσσονταν απ' την Αμερικανική Υπηρεσία Προηγμένων Αμυντικών Ερευνητικών Σχεδίων (DARPA) στη βάση μιας σπονδυλωτής σχεδίασης που θα μπορούσε να αντικαταστήσει στη συμβατική της έκδοση για απογείωση/προσγείωση (Conventional Take Off and Landing

– CTOL), τα F-16 της U.S.A.F. και σε μία πιο προηγμένη έκδοση βραχείας απογείωσης και κάθετης προσγειώσεως (Short Take Off and Vertical Landing – STOVL), τα AV-8B Harrier II και τα F/A-18 C/D των Πεζοναυτών χωρίς να περιλαμβάνεται η συμμετοχή του Ναυτικού. Τελικά, το C.A.L.F. και το J.A.S.T. συγχωνεύθηκαν και το 1995 το κοινό αυτό πρόγραμμα ονομάστηκε J.S.F..

Η εξέλιξη αυτή οδήγησε σ' ένα εκτεταμένο πρόγραμμα προκαταρκτικών ερευνών απ' τις υποψήφιες εταιρίες που ήταν η Lockheed Martin (L.M.), η Boeing (που κατέληξε σε συνεργασία με την Dassault για την σχεδίαση των υποσυστημάτων) κι η McDonnell Douglas, η οποία υπέγραψε μνημόνιο συνεργασίας με τις Northrop Grumman και British Aerospace.

Κατά το πρώτο αυτό στάδιο θα γινόταν η αρχική επιλογή δύο μόνο εταιριών, οι οποίες θ' αναλάμβαναν την ευθύνη ανάπτυξης δύο σχεδιάσεων η κάθε μία, μία έκδοση STOVL και μία συμβατική CTOL, η οποία στη συνέχεια θα μπορούσε να τροποποιηθεί σε μια έκδοση για το Ναυτικό για επιχειρήσεις από αεροπλανοφόρα (Carrier Variant – C.V.). Κι οι τρεις ομάδες εταιριών επέλεξαν τον κινητήρα F-119 της Pratt&Whitney (P&W) για την πρόωση των υποψήφιων σχεδίων τους, ενώ η General Electric (GE) απέσπασε ένα πόσο για ν' αναπτύξει μια πιθανή εναλλακτική πρόταση (κινητήρας F120) σε περίπτωση που παρουσιάζονταν προβλήματα με την πρώτη επιλογή. Τον Νοέμβριο του 1996 ο υπουργός άμυνας των Η.Π.Α. ανακοίνωσε ότι η L.M. με το X-35 κι η Boeing με το X-32 είχαν επιλεγεί να προχωρήσουν στο επόμενο στάδιο του προγράμματος, αυτό της επίδειξης τεχνολογίας, απορρίπτοντας έτσι την ομάδα και την υποψηφία πρόταση της McDonnell Douglas.

Τελικά μετά κι απ' αυτή την διαδικασία νικητής προέκυψε το X-35 που μετονομάστηκε σε F-35. Η αεροπορική βιομηχανία από την πλευρά της βρέθηκε μπροστά στη πρόκληση της σχεδίασης, ανάπτυξης και παραγωγής ενός μαχητικού αεροσκάφους πραγματικά πολλαπλών ρόλων, το οποίο θα μπορεί να είναι εξίσου αποτελεσματικό επιχειρησιακά είτε επιχειρώντας από το κατάστρωμα ενός αεροπλανοφόρου, είτε από μία προχωρημένη αεροπορική βάση μακριά απ' τις ανέσεις των μεγάλων διάδρομων και εγκαταστάσεων ενός μεγάλου αεροδρομίου. Ίσως η μεγαλύτερη «στροφή» απ' τον παραδοσιακό τρόπο σκέψης ανάπτυξης παρόμοιων αεροσκαφών ήταν η αποδοχή του κόστους ως μία ανεξάρτητη μεταβλητή στη θέση των παραδοσιακών κριτηρίων που έδιναν έμφαση στις κάθε μορφής επιδόσεις.

Η αντίληψη αυτή φαίνεται να παίρνει σάρκα και οστά στη σχεδίαση του F-35 που μπορεί μιν να μην αντιπροσωπεύει ένα μαχητικό, το οποίο θα επιτύχει νέα ρεκόρ ύψους ή ταχύτητας, αλλά σπωσδήποτε αντιπροσωπεύει ένα μαχητικό βασισμένο στις πραγματικές απαιτήσεις του θεάτρου επιχειρήσεων του 21^{ου} αιώνα.



Εικόνα 6.29 : Το F-35 θα παραχθεί σε 3 διαφορετικές εκδόσεις οι οποίες όμως θα έχουν κοινή δομή και συστήματα σε πολύ μεγάλο ποσοστό για ευκολότερη τεχνική υποστήριξη και χαμηλότερο κόστος.



Εικόνα 6.30 : Το X-35A ήταν το πρωτότυπο της βασικής έκδοσης της CTOL.



Εικόνα 6.31 : Το X-35C ήταν το πρωτότυπο της έκδοσης CV. Σε σχέση με το X-35A έχει μεγαλύτερη πτέρυγα και διάφορες άλλες αλλαγές, ώστε να μπορεί να επιχειρεί από αεροπλανοφόρα.

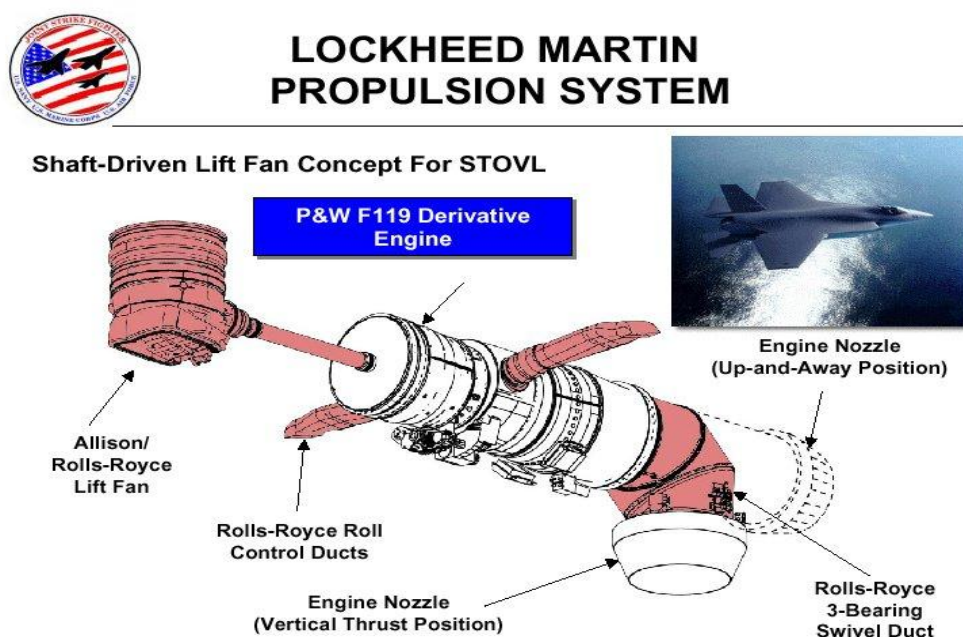
Επιπρόσθετα πρόκειται για ένα αεροσκάφος, του οποίου τόσο η κατασκευή, όσο και τα διάφορα συστήματα θα πρέπει να επιδείξουν ανθεκτικότητα σ' ένα χρονικό ορίζοντα 50 ετών παρέχοντας ευελιξία προσαρμογής στις εξελίξεις της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών που αλλάζει ριζικά σχεδόν κάθε 18 μήνες.

Σαν πρόγραμμα το J.S.F. αποτελεί το προϊόν των προσπαθειών μεταρρύθμισης στις αμυντικές προμήθειες με γνώμονα τη φιλοσοφία “επιδόσεις σε αποδεκτό κόστος”. Η προσέγγιση αυτή από μόνη της υπαγόρευε μία κοινή πλατφόρμα για όλους τους κλάδους των ενόπλων δυνάμεων με την αποδοχή της διεθνούς συνεργασίας απ’ το ξεκίνημα της προσπάθειας. Με την συρρίκνωση εξάλλου των αμυντικών δαπανών αμέσως μετά τον τερματισμό του “Ψυχρού Πολέμου”, ήταν κοινή η αντίληψη ότι πλέον δεν μπορούσαν ν’ αναπτυχθούν ξεχωριστά κι εξειδικευμένα αεροσκάφη για κάθε κλάδο, καθώς όπως είχε υπολογιστεί το κόστος των τακτικών μαχητικών αεροσκαφών τετραπλασιάζονταν σχεδόν κάθε δέκα χρόνια από το ξεκίνημα της στρατιωτικής αεροπορίας.

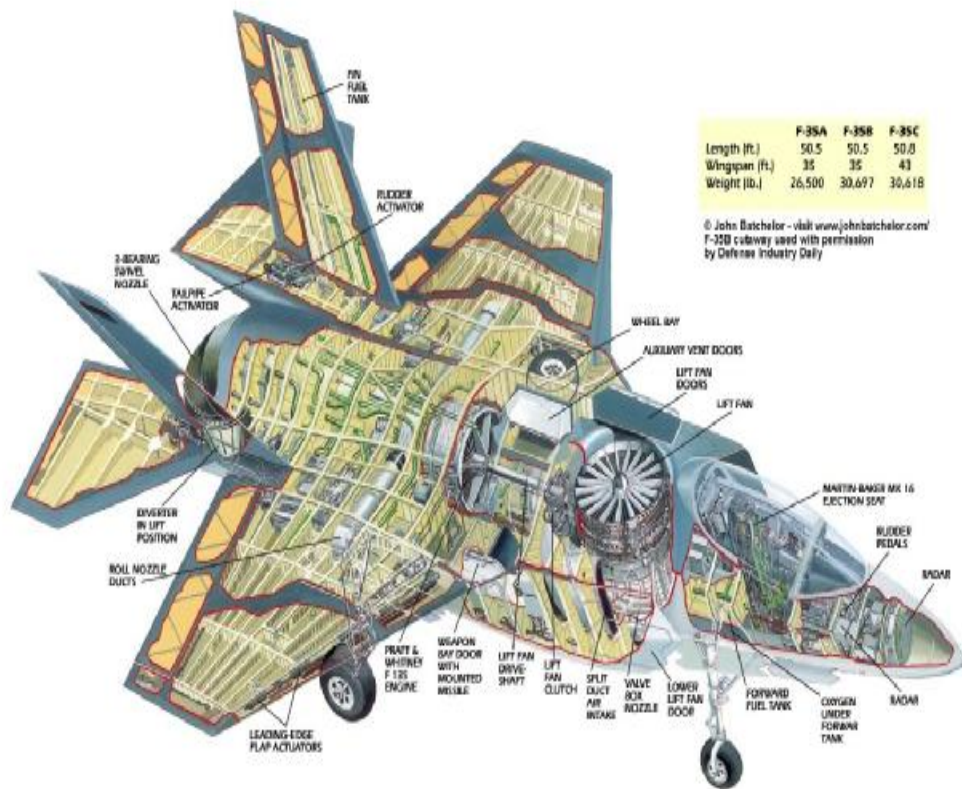
Η μεγαλύτερη ίσως πρόκληση ήταν η ανάπτυξη της φόρμουλας εκείνης πάνω στην οποία θα σχεδιάζονταν και θ’ αναπτύσσονταν ένα μαχητικό τεχνολογίας stealth 5^{ης} γενιάς που θα κάλυπτε τις ανάγκες όχι ενός, αλλά τεσσάρων ξεχωριστών αεροπορικών δυνάμεων, αν συνυπολογιστεί κι η απαίτηση της R.A.F.. Αυτή τη φορά ακολουθήθηκε μία νέα προσέγγιση όπου

το κοινό εγχειρίδιο επιχειρησιακών προδιαγραφών (JORD) επρόκειτο να τελειοποιηθεί και ν' αναδειχθεί μέσα από μία χρονοβόρα διαδικασία πέντε ετών, επιτρέποντας στις προδιαγραφές να «ωριμάσουν» με βάση τις εκτεταμένες δοκιμές προσομοίωσης και των αντίστοιχων υπολογιστικών μοντέλων παράλληλα με τις τεχνολογικές εξελίξεις και τους όποιους συμβιβασμούς στο κόστος.

Έχει ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι το J.S.F. είναι το πρώτο αεροσκάφος που θα τελειοποιηθεί σχεδιαστικά σε μία εποχή που κυριαρχεί το περιβάλλον προσομοίωσης κι αυτό γιατί κάθε αλλαγή στις προδιαγραφές μπορούσε να δοκιμάζεται στο εικονικό περιβάλλον επιχειρήσεων, γνωστό και ως VSWE. Το εικονικό αυτό περιβάλλον είναι ένα ειδικό εργαλείο με το οποίο οι υπεύθυνοι του προγράμματος αξιολογούν το πώς κάποιες επεμβάσεις στα χαρακτηριστικά μπορούσαν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα των διάφορων στρατιωτικών επιχειρήσεων.



Εικόνα 6.32 : Η εξέλιξη έκδοσης STOVL ήταν ένα απ' τα πιο δύσκολα στοιχεία του προγράμματος. Εδώ φαίνεται το σύστημα που επέλεξε η LM για το X-35. Πρόκειται για έναν ανεμιστήρα ανύψωσης οδηγούμενο από έναν άξονα συνδεδεμένο στον κινητήρα jet που έχει περιστρεφόμενο ακροφύσιο ώσης.



Εικόνα 6.33 : Το πρωτότυπο της έκδοσης STOVL, X-35B, δοκιμάζοντας το κινούμενο ακροφύσιο.



Εικόνα 6.34 : Το X-35B σε αιώρηση. Διακρίνεται το ακροφύσιο σε κατακόρυφη θέση κι ανοικτές όλες οι θυρίδες του ανεμιστήρα ανύψωσης που κανονικά κλείνουν σ' ευθεία πτήση.

Κοινή συνισταμένη του προγράμματος ήταν ότι το J.S.F. θα έπρεπε να είναι ένα αεροσκάφος με έμφαση στην τεχνολογία stealth, να έχει ικανότητα άφησης οπλών με μεγάλη ακρίβεια, να μπορεί επίσης να μοιρασθεί αποτελεσματικά πληροφορίες μάχης με τις άλλες φιλικές δυνάμεις απαιτώντας την ελάχιστη δυνατή συντήρηση και λογιστική υποστήριξη. Όλοι συμφώνησαν εξ αρχής ότι τα παραπάνω χαρακτηρίστηκα θα μπορούσαν να καλυφθούν από μία κοινή βασική κατασκευή, αφού σ' ένα πολύ μεγάλο ποσοστό οι κινητήρες, τα ηλεκτρονικά και πολλά υποσυστήματα μπορούσαν να είναι τα ίδια για την κάθε έκδοση. Συνολικά μαζί με τις απαιτήσεις των Η.Π.Α. και της Βρετανίας, το ενδιαφέρον για την προμήθεια του νέου μαχητικού από χώρες του εξωτερικού, οι οποίες θα θελήσουν να αντικαταστήσουν αεροσκάφη όπως το F-16, υπολογίζεται να ανεβάσει μακροπρόθεσμα τον κατάλογο πλύσεων του F-35 σε περίπου 6.000 αεροσκάφη.

Η U.S.A.F., ο μεγαλύτερος πελάτης του προγράμματος υπολογίζει να προμηθευτεί 1.763 μονάδες της έκδοσης F-35A (CTOL) προκειμένου να αντικαταστήσει τα F-16 και τα A-10 στο προσεχές μέλλον. Η κίνηση αυτή σημαίνει ότι μέχρι το έτος 2025, η δύναμη της U.S.A.F. σε μαχητικά θα αποτελείται σχεδόν στο σύνολο της από αεροσκάφη τεχνολογίας stealth. Βασική απαίτηση ήταν το αεροσκάφος να διαθέτει παρόμοιες επιδόσεις με αυτές του F-16 και χαρακτηριστικά stealth, ώστε να μπορεί ν' ανταποκριθεί σε απειλές μετά το 2010, να μεταφέρει βλήματα αέρος-αέρος γι' αυτοπροστασία και να μπορεί να κάνει αφέσεις ακριβείας διατρητικών βομβών της κατηγορίας των 2.000 lbs. Το Ναυτικό των Η.Π.Α. (U.S.N.) σχεδιάζει την αγορά 480 F-35C (CV), αντικαθιστώντας σταδιακά τα δικά του F/A-18 C/D. Το Σώμα των Πεζοναυτών (U.S.M.C.) προγραμματίζει την αγορά 609 αεροσκαφών της έκδοσης F-35B (STOVL), με τα οποία θα αντικαταστήσει τα F/A-18 C/D και τα AV-8B Harrier που διαθέτει.

Μάλιστα η συγκεκριμένη έκδοση του αεροσκάφους (F-35B) θα είναι το βαρύτερο μονοκινητήριο μαχητικό στον κόσμο, ζυγίζοντας χωρίς καύσιμο περίπου 31.000 lbs (14 tn). Η R.A.F. και το Βρετανικό Ναυτικό (R.N.) μετά απ' την πρόσφατη αναθεώρηση της φιλοσοφίας για τις σύγχρονες αεροπορικές επιχειρήσεις, σκοπεύουν να προμηθευτούν περίπου 150 αεροσκάφη F-35B που θ' αντικαταστήσουν τα Harrier GR.7 και τα Sea Harrier. Αρχικά μόνο το Βρετανικό Ναυτικό είχε ενεργό συμμετοχή στο πρόγραμμα, αλλά με τα νέα

δεδομένα τα' αεροσκάφη και των δύο κλάδων θα επιχειρούν από κοινού σαν μία μικτή δύναμη από πλοία και βάσεις ξηράς.

6.4.2 F-35 : Η τελική σχεδίαση

Παρατηρώντας το X-35 στις τελευταίες αεροπορικές εκθέσεις σε μορφή ομοιώματος κανονικής κλίμακας, θα έλεγε κανείς ότι πρόκειται για μία συμβατική σχεδιαστική προσέγγιση η οποία σε αρκετά σημεία θυμίζει το μεγαλύτερο F-22. Το Σεπτέμβριο του 1999 παρουσιάστηκε η τελική διαμόρφωση του αεροσκάφους X-35, η οποία διέθετε επανασχεδιασμένο ακροφύσιο του αντωτικού (ανυψωτικού) ανεμιστήρα της έκδοσης STOVL. Έτσι στην τελική αυτή μορφή του, το αεροσκάφος διαθέτει πτερυγική επιφάνεια 42,7 m² για τις εκδόσεις CTOL/STOVL και επιφάνεια 57, m² για το μεγαλύτερο C.V..

Το άνοιγμα των πτερυγίων για τις πρώτες εκδόσεις ανέρχεται στα 10,7 μέτρα και για την έκδοση αεροπλανοφόρου στα 13,1 m ή στα 9,13 m με αναδίπλωση των πτερυγίων και οι τρεις εκδόσεις θα έχουν το ίδιο μήκος ατράκτου (15,45 m). Μεταξύ των τελευταίων μικροεπεμβάσεων που οδήγησαν στην ολική διαμόρφωση του αεροσκάφους ήταν οι περιοχές εκείνες του εσωτερικού διαμερίσματος οπλισμού και των θυρίδων του συστήματος προσγείωσης, όπως κι η ενίσχυση της καλύπτρας για ανθεκτικότητα σε προσκρούσεις με πτηνά βάρους τουλάχιστον 2,27 kg.

Η βασική διαμόρφωση της ατράκτου του F-35 είναι συμβατική, βασιζόμενη στις γραμμές του F-22, με τραπεζοειδή διάταξη πτερυγίων όπου χρησιμοποιείται η ίδια γωνία οπισθοκλίσης για τις οριζόντιες επιφάνειες των χειλών προσβολής κι εκφυγής. Το ουραίο τμήμα χρησιμοποιεί δύο κεκλιμένα σταθερά πτερύγια, ενώ οι αεραγωγοί είναι πλευρικά τοποθετημένοι στην άτρακτο τροφοδοτώντας με αέρα έναν κινητήρα που αποτελεί παραλλαγή του F-119 (ονομάζεται F-135) με αξονικά συμμετρικό ακροφύσιο. Τόσο οι αεραγωγοί που δεν διαθέτουν σχισμές ελέγχου του οριακού στρώματος ή διαφράγματα λόγω τεχνολογίας stealth, όσο και δύο παραλλαγές ακροφυσίων που παρέχουν χαμηλό ίχνος εκπομπής υπερύθρων, γνωστά σαν LOAN , έχουν ήδη δοκιμαστεί σε αεροσκάφη F-16. Μάλιστα το πρόγραμμα δοκιμής

των αεραγωγών εντάχθηκε σ' ένα "μαύρο πρόγραμμα" του Skunk Works, το οποίο δοκιμάστηκε αποτελεσματικά επάνω σε ένα F-16 σε ταχύτητες πλεύσης μέχρι και 2 Mach. Επίσης και οι τρεις εκδόσεις θα διαθέτουν ίδιου μεγέθους εσωτερικά διαμερίσματα μεταφοράς οπλισμού.

Όσον αφορά την τεχνολογία stealth, ο περιορισμός του ανακλώμενου ίχνους στα ραντάρ, της υπέρυθρης εκπομπής, των ακουστικών συχνοτήτων και των ράδιο-συχνοτήτων, ήταν εξαρχής ένα απ' τα πιο ευαίσθητα κεφαλαία για την επιβίωση ενός αεροσκάφους στο θέρετρο επιχειρήσεων του 21^{ου} αιώνα και για το λόγο αυτό θα παίξει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της δράσης του F-35. Καθώς η τεχνολογία stealth συνεχίζει να εξελίσσεται, η ανθεκτικότητα των υλικών και των επιφανειών επικάλυψης που θα υιοθετηθούν πρόκειται να είναι αρκετά βελτιωμένη στην περίπτωση του F-35 αποδίδοντας μεγάλη έμφαση στην ευκολία συντήρησης τους.

Το U.S.N. φαίνεται να έχει τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σ' αυτόν τον τομέα, καθώς επιθυμεί να έχει την ικανότητα διείσδυσης των αεροσκαφών του στις πιο οργανωμένες αεράμυνες απ' την πρώτη ημέρα των επιχειρήσεων με την ελάχιστη δυνατή υποστήριξη. Η U.S.A.F., η οποία θα διαθέτει αεροσκάφη όπως τα B2, F-117 και F-22, εμφανίζεται λιγότερο απαιτητική στα παραπάνω κριτήρια. Απ' την άλλη πλευρά οι Πεζοναύτες, των οποίων η πρωτεύουσα αποστολή θα είναι η εγγύς αεροπορική υποστήριξη υπό συνθήκες όψεως με χρήση εξωτερικών οπλικών φορτίων, αποδίδουν το μικρότερο ενδιαφέρον για την παραπάνω περίπτωση. Η βασική απαίτηση πάντως είναι για μεταφορά δύο βομβών JDAM και δυο πυραύλων AIM – 120C εσωτερικά της ατράκτου.

Όταν είναι αναγκαίο περισσότερο οπλικό φορτίο θα μπορεί να μεταφέρεται σε εξωτερικούς πυλώνες κάτω απ' την πτέρυγα, μειώνοντας όμως τα χαρακτηριστικά stealth.

6.4.3 Αισθητήρες και ηλεκτρονικά συστήματα

Το μεγάλο τεχνολογικό άλμα στην προκειμένη περίπτωση εντοπίζεται στην κατάργηση των διαχωριστικών γραμμών μεταξύ των αισθητήρων

ραντάρ, απεικόνισης υπερύθρων, συστημάτων ηλεκτρονικού πολέμου κι επικοινωνιών. Πρακτικά αυτό μεταφράζεται στο ότι οι ενεργές διατάξεις ηλεκτρονικής σάρωσης (Active Electronic Scanning Array) που θα καλύπτουν τις παραδοσιακές λειτουργίες ενός ραντάρ μαχητικού για έρευνα και ιχνηλάτηση, θα μπορούν την ίδια στιγμή να χρησιμοποιούνται σαν σύστημα ενεργού παρεμβολής και συλλογής ηλεκτρονικών πληροφοριών για επικοινωνίες και διάφορες άλλες λειτουργίες .

Στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος βρίσκονται το ραντάρ APG-81 τύπου AESA , το οποίο περιλαμβάνει μεταξύ άλλων λειτουργίες συνθετικού διαφράγματος κι ηλεκτρονικού πολέμου, το σύστημα υπερύθρων κατανεμημένων διαφραγμάτων, όπως και το σύστημα απεικόνισης/στοχοποίησης επί κάσκας H.M.D. (Head Mounted Display) των εταιριών Kaiser/VSI. Για την ανάπτυξη των παραπάνω συστημάτων, η Northrop Grumman (N.G.) χρησιμοποίησε ως βάση τις τεχνολογίες που έχει υιοθετήσει επάνω στα F-22, F-16, J-STARS, καθώς και στα ελικόπτερα Apache Longbow και Comanche. Αρκετές απ' τις επιμέρους δυνατότητες του F-35 μπορεί μεν να τις συναντήσει κανείς πάνω στα προαναφερόμενα αεροσκάφη, όμως για πρώτη φορά θα συγκεντρωθούν και θα ενοποιηθούν σε μία κοινή πλατφόρμα. Έτσι ένας αριθμός δύο ή τεσσάρων F-35 που θα επιχειρούν σε συνεργασία μεταξύ τους, θα είναι σε θέση να φέρουν πολλαπλάσια αποτελέσματα απ' το να επιχειρούν αυτόνομα. Ανοίγονται έτσι νέοι ορίζοντες.



Εικόνα 6.35 : Το ραντάρ APG-81 τεχνολογίας AESA που θα εξοπλίσει το F-35.

Και στο χώρο των τακτικών, οι οποίες σε μια δεκαετία θα έχουν διαφοροποιηθεί ριζικά, καθώς οι πληροφορίες των αισθητήρων και η γενικότερη αρχιτεκτονική απεικόνισης των πληροφοριών ανοίγουν μία καινούρια εποχή για τους χειριστές της νέας γενιάς. Η νέα γενιά ραντάρ ηλεκτρονικής σάρωσης που θα φέρει το F-35, πρόκειται να αναλάβει μια σειρά από ρόλους που κανείς δεν θα μπορούσε να φανταστεί πριν από μία δεκαετία.

Την καρδιά ενός τέτοιου συστήματος αποτελούν οι ενεργές διατάξεις σάρωσης που αποτελούνται από εκατοντάδες στοιχειά δέκτη/πομπού. Για παράδειγμα, το ραντάρ του F-22 που σήμερα πλέον θεωρείται μια γενιά πίσω, διαθέτει περίπου 2000 τέτοια στοιχειά που του δίνουν εμβέλεια περίπου 125 μίλια και την δυνατότητα ν' ανανεώνει τη σάρωση ενός στόχου πολλές φορές μέσα σ' ένα δευτερόλεπτο, παρέχοντας έτσι πολύ ακριβή στοιχειά γι' αυτόν. Το ραντάρ του F-35 θα χρησιμεύει σαν αισθητήρας E.S.M. αναλύοντας και αναγνωρίζοντας τις ηλεκτρονικές εκπομπές μιας απειλής, όπως τα ραντάρ που καθοδηγούν πυραύλους εδάφους-αέρος ή αέρος-αέρος, θα μπορεί να συλλάβει ακόμα και τα' ασθενή σήματα σ' ένα ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων, ενώ ταυτόχρονα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή παραγωγής ηλεκτρονικών αντιμέτρων παρεμβάλλοντας αντίπαλα ραντάρ κι επικοινωνίες.

Αν κι οι ακριβείς επιδόσεις του APG-81 δεν έχουν αποκαλυφθεί, υποστηρίζεται ότι θα μπορεί να αποκαλύψει στόχους στα 90 μίλια, καθώς η κεραία του θα είναι μικρότερη από αυτή του F-22.

Το F-35 θα διαθέτει ένα κεντρικό σύστημα, όπου οι περισσότερες λειτουργίες των ηλεκτρονικών, όπως για παράδειγμα η διαχείριση της αποστολής κι η επεξεργασία των σημάτων θα γίνονται από έναν ενοποιημένο επεξεργαστή, τον I.C.P. που θ' αποτελεί τον πυρήνα των λειτουργιών αυτών. Οι αισθητήρες του αεροσκάφους θ' αποτελούν διαφράγματα, τα οποία θα λειτουργούν σαν περιφερειακά συστήματα του I.C.P., όπου όλες οι πληροφορίες απ' τους ενσωματωμένους αυτούς αισθητήρες, αλλά και τα στοιχειά που θα λαμβάνονται από άλλες πλατφόρμες θα ενοποιούνται πριν φτάσουν στο στάδιο της απεικόνισης στον χειριστή.

Υπό εξέλιξη επίσης βρίσκεται ένα σύστημα ευρείας ζώνης ραδιοσυχνοτήτων που θα χρησιμοποιεί εξελεγμένα στοιχειά από κεραίες, μειώνοντας τον αριθμό των διαφραγμάτων απ' τα 60 που χρησιμοποιεί

σήμερα η τεχνολογία του F-22 στα 20. Ο τελικός σκοπός εδώ είναι να συνδυαστεί ο εξοπλισμός του ραντάρ και των συστημάτων ηλεκτρονικού πολέμου σ' ένα περιβάλλον ανοιχτής αρχιτεκτονικής ραδιοσυχνοτήτων RF. Μερικές απ' αυτές τις κεραίες πρόκειται να είναι του τύπου "έξυπνης επιφάνειας", καθώς θα προσαρμοσθούν απ' ευθείας στις διάφορες επιφάνειες του αεροσκάφους αντί σε ειδικές κοιλότητες ως συνήθως.

Εκτός όμως απ' τα συστήματα ραδιοσυχνοτήτων, έμφαση πρόκειται να δοθεί και στον ηλεκτροπτικό εξοπλισμό. Ένα ηλεκτροπτικό διάφραγμα που θα εγκατασταθεί στο κάτω μέρος του ρύγχους του αεροσκάφους, θα καλύπτει το εμπρόσθιο ημισφαίριο και θα χρησιμοποιείται για στοχοποίηση, ενώ μια σειρά από μικρότερες διατάξεις θα παρέχει κάλυψη σε όλο σχεδόν τον περιβάλλοντα χώρο του αεροσκάφους ανιχνεύοντας στόχους ή απειλές.

Όσον αφορά το πιλοτήριο του F-35, η μεγάλη καινοτομία είναι ότι οι οθόνες απεικόνισης έχουν εξελιχθεί επάνω στη βάση της χρήσης συστημάτων απεικόνισης H.M.D. με ευρύ οπτικό πεδίο επί της κάσκας του χειριστή, τα οποία θα μπορούν ν' απεικονίζουν διάφορες πληροφορίες. Έτσι τα συστήματα H.U.D. περνούν σε δευτερεύοντα ρόλο, ειδικά στις περιπτώσεις που δεν θα υπάρχει πυροβόλο στο αεροσκάφος. Το «φιλτράρισμα» των πληροφοριών θα είναι τέτοιο, ώστε κάθε δεδομένο θα κατηγοριοποιείται και θα παρουσιάζεται στο χειριστή ανάλογα με την προτεραιότητα που έχει δοθεί. Για παράδειγμα, από ένα περιβάλλον επιχειρήσεων θ' απομακρύνεται η παρουσίαση της κίνησης ελικοπτέρων αν το F-35 πετά σε μεγάλο ύψος, όπου η απειλή απ' τα ελικόπτερα θα είναι πρακτικά ανύπαρκτη.

Επιπλέον οι αισθητήρες του αεροσκάφους θα είναι πολύ πιο εύκολοι ως προς τον έλεγχο τους συγκριτικά με τα συστήματα των σημερινών μαχητικών. Ο τρόπος διάταξης των οργάνων στο πιλοτήριο θα είναι η εγκατάσταση δύο μεγάλων οθονών διαστάσεων 8 x 10 in πλάι-πλάι, οι οποίες θα παρέχουν μία οριζόντια επιφάνεια απεικόνισης 20 in. Η ανάλυση των οθονών αυτών είναι της τάξης των 1.024 x 2.560 pixels με προοπτική να φτάσουν τα 1.200 x 3.200 pixels. Μία καινοτομία στον τρόπο ελέγχου των οθονών θα είναι η χρήση αφής και φωνητικών εντολών. Σε μία τυπική αποστολή η συνηθισμένη διαμόρφωση αναμένεται να είναι τέτοια, ώστε η μία κύρια οθόνη να προβάλλει την τακτική κατάσταση απεικονίζοντας τη θέση του αεροσκάφους, τη διαδρομή που θα ακολουθήσει με τα σημεία αναφοράς,

καθώς και κάποια προτεινόμενα ίχνη τα οποία θα έχουν προέλθει απ' την επεξεργασία δεδομένων των αισθητήρων εντός κι εκτός του αεροσκάφους, όπου πάνω σ' έναν ψηφιακό χάρτη θα σημειώνονται οι απειλές, οι φιλικές δυνάμεις και οι στόχοι με άγνωστη ταυτότητα. Στην ίδια οθόνη θα σημειώνεται ο φάκελος άφησης μιας βόμβας τύπου JDAM.

Γενικότερα ο τρόπος απεικόνισης τέτοιου είδους πληροφοριών θα βοηθά τον χειριστή στο να κάνει την επιλογή του βέλτιστου όπλου κάθε φορά. Κάποιες κρίσιμες πληροφορίες σε μορφή κειμένου θα απεικονίζονται στο περιθώριο της κάθε οθόνης, ενώ ειδικές ετικέτες αναγνώρισης θα συνοδεύουν τις πληροφορίες για τον κάθε στόχο και κάποια δεδομένα ναυτιλίας. Στην πλαϊνή οθόνη όπου η διαμόρφωση θα είναι με τέσσερις ξεχωριστές απεικονίσεις του ενός τετάρτου, μία βασική ένδειξη πλέον θα είναι η απεικόνιση συνθετικού διαφράγματος (S.A.R.) του ραντάρ, όπου η ποιότητα απ' την περιοχή ενδιαφέροντος θα προσεγγίζει τη φωτογραφική ανάλυση.

Το σημαντικό στοιχείο είναι ότι αυτές οι απεικονίσεις θα μπορούν να συλλαμβάνονται από μακριά βοηθώντας στη βελτίωση της επίγνωσης της κατάστασης του χειριστή και στην προετοιμασία της στοχοποίησης με οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες, ενώ μία σειρά από ίχνη ενδιαφέροντος που θα έχουν προέλθει απ' την ενοποίηση δεδομένων διαφορετικών αισθητήρων, θα μπορούν να εμφανίζονται μέσα σ' αυτή την απεικόνιση. Στο άλλο τέταρτο της οθόνης θα απεικονίζεται η εικόνα από το FLIR στοχοποίησης, το οποίο θα βοηθά τον χειριστή στο ν' αναγνωρίζει στόχους στο έδαφος και στον αέρα. Το σύστημα θα λειτουργεί όπως μία ασπρόμαυρη τηλεόραση με δυνατότητα λειτουργίας μεγέθυνσης, ειδικά κατά τη νύχτα και με συνθήκες περιορισμένης ορατότητας.

Στην απεικόνιση αυτή θα προβάλλονται επίσης κι άλλες πληροφορίες όπως το ίχνος μιας πομπής οχημάτων. Σε μία άλλη πλευρά της οθόνης θα προβάλλεται η κατάσταση των δεδομένων επίθεσης, συμπληρώνοντας την κύρια διπλανή οθόνη, καθώς σ' αυτήν θ' απεικονίζονται μονό τα ίχνη των στόχων που πρόκειται να στοχοποιηθούν επιτρέποντας στο χειριστή να έχει μία πιο ξεκάθαρη εικόνα χωρίς τα επιπλέον δεδομένα απ' το εδαφικό πεδίο που περιλαμβάνει η κύρια απεικόνιση.



Εικόνα 6.36 : Πρόπλασμα της προτεινόμενης εκδοχής για το πιλοτήριο του J.S.F..

6.4.4 Το μέλλον του προγράμματος

Από εδώ και στο εξής η L.M. ξεκινά τη φάση σχεδίασης συστημάτων και ανάπτυξης, η οποία ονομάστηκε S.D.D. (αντί του συνηθισμένου E.M.D.), με διάρκεια που υπολογίζεται σε 126 μήνες και θα περιλαμβάνει ένα πολύ εντατικό πρόγραμμα δοκιμών και εξέλιξης. Στα πλαίσια αυτά θα παραχθούν 21 αεροσκάφη, 7 για στατικές δοκιμές και 14 για πτητική αξιολόγηση κι από τις τρεις εκδόσεις. Η πρώτη πτήση των αεροσκαφών που θα προέλθουν από τη φάση S.D.D. υπολογιζόταν το 2006, με την συμβατική έκδοση F-35 A να πετά πρώτα για ν' ακολουθήσουν στη συνέχεια οι υπόλοιπες δύο.

Η αμερικανική κυβέρνηση αποφάσισε ν' αφήσει διάφορες χώρες που ενδιαφέρονται ν' αποκτήσουν το αεροσκάφος, να εισχωρήσουν στο πρόγραμμα παραγωγής δίνοντας τους υποκατασκευαστικό έργο. Κάθε χώρα ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής που θα έχει στο πρόγραμμα, θα πρέπει να συνεισφέρει κι ένα ανάλογο πόσο χρημάτων στην ανάπτυξη του αεροσκάφους και των τεχνολογιών του. Έχουν οριστεί 3 διακριτά επίπεδα συμμετοχής. Οι χώρες που τελικά θα συμμετέχουν είναι η Βρετανία (που έχει και την μεγαλύτερη συμμετοχή με 8% απολαμβάνοντας ειδικά προνόμια), η

Ολλανδία, η Νορβηγία, η Δανία, η Ιταλία, ο Καναδάς, η Τουρκία και η Σιγκαπούρη . Επίσης ενδιαφέρον έχουν εκδηλώσει η Αυστραλία, το Βέλγιο, η Γερμανία, η Ιαπωνία, η Πολωνία και η Ισπανία. Η παραγωγή αναμένεται να ξεκινήσει στα τέλη του 2006 περιλαμβάνοντας 456 αεροσκάφη. Η U.S.A.F. και οι Πεζοναύτες θα παραλάβουν τα πρώτα αεροσκάφη το 2008, με τις εκδόσεις του Ναυτικού και της Βρετανίας να ακολουθούν το 2010. Η επίσημη επιχειρησιακή ένταξη του αεροσκάφους θα ξεκινήσει πρώτα από την έκδοση των Πεζοναυτών (F-35B) το 2010, της U.S.A.F. (F-35A) το 2011 και του Ναυτικού (F-35C) το 2012, ενώ οι άλλες συμμετέχουσες χώρες θα ακολουθήσουν από το 2013 και μετά .

Σε ό,τι αφορά το κόστος, με βάση τιμές του 1994, υπολογίζονταν ότι η τιμή ανά μονάδα για την συμβατική έκδοση της U.S.A.F. θα έπρεπε να είναι 28 εκατ. δολάρια για την έκδοση CV του Ναυτικού 38 εκατ. δολάρια και για την έκδοση STOVL 30-35 εκατ. δολάρια. Φυσικά οι τιμές αυτές αναμένεται ν' αλλάξουν κατά πολύ, αλλά η γενική εκτίμηση είναι ότι η τιμή της βασικής έκδοσης F-35A αναμένεται να είναι λίγο ακριβότερη από ένα F-16 τελευταίας γενιάς, δηλαδή περίπου 60-70 εκατ. δολάρια. Το F-35 αναμένεται να είναι διαθέσιμο για εξαγωγές σ' άλλες χώρες που δεν συμμετέχουν στο πρόγραμμα απ' την αρχή από το 2016 και μετά.

7.ΑΝΤΙΜΕΤΡΑ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ STEALTH

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Παρά τις μέχρι τώρα εντυπωσιακές προόδους της τεχνολογίας stealth, είναι απόλυτα σαφές ότι κανένα αεροσκάφος μέχρι σήμερα δεν είναι εντελώς «αόρατο» στα ραντάρ. Μπορούν να παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλό ίχνος, όμως σε καμία περίπτωση αυτό δεν είναι μηδενικό. Μάλιστα σε πάρα πολλές περιπτώσεις έχουν αναφερθεί περιστατικά εντοπισμού F-117 ή B-2 από διάφορα ραντάρ πολλών χωρών, με σημαντικότερο απ' αυτά την κατάρριψη ενός F-117 απ' την σερβική αεράμυνα το 1999. Το δύσκολο σημείο είναι η διατήρηση της επαφής αυτής για αρκετό χρονικό διάστημα, ώστε να ιχνηλατηθεί ο στόχος και τελικά να εγκλωβιστεί απ' τα συστήματα αεράμυνας.

Η κύρια τεχνολογική απειλή εναντίον των σύγχρονων αεροσκαφών stealth των Η.Π.Α. εκτιμάται πάντως ότι θα προέλθει απ' την ανάπτυξη εξειδικευμένων αντι-stealth αντιαεροπορικών συστημάτων. Για πρώτη φορά επίσης, γίνεται γνωστό ότι κάποιες εκδόσεις των βλημάτων S-300 διαθέτουν δυνατότητες αντι-stealth, γι' αυτό κι είναι έκδηλη η ανησυχία των αμερικανών σε ότι αφορά τις πωλήσεις του συγκεκριμένου αντιαεροπορικού συστήματος. Μέχρι τώρα έχουν εμφανιστεί αρκετοί τρόποι εντοπισμού ενός τέτοιου αεροσκάφους. Παρακάτω θ' αναλυθούν σχολαστικά οι κυριότεροι απ' αυτούς.

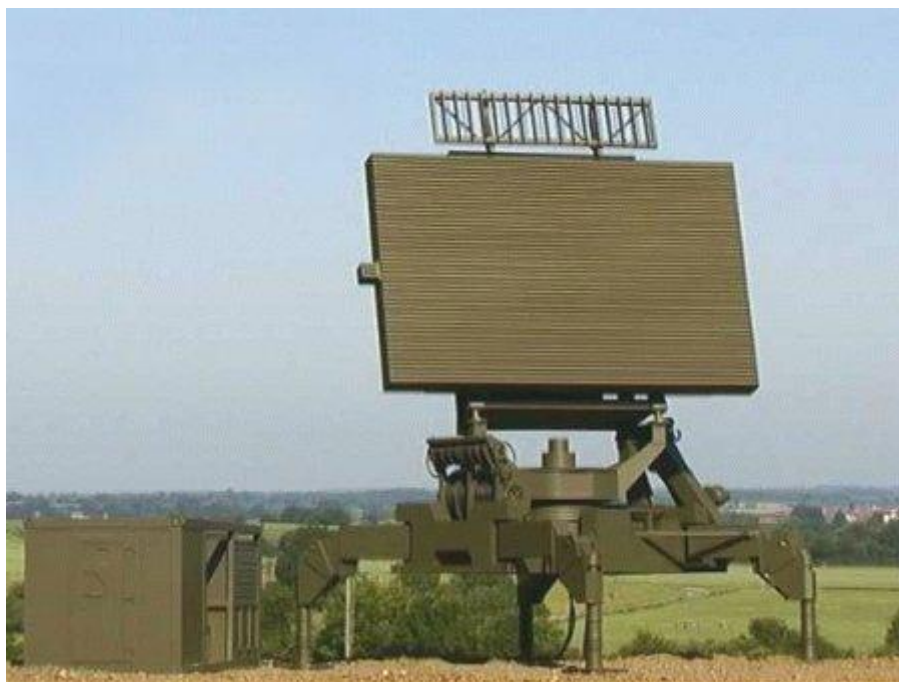
7.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΡΑΝΤΑΡ

Η πρώτη λύση έναντι του μειωμένου ηλεκτρομαγνητικού ίχνους του στόχου που έρχεται στη σκέψη, είναι φυσικά η αύξηση της ισχύος εκπομπής των ραντάρ με παράλληλη αύξηση της ευαισθησίας του δέκτη.

Τα προβλήματα όμως μετά από μια τέτοια κίνηση είναι ακόμα πιο προφανή. Αύξηση της ισχύος σημαίνει αύξηση κόστους, βάρους και όγκου, καθώς και μείωση της κινητικότητας, ενώ το ραντάρ θα είναι ιδιαίτερα διακριτό στους δέκτες των αεροσκαφών καταστολής αεράμυνας.

Επίσης, αύξηση της ευαισθησίας του δέκτη σημαίνει περισσότερο εισερχόμενο θόρυβο, οπότε απαιτείται αύξηση των κυκλωμάτων φιλτραρίσματος, ανώτερα ηλεκτρονικά (με μεγαλύτερες πιθανότητες βλάβης), επιπλέον λογισμικό και αύξηση κόστους. Αντί λοιπόν ν' ακολουθηθεί αυτός ο δρόμος, προτιμήθηκε η μελέτη εναλλακτικών τρόπων λειτουργίας των ραντάρ. Για παράδειγμα, οι υψηλές ταχύτητες σάρωσης μίας κεραίας ηλεκτρονικής σάρωσης, διάταξης φάσης (όπως του αερομεταφερόμενου ραντάρ ERIEYE ή του RBE2 του Rafale), καθιστούν δυνατή την εκτενή κι έγκαιρη αντίληψη σημάτων στάθμης χαμηλότερης αυτής που' χει οριστεί ως βασική για στόχο και την άμεση ανάλυση μετά τον τερματισμό της συγκεκριμένης σάρωσης. Η Ericsson Microwave Systems έχει χρησιμοποιήσει την τεχνολογία αυτή και στο ραντάρ 3D Giraffe ABM (Agile Multibeam), ραντάρ που σε απλούστερη μορφή χρησιμοποιείται κι απ' το αντιαεροπορικό σύστημα "Βέλος" της πολεμικής αεροπορίας.

Αυτό μπορεί να εντοπίσει στόχους R.C.S. 0,1 m² σε απόσταση 1/3 της μέγιστης, ενσωματώνοντας όμως λειτουργία καταγραφής και ιχνηλάτησης με βάση κάποια εκτεταμένη τράπεζα δεδομένων. Η αρχή λειτουργίας τέτοιων συστημάτων βασίζεται σε ιδιαίτερα εξελιγμένους αλγόριθμους που επιτρέπουν την ιχνηλάτηση πριν απ' τον εντοπισμό πιθανών στόχων, μία τεχνολογία που πρωτοεμφανίστηκε στα ραντάρ αεροσκαφών. Αυτό καθορίζει πως όλοι οι πιθανοί στόχοι παρακολουθούνται έως ότου διαπιστωθεί πως συμπεριφέρονται σαν τέτοιοι, οπότε κι αυτομάτως κατηγοριοποιούνται.



Εικόνα 7.1 : Ραντάρ TRS-22X της Thomson-CSF με κεραία ηλεκτρονικής σάρωσης, διάταξης φάσης.

7.3 ΡΑΝΤΑΡ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Η μεγαλύτερη ίσως απειλή για τ' αεροσκάφη stealth, φέρεται ότι είναι σήμερα τα ραντάρ έγκαιρης προειδοποίησης χαμηλών συχνοτήτων. Στα ραντάρ αυτά όπου το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο απ' αυτό του αεροσκάφους, η ανάκλαση των κυμάτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας πραγματοποιείται ανεξάρτητα απ' το αν πρόκειται σχεδίαση με χαρακτηριστικά stealth ή όχι. Το ίχνος R.C.S. ενός αεροσκάφους παρουσιάζει διακύμανση ανάλογα με την συχνότητα εκπομπής ενός ραντάρ και συχνά είναι ανεξάρτητο απ' το μέγεθος του αεροσκάφους. Το σήμα ενός τέτοιου ραντάρ συμπεριφέρεται κατά τέτοιο τρόπο που συχνά δεν επηρεάζεται απ' το σχήμα stealth και μπορεί να προκαλέσει ανάκλαση από μία επιφάνεια του αεροσκάφους, όπως για παράδειγμα το ακροπτερύγιο ή ένα πτερύγιο καμπυλότητας.

Η έκθεση αυτή στα ραντάρ χαμηλών συχνοτήτων συνδέεται συχνά με το φαινόμενο του μισού μήκους κύματος, όπου αν μία αντανakλούσα επιφάνεια στο αεροσκάφος έχει ακριβώς το μισό απ' το μήκος κύματος του

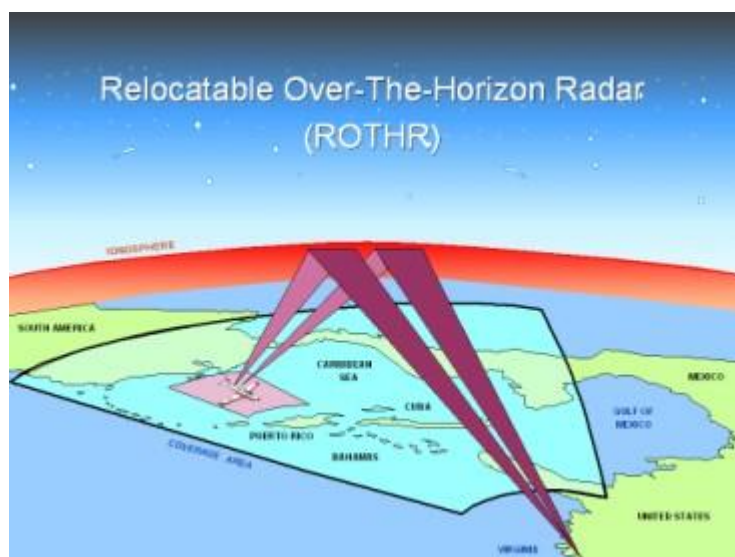
εισερχόμενου προς αυτήν σήματος ραντάρ, η ανάκλαση που θα προκύψει μπορεί να οδηγήσει στην αποκάλυψη του αεροσκάφους. Για τον λόγο αυτόν τελευταία, έχει αναθεωρηθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό το ενδιαφέρον γύρω απ' τα ραντάρ χαμηλών συχνοτήτων σαν μέσα αντι-stealth που θα λειτουργούν σε συνδυασμό με αντιαεροπορικές συστοιχίες.

Ένας τρόπος υποβάθμισης της επίδρασης της τεχνολογίας απόκρυψης ηλεκτρομαγνητικού ίχνους είναι η χρήση ραντάρ που λειτουργούν στα UHF και VHF. Τα περισσότερα δυτικά ραντάρ μακράς ακτίνας έρευνας λειτουργούν μεταξύ της ζώνης συχνοτήτων D και F, ενώ τα ρωσικά και τα κινέζικα από A έως C. Το θέμα προέκυψε ύστερα απ' την έντονη φημολογία ότι κατά τον πόλεμο του Κόλπου, το ραντάρ ενός παλαιού αντιτορπιλικού του βασιλικού ναυτικού εντόπισε επανειλημμένα μερικά F-117 πάνω από θάλασσα και στεριά. Το ραντάρ είναι ένα πετपालιωμένο Marconi 965 που λειτουργεί στις μπάντες A ή B. Παρ' όλα αυτά, η αμερικανική αεροπορία δε δέχεται πως τέτοια ραντάρ μπορούν να εντοπίσουν αξιόπιστα κι έγκαιρα το F-117 ή B-2.

Αξίζει πάντως να σημειωθεί πως στην παγκόσμια αγορά υπάρχουν ρωσικά συστήματα VHF που υποστηρίζονται απ' τους κατασκευαστές τους πως έχουν ικανοποιητική απόδοση εναντίον στόχων stealth. Τα κύματα μεγαλύτερου μήκους μπορούν ν' αντιμετωπίσουν δύο παραμέτρους της τεχνολογίας απόκρυψης: α) τα υλικά R.A.M. και β) τη μορφοποίηση του αεροσκάφους. Όταν το μήκος κύματος είναι κοντινό στη φυσική διάσταση του σώματος που ακτινοβολείται, μπορεί να δημιουργηθεί συντονισμός μεταξύ των απευθείας ανακλάσεων και των άλλων κυμάτων που διατρέχουν το σώμα δημιουργώντας ισχυρές ανακλάσεις. Για παράδειγμα, τα παλαιά τεράστια ρωσικά ραντάρ "Tall King" εκπέμπουν μεταξύ συχνοτήτων 160-180 MHz, δηλαδή σε μήκη κύματος 165-190 cm, όπου οι δευτερεύουσες πτερυγικές επιφάνειες μπορεί να οδηγήσουν σε συντονισμό. Με την ίδια λογική, τα ραντάρ που εκπέμπουν σε μήκη κύματος 30 m (όπως αυτά του τύπου O.T.H.-Over The Horizon), μπορούν ν' ανιχνεύσουν ολόκληρο αεροσκάφος ανεξάρτητα απ' τα υλικά και τη μορφοποίησή του. Η απάντηση των σχεδιαστών είναι να εξαλείψουν τα τμήματα εκείνα που μπορεί να προκαλέσουν συντονισμό. Μοναδικό παράδειγμα είναι το B-2 του οποίου η μικρότερη διάσταση είναι 20 m, οπότε τα μοναδικά ραντάρ που το εντοπίζουν θεωρητικά είναι τα O.T.H..

Άλλη μια τεχνική είναι η μορφοποίηση της εξωτερικής σχεδίασης του αεροσκάφους σαν ισοτροπικού διασκορπιστή όπως ένας δίσκος ή μία σφαίρα, κάτι που εξηγεί εν μέρει και την ομαλή όψη της ατράκτου των B-2 και F-22 που διασκορπίζει την ακτινοβολία εξίσου προς όλες τις κατευθύνσεις χωρίς να εμφανίζονται κροσσοί συμβολής ή συντονισμοί. Το πρόβλημα με τα ραντάρ ακτινοβολίας πολύ μεγάλου μήκους κύματος είναι πως δεν μπορούν να είναι αρκετά ακριβή ώστε να διαχειριστούν μια αναχαίτιση. Δρουν προειδοποιητικά επιβάλλοντας την άμεση απογείωση αναχαιτιστικών αεροσκαφών ή την ιχνηλάτηση από άλλο ραντάρ.

Άλλο ένα σημαντικό πρόβλημα είναι πως εργάζονται στην ίδια περιοχή συχνοτήτων με τις τηλεπικοινωνίες, οπότε ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος που παρεμβάλλεται είναι σημαντικός. Παρ' όλα αυτά, όπως όλα δείχνουν, το κατάλληλο λογισμικό μπορεί να υπερπεράσει τα περισσότερα προβλήματα επεξεργασίας θορύβου και τελικά να καταστήσει ένα αρχαιοπρεπές σύστημα ραντάρ, τον πιο θανάσιμο αντίπαλο των αεροσκαφών τύπου B-2 και F-117.



Εικόνα 7.2 : Σχηματική απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας του ραντάρ, τύπου “ΟΤΗ (Over The Horizon)”. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ειδικής συχνότητας που εκπέμπουν, αντανακλάται απ’ την ιονόσφαιρα και καταφέρνει να εντοπίζει αεροσκάφη σε αποστάσεις πέρα απ’ τον ορίζοντα.

7.4 ΔΙΣΤΑΤΙΚΑ ΡΑΝΤΑΡ

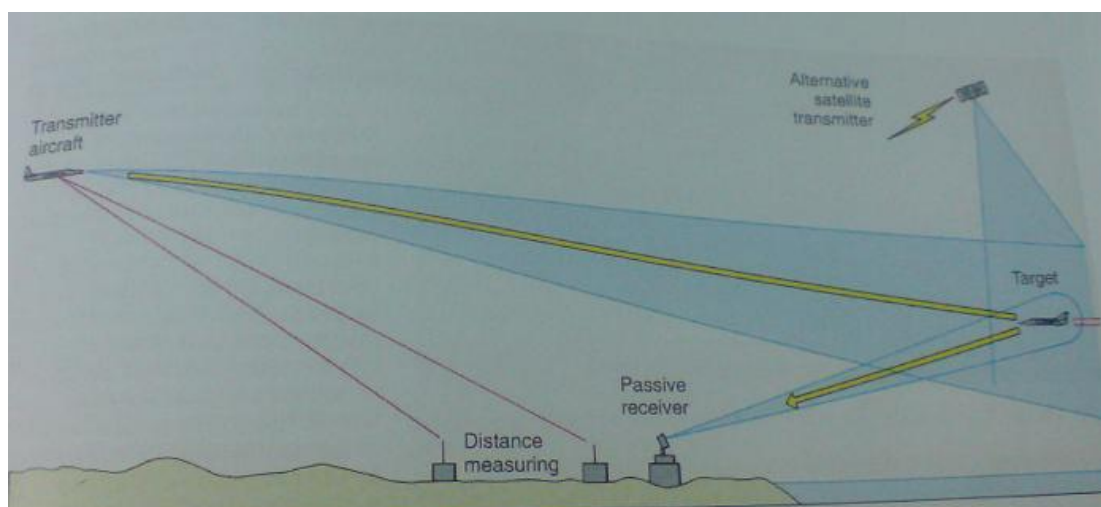
Μία τεχνολογία που' χει συζητηθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια είναι τα διστατικά ραντάρ, τα οποία στηρίζονται σε κάποια αδύνατα σημεία των σχεδίων stealth. Έχει αποδειχθεί ότι η ανακλασιμότητα των κατασκευών stealth, η οποία μετράται με το μοντέλο της σφαίρας, είναι μεγαλύτερη προς την αντίθετη διεύθυνση του εισερχόμενου σήματος ραντάρ. Έτσι αν ένα τμήμα προσκρούσει στο ρύγχος ενός αεροσκάφους stealth, η μεγαλύτερη αντανάκλαση θα είναι προς την ακριβώς αντίθετη κατεύθυνση, καθώς η ενέργεια των σημάτων ακολουθεί τις γραμμές του αεροσκάφους και συγκεντρώνεται στο πίσω μέρος της κατασκευής του. Η ανησυχία των σχεδιαστών των αεροσκαφών stealth είναι ότι το παραπάνω φαινόμενο μπορεί ν' αποτελέσει το στοιχείο-κλειδί για τον εντοπισμό τους.

Μία παραλλαγή του ζητήματος αυτού λοιπόν, αποτελεί η εξέλιξη των διστατικών ραντάρ, η αρχή λειτουργίας των οποίων προβλέπει ότι ο πομπός και ο δέκτης τους βρίσκονται σε ξεχωριστά σημεία. Απ' τη στιγμή που μία σχεδίαση stealth ανακλά τα σήματα του ραντάρ προς κάποιες διευθύνσεις, εάν ο δέκτης του ραντάρ είναι κατάλληλα ευθυγραμμισμένος με το αεροσκάφος και τον πομπό, κάποιες απ' αυτές τις ανακλάσεις μπορούν να συλληφθούν σε τέτοιο βαθμό ώστε να είναι εφικτή ακόμα και η ιχνηλάτηση του αεροσκάφους. Οι ειδικοί στις τακτικές επισημαίνουν ότι ένα ραντάρ απαιτεί τουλάχιστον δύο ανακλάσεις από ένα αεροσκάφος προκειμένου να καταγραφεί η πορεία του κι ένα αεροσκάφος stealth κινείται αρκετά γρήγορα ώστε ένα ραντάρ από μόνο του, να μην μπορεί να συλλέξει αρκετά δεδομένα για να επιτευχθεί μία τέτοια ιχνηλάτηση-καταγραφή.

Το βασικό πρόβλημα των διστατικών ραντάρ είναι ότι μπορεί ν' ανιχνεύσει στόχους μόνο στη περιοχή όπου η ακτίνα του πομπού διασταυρώνεται με την περιοχή έρευνας του δέκτη. Η σάρωση ενός χώρου απαιτεί πολύπλοκη οργάνωση που σημαίνει την ύπαρξη κεραιών ενεργούς σάρωσης, διάταξης φάσης, τόσο για λόγους ταχύτητας, όσο και για ευκολία συγχρονισμού.

Ωστόσο, με την ανάπτυξη ενός περίπλοκου συστήματος διστατικών ραντάρ με αρκετούς πομπούς και δέκτες, οι παραπάνω περιορισμοί θα μπορούσαν να ξεπεραστούν. Ο αόρατος αυτός διστατικός "φράκτης"

περιλαμβάνει μία διάταξη τεσσάρων ραντάρ τοποθετημένων σ' ένα τεράστιο νοητό τετράγωνο. Κάποια απ' αυτά τα ραντάρ θα είναι διστατικά και κάποια συμβατικά (πομπός και δέκτης μαζί). Το καθένα απ' αυτά τα ραντάρ είναι συνδεδεμένο με τα υπόλοιπα, καθώς στη διστατική λειτουργία συνεργάζονται μεταξύ τους για τον εντοπισμό ενός αεροσκάφους stealth. Τα διστατικά ζεύγη ραντάρ παρέχουν τέσσερις ευκαιρίες για την αποκάλυψη ενός στόχου stealth, ο οποίος διέρχεται μέσα απ' την περιοχή που καλύπτουν. Μόλις εντοπιστεί ο στόχος, τα ραντάρ μεταπηδούν στη μονοστατική λειτουργία για την ιχνηλάτησή του συνδυάζοντας τα εξασθενημένα σήματα όπως αυτά συλλαμβάνονται από τέσσερις διαφορετικές διευθύνσεις. Εγκατεστημένα σε μία απόσταση όπου η κάθε πλευρά του τετραγώνου έχει μήκος 100 km, το όλο σύστημα μπορεί να επιτηρήσει μια περιοχή 10.000 km². Ακόμα και τα βλήματα ημιενεργούς καθοδήγησης ραντάρ μπορεί να θεωρηθούν ότι ανήκουν σ' ένα διστατικό σύστημα ραντάρ, καθώς ο πομπός βρίσκεται στο αεροσκάφος εξαπόλυσης κι ο δέκτης πάνω στο βλήμα.



Εικόνα 7.3 : Σχηματική απεικόνιση παραδείγματος λειτουργίας των διστατικών ραντάρ. Ένας πομπός εγκατεστημένος στο έδαφος ή σε αεροσκάφος εκπέμπει κι ένας δέκτης εγκατεστημένος σε διαφορετική περιοχή λαμβάνει την ανακλώμενη ακτινοβολία εντοπίζοντας τον στόχο.

Ένας άλλος συνδυασμός που μελετάται είναι η χρήση δύο αεροσκαφών τύπου A.W.A.C.S. (Airborne early Warning And Control System), τα οποία εάν τροποποιηθούν κατάλληλα μπορούν ν' αποδώσουν σε

διστατική λειτουργία. Η ανάπτυξη των ραντάρ ευρείας ζώνης συχνοτήτων απ' την άλλη πλευρά, ίσως τελικά οδηγήσει τους σχεδιαστές των αεροσκαφών stealth στην αλλαγή των τακτικών που εφαρμόζουν τ' αεροσκάφη αυτά ή στην αλλαγή κάποιων σχεδίων.

Κάποια συγκεκριμένα μήκη κύματος όπως προαναφέρθηκε, μπορούν να ενισχύσουν τις ανακλάσεις από κεκλιμένες απολήξεις ή κωνικά άκρα στα μεγάλα μήκη κύματος κι απ' τις επίπεδες επιφάνειες ή τα κυλινδρικά σχήματα στα μικρά μήκη κύματος. Ένα σύστημα ραντάρ από δορυφόρους, λόγω της γωνίας παρατήρησης θα μπορούσε να εντοπίσει την ευάλωτη επάνω πλευρά των αεροσκαφών stealth παρέχοντας κάλυψη 360°. Μία σειρά δοκιμών για την εκμετάλλευση των διστατικών ραντάρ έχει πραγματοποιηθεί με τη χρήση επικοινωνιακών δορυφόρων σε γεωσύγχρονη τροχιά, οι οποίοι λειτουργούσαν ως πομποί.



Εικόνα 7.4 : Τ' αεροσκάφη-ιπτάμενα ραντάρ (A.W.A.C.S.), όπως το εικονιζόμενο E-3D Sentry με τις εξαιρετικές δυνατότητες που έχουν στην ανίχνευση στόχων σε μεγάλες αποστάσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναντίον αεροσκαφών stealth έχοντας όμως πολύ μεγάλο κόστος λειτουργίας.

7.5 ΗΛΕΚΤΡΟΟΠΤΙΚΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ

Η χρήση επίγειων ηλεκτροοπτικών αισθητήρων είναι αρκετά αποδοτική, αλλά μόνο για μέσες αποστάσεις. Η απόδοσή τους είναι ικανοποιητική εφόσον οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν, οπότε μπορούν να εντοπίσουν στόχους μεγέθους μαχητικού σε αποστάσεις μέχρι και 10 km. Μάλιστα κατά τη διάρκεια της αεροπορικής έκθεσης του Farnborough το 1998, άνθρωποι της British Aerospace (νυν Matra Bae Dynamics) επέδειξαν εγκλωβισμό ενός διερχομένου B-2 σε απόσταση 6 km. Το σύστημα αισθητήρων άνηκε στο Jernas, την τελευταία έκδοση του αντιαεροπορικού πυραύλου Rapier, αλλά οπωσδήποτε δε σημαίνει τίποτα το ιδιαίτερο για το B-2 αφού δεν πρόκειται να πλησιάσει τόσο κοντά ή τόσο χαμηλά σ' έναν στόχο.

Απ' την άλλη όμως, είναι γνωστό πως αρκετά αεροσκάφη (MiG-29, Su-27 και τώρα το Eurofighter Typhoon) ήδη έχουν τέτοια συστήματα που μπορούν να εντοπίσουν συμβατικά μαχητικά σε απόσταση μέχρι και 30-40 km. Αν ένα αεροσκάφος με περιορισμένα περιθώρια ελιγμών εντοπιστεί, όπως το B-2, μπορεί ίσως ν' αντιμετωπίσει πυραύλους αέρος-αέρος με τα κατάλληλα αντίμετρα (chaffs και flares), αλλά τίποτα δε μπορεί να το σώσει απ' τα βλήματα ενός πυροβόλου, ακόμα και ενός «αρχαίου» μαχητικού όπως το MiG-21. Δύο ακόμα περιπτώσεις μέσα απ' τις οποίες μπορεί ν' αποκαλυφθούν τ' αεροσκάφη stealth, είναι οι αεροδυναμικές δίνες (vortices) και τα καυσαέρια των κινητήρων τους τα οποία δε μπορούν ν' αποκρυφτούν.



Εικόνα 7.5 : Το αντιαεροπορικό σύστημα πυραύλων Jernas.

Διακρίνονται οι 8 πύραυλοι Rapier που φέρει ο εκτοξευτής και το συγκρότημα των ηλεκτροοπτικών αισθητήρων σε σφαιρικό κάλυμμα.

Ένα σύστημα που μελετάται είναι η ανίχνευση των αεροδινών που προκαλούν τα ακροπτερύγια κι η διατάραξη της ατμόσφαιρας απ' το οριακό στρώμα των πτερύγων και της ατράκτου (τ' αεροσκάφη διαταράσσουν το στρώμα του αέρα μέσα απ' το οποίο περνούν). Η αμερικανική υπηρεσία N.O.A.A. (αρμόδια για τις ατμοσφαιρικές παρατηρήσεις) έχει ήδη αναπτύξει μικρής εμβέλειας ραντάρ, τα οποία μπορούν κι εντοπίζουν τέτοιου είδους διαταραχές στο πλαίσιο όμως της προειδοποίησης αεροσκαφών για επερχόμενα επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα, όπως ο διατμητικός άνεμος (windshear) στον περιβάλλοντα χώρο των αεροδρομίων.

Οι διακυμάνσεις αυτές στην πυκνότητα της μάζας του αέρα, λόγω της υψηλής ταχύτητας της ροής εντός των αεροδινών προκαλούν μία αλλαγή στο δείκτη ανακλασιμότητας, βάσει του οποίου διέρχεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προκαλώντας στην συνέχεια την ηχώ του ραντάρ. Επιπρόσθετα, τα νέα ραντάρ λέιζερ (ladar) μπορούν ν' ανιχνεύσουν την κίνηση σωματιδίων, μία τεχνολογία που επίσης έχει δοκιμαστεί για εφαρμογές σε αεροδρόμια. Με βάση τα παραπάνω, όταν ένα αεροσκάφος πετά, οι αεροδίνες του μπορούν να εντοπιστούν από ένα τέτοιου είδους ραντάρ από οποιαδήποτε διεύθυνση.

Απομένει όμως ν' αναπτυχθούν συστήματα που θα μπορούν ν' αποκαλύψουν αυτές τις διαταράξεις σε μεγαλύτερες αποστάσεις, γεγονός που αναμένεται να προκαλέσει ριζικές αλλαγές στην επιχειρησιακή εκμετάλλευση των σημερινών αλλά και των μελλοντικών αεροσκαφών stealth. Οι εξαγωγές των καυσαερίων είναι μία ακόμα περίπτωση απ' την οποία μπορεί ν' απειληθούν τ' αεροσκάφη stealth. Μ' ένα ραντάρ ή μίας συχνότητας λέιζερ, οι διαταραχές που προκαλεί η άφηση των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα μπορούν εύκολα να εντοπιστούν με τη δημιουργία μιας ηλεκτρομαγνητικής «τρύπας» στο χώρο της ατμόσφαιρας που πετά το αεροσκάφος, όπου θα μπορεί να εντοπιστεί με ακρίβεια η θέση και το μέγεθος της εξαγωγής. Ηλεκτρομαγνητικά, η «τρύπα» αυτή έχει χαρακτηριστικά ίδια σχεδόν με του κενού, αλλά με εξαιρετικά μεγάλη απορροφητικότητα. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί διασπορά των κυμάτων ραντάρ, όπου η ανακλασιμότητα της τάξης μέχρι 10 dB θα μπορεί εύκολα ν' αποκαλυφθεί από ένα ραντάρ λέιζερ.



Εικόνες 7.6 : Δύο MiG-29 εκτελούν έναν χαμηλό ελιγμό με μετάκαυση, δημιουργώντας πυκνούς καπνούς απ' τις εξαγωγές κι αεροδυναμικές δίνες, αυξάνοντας κατά πολύ το οπτικό τους ίχνος.

Από πληροφορίες που έχουν διαρρεύσει, μια σειρά απ' τις παραπάνω τεχνολογίες έχουν ήδη δοκιμαστεί στην πράξη και μάλιστα υποστηρίζεται ότι κάποια συστήματα έχουν προβληματίσει τους αμερικανούς για την επιβιωσιμότητα των αεροσκαφών stealth. Ωστόσο κάποιοι αναλυτές είναι της άποψης ότι το μεγαλύτερο βάρος στην παγκόσμια αγορά θ' αποδοθεί στην προστασία των σημερινών συμβατικών αεροσκαφών, πράγμα που σημαίνει

ότι θ' αναπτυχθούν περαιτέρω τα συστήματα ηλεκτρονικού πολέμου. Στα συστήματα παρεμβολών κι ηλεκτρονικών αντιμέτρων βασίζονται εξάλλου σήμερα σε μεγάλο βαθμό οι επιχειρήσεις των αεροσκαφών stealth, όπως αποδείχθηκε και στην επιχείρηση "Allied Force" εναντίον της Σερβίας το 1999, προκειμένου πέρα απ' την τεχνολογία της απόκρυψης να υπάρχει και μία επιπρόσθετη κάλυψη με τη δημιουργία ενός ηλεκτρονικού κλωβού παραγωγής θορύβου στα αντίπαλα ραντάρ.

7.6 ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Ένα πολύ ενδιαφέρον ζήτημα προέκυψε το 1997 μέσα απ' τον Τύπο. Γράφτηκε πως το Ιράκ είχε πλέον τη δυνατότητα εντοπισμού των αεροσκαφών F-117 κι άλλων παρομοίων, χάρη στην απόκτηση του συστήματος ηλεκτρονικής υποστήριξης Tamara της τσεχικής εταιρείας Tesla Pardubice. Ήδη ένα χρόνο πριν, ο πρόεδρος της εταιρείας είχε δηλώσει στη ρωσική εφημερίδα Pravda, πως ένα σύστημα Tamara αποτελούμενο από τρεις μονάδες σε διασκορπισμό αρκετών χιλιομέτρων μπορεί να εντοπίσει αεροσκάφη stealth σ' αποστάσεις πάνω από 20 km.

Οι καταγραφείς του συστήματος Tamara παρακολουθούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μεταξύ 820 MHz και 18 GHz και συνήθως συνίσταται από τρεις σταθμούς εγκατεστημένους σε οχήματα Tatra 815 8 x 8. Η σύγκριση των χρόνων άφιξης των εκπομπών (ή επιστροφών) χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η θέση της πηγής και μάλιστα να γίνει σύγκριση με βάση δεδομένων ώστε ν' αναγνωριστεί. Η κάλυψη του συστήματος Tamara είναι μεγαλύτερη από 100⁰ και η ακτίνα ανίχνευσης εξαρτάται απ' τον ορίζοντα του ραντάρ. Το ενδιαφέρον είναι πως το σύστημα είναι εντελώς παθητικό (με επιπλέον δυνατότητες ενσωμάτωσης σε σύστημα ραντάρ) και πρακτικά μη ανιχνεύσιμο από αεροσκάφη καταστολής αεράμυνας.

Αυτό που δε διευκρινίζεται είναι τι ακριβώς ακτινοβολία «συλλαμβάνεται», αλλά είναι γνωστό πως τ' αεροσκάφη stealth χρησιμοποιούν κάποιου είδους ραντάρ πολύ μικρής ισχύος φυσικά, αν ληφθεί υπ' όψιν η μικρή εμβέλεια του Tamara. Λέγεται πως αυτό το σύστημα

χρησιμοποιήθηκε κι από τους Σέρβους εναντίον του F-117 που καταρρίφθηκε.

7.7 ΤΟ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟ ΤΗΣ ΚΑΤΑΡΡΙΨΗΣ ΤΟΥ F-117A

Τον Μάρτιο του 1999, το NATO άρχισε τις αεροπορικές επιχειρήσεις του εναντίον της Γιουγκοσλαβίας με την ονομασία "Allied Force". Σε αυτές τις αποστολές συμμετείχαν οι αεροπορικές δυνάμεις αρκετών χωρών-μελών με πρωτοστάτη τις δυνάμεις των Η.Π.Α.. Οι επιχειρήσεις αυτές αποτέλεσαν μια απίθανη ιστορική πρωτιά, καθώς οι επιτιθέμενοι δεν υπέστησαν καμία ανθρώπινη απώλεια αν και βομβάρδιζαν μ' εντατικούς ρυθμούς μία ευρωπαϊκή χώρα επί 78 μέρες.

Όμως κατά την τέταρτη μέρα απ' την έναρξη των αεροπορικών προσβολών, η στρατιωτική μηχανή του NATO αποδέχθηκε επίσημα την απώλεια ενός από τα πλέον σύγχρονα μέσα του οπλοστασίου της, ενός F-117A Nighthawk, αεροσκάφους stealth 1^{ης} γενιάς. Στο υπόλοιπο του πολέμου οι Γιουγκοσλάβοι στρατιώτες κατάφεραν να καταρρίψουν μόνο ένα F-16 του οποίου ο πιλότος διασώθηκε, αλλά η εικόνα των συντριμμιών του stealth που κάπνιζαν και οι διαλυμένες μαύρες πτέρυγες του καταδιώκουν ακόμα σαν εφιάλτης τους επιτελείς του Πενταγώνου.

Οι συνθήκες υπό τις οποίες έγινε η κατάρριψη του F-117A με κωδικό αριθμό 820806, της 8^{ης} Μοίρας, της 49^{ης} πτέρυγας μαχητικών που εδρεύει στη βάση Χόλλομαν, καλύπτονται ακόμα από μυστήριο για ευνόητους λόγους. Η αμερικανική αεροπορία αρνήθηκε να δώσει επίσημα στη δημοσιότητα οποιαδήποτε λεπτομέρεια του συμβάντος κι έμμεσα απέρριψε τον ισχυρισμό των Γιουγκοσλάβων ότι η πτώση του υπερσύγχρονου μαχητικού οφειλόταν στην αντιαεροπορική άμυνα των τελευταίων. Ακόμα και στην περίπτωση που τα λεγόμενα των Γιουγκοσλάβων ευσταθούν, παραμένει άγνωστος ο τύπος του οπλικού συστήματος που ευθύνεται για τη μεγάλη επιτυχία.

Τόσο οι πύραυλοι εδάφους-αέρος SA-3 Goa, όσο και οι SA-6 Gainful, χρεώθηκαν αργότερα με την πολυδιαφημισμένη κατάρριψη, αλλά είναι πολύ πιθανό αυτή να επιτεύχθηκε με κάποιο τυχερό πλήγμα αντιαεροπορικού πυροβόλου απ' τα χιλιάδες που διαθέτει ο Γιουγκοσλαβικός στρατός όπως το περίφημο κι εξαιρετικά ικανό ZSU-23.

Βέβαια η κατάρριψη μπορεί να οφείλεται σ' έναν συνδυασμό όλων αυτών των συστημάτων. Πιθανολογείται ότι εκτοξεύτηκε ένας μεγάλος αριθμός αντιαεροπορικών πυραύλων χωρίς κατεύθυνση που όμως ανάγκασαν τον πιλότο του F-117 να πετάξει χαμηλά κάνοντας ελιγμούς και τελικά να χτυπηθεί απ' το φράγμα πυρός που δημιουργούσαν τα πυροβόλα. Η περιοχή όπου βρέθηκαν τα συντρίμμια του μαχητικού βρίσκεται κοντά στο χωριό Μπουντάνοβτσι, περίπου 70 km νοτιοδυτικά του Βελιγραδίου. Το συγκεκριμένο σημείο ήγειρε απ' την αρχή πολλές υποψίες εξαιτίας της γειτονικότητάς του με το στρατιωτικό πεδίο δοκιμών στο Νικίντσι, όπου δοκιμάζονται όλα τα νέα όπλα της γιουγκοσλαβικής αεροπορίας και του στρατού. Νοτιοδυτικά βρίσκεται η κωμόπολη Σάμπατς όπου φιλοξενούταν ικανός αριθμός στρατιωτικού προσωπικού και βρίσκονταν εκεί κατά την περίοδο των επιδρομών αρκετά αντιαεροπορικά πυροβόλα διαφόρων διαμετρημάτων.



Εικόνες 7.7 : Το σταθερό αντιαεροπορικό σύστημα πυραύλων SA-3 Goa.



Εικόνες 7.8 : Το αυτοκινούμενο αντιαεροπορικό πυραυλικό σύστημα SA-6 Gainful.



Εικόνες 7.9 : Το αυτοκινούμενο αντιαεροπορικό ZSU-23-4 με 4 πυροβόλα των 23mm.

Είναι όμως λίγο απίθανο το ότι ένα αντιαεροπορικό πυροβόλο από μόνο του θα μπορούσε να σημειώσει τέτοια επιτυχία (εκτός αν είχε εντυπωσιακή εύνοια της τύχης) και το ίδιο συμβαίνει με τα βλήματα SA-3 Goa, τα οποία είναι στατικά συστήματα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα Goa βρίσκονταν τοποθετημένα γύρω απ' το μεγάλο αεροδρόμιο της Μπαντάνισκ και το F-117 θα έπρεπε να βρίσκεται αρκετά έξω απ' το βεληνεκές του. Αν και

το όλο σύστημα θα μπορούσε να μεταφερθεί, ο απαιτούμενος χρόνος εγκατάστασης και ρύθμισης των ραντάρ θα ήταν μάλλον ασύμφορος για τους Γιουγκοσλάβους που δέχονταν εκείνη την περίοδο φοβερή αεροπορική πίεση.

Η επιχειρησιακή ακινησία του συστήματος SA-6 όμως (που είναι ευρύτερα γνωστό ως "τα τρία δάχτυλα του θανάτου" λόγω του τριπλού εκτοξευτή που φέρεται επί ερπυστριοφόρου οχήματος), καθώς και οι εξαιρετικές δυνατότητες του βλήματος του, θα του επέτρεπαν να πλήξει ακόμα κι ένα «αόρατο» F-117, αν υπήρχε ο τρόπος το βλήμα να καθοδηγηθεί εναντίον του. Ένας επιπλέον ύποπτος γιουγκοσλαβικός ισχυρισμός που απέδιδε την κατάρριψη στη χρήση ενός μοναδικού συστήματος για το οποίο ακόμα και οι Ρώσοι δε γνώριζαν τίποτα, ήρθε να περιπλέξει ακόμα περισσότερο τα πράγματα και να προκαλέσει πολλές εικασίες. Η εκδοχή αυτή θα ήταν εύκολο να ενταχθεί στα πλαίσια της χονδροειδούς γιουγκοσλαβικής προπαγάνδας, αν η κατάρριψη δεν είχε σημειωθεί πραγματικά λίγο έξω απ' το μυστηριώδες πεδίο δοκιμών.

Κάποιες πληροφορίες μιλούν για μία συντονισμένη προσπάθεια τριών ραντάρ έγκαιρης προειδοποίησης τύπου P-12 Spoonrest, τα οποία τη νύχτα εκείνη συνεργάστηκαν με άψογο τρόπο για να εντοπίσουν τη θέση του εισβολέα με τη γνωστή μέθοδο της ραδιογωνιομέτρησης. Η πιθανότητα αυτή ίσως να είναι εξαιρετικά βάσιμη, καθώς τα νεώτερα στοιχεία απ' την επιχειρησιακή χρήση των αεροσκαφών stealth δείχνουν πως ίσως τελικά να είναι ευάλωτα στα ραντάρ χαμηλών συχνοτήτων, όπως είναι τα Spoonrest που λειτουργούν στο εύρος των 147-161 MHz.

Παραμένει όμως αινιγματικός ο τρόπος υπολογισμού του ύψους στο οποίο πετούσε ο στόχος. Είναι πολύ πιθανό, οι αμερικάνοι επιτελείς να υπέπεσαν στο σφάλμα της διατήρησης των ίδιων πορειών προσέγγισης και απομάκρυνσης απ' τον στόχο κατά τις τέσσερις πρώτες νύχτες της επιχείρησης "Allied Force". Όποια κι αν είναι η αιτία της κατάρριψης για τους Σέρβους, το καταρριφθέν Nighthawk ήταν ένα περίφημο πολεμικό τρόπαιο.



Εικόνες 7.10 : Σέρβοι στρατιωτικοί περιεργάζονται τα συντρίμμια του αεροσκάφους.



Εικόνα 7.11 : Η καλύπτρα του F-117 βρέθηκε μερικά μέτρα μακρύτερα απ' την άτρακτο.



Εικόνες 7.12 : Τμήμα της ουράς. Το αεροσκάφος προσέκρουσε στο έδαφος αναστραμμένο.

Το συγκεκριμένο αεροσκάφος άνηκε στην παρτίδα No 4 των F-117A και πέταξε για πρώτη φορά στις 12/8/1984 με χειριστή τον δοκιμαστή-πιλότο της Lockheed, Dave Ferguson. Παραδόθηκε στην αμερικανική αεροπορία τον Σεπτέμβριο του 1984 κι υπέστη τρεις συνολικά αναβαθμίσεις, το 1986, το 1989 και το 1994. Βετεράνος της επιχείρησης "Desert Storm", το No 82-0806 εκτέλεσε συνολικά 39 επιχειρησιακές εξόδους έχοντας βαμμένο στο ρύγχος του το προσωνύμιο "Something Wicked".

Σύμφωνα με τις περιγραφές των κατοίκων του Μπουντάνοβτσι, το F-117 κατέπεσε σ' έναν οργωμένο αγρό στις 20:38 (τοπική ώρα) του Σαββάτου 27/3/1999. Στην ομάδα των ξένων δημοσιογράφων, οι οποίοι μεταφέρθηκαν απ' τους Γιουγκοσλάβους στο σημείο της πτώσης με δύο κρατικά λεωφορεία, επιτράπηκε να περιεργαστούν και να φωτογραφήσουν τα συντρίμια πριν αυτά φορτωθούν σε στρατιωτικά οχήματα για να μεταφερθούν σε άγνωστο προορισμό. Αν και η καλύπτρα βρέθηκε σε μικρή σχετικά απόσταση απ' το κύριο σώμα του αεροσκάφους, το εκτινασσόμενο κάθισμα εντοπίστηκε σ' έναν παρακείμενο αγρό χωρίς όμως να συλληφθεί ο πιλότος κι επισημηναγός Dave Zelco.

Αμέσως μετά τη διαπίστωση της κατάρριψης, οι Γιουγκοσλάβοι οργάνωσαν ένα απόσπασμα 80 αντρών με αρκετά σκυλιά-ιχνηλάτες για ν' ανακαλύψουν και να συλλάβουν τον Αμερικανό χειριστή, προσδίδοντας έτσι

διαστάσεις θριάμβου στην απρόσμενη επιτυχία τους. Σύντομα, η ομάδα αυτή βρήκε αρκετά ίχνη του χειριστή καθώς και το αλεξίπτωτό του, αλλά στις 03:30 άκουσε τους ήχους των ελικοπτέρων που πετούσαν πολύ χαμηλά πάνω απ' το χωριό χωρίς να γνωρίζει αν αυτά ήταν φιλικά ή εχθρικά. Προφανώς τ' άγνωστα ελικόπτερα αιωρήθηκαν για λίγο χρόνο πάνω απ' τα πολυπληθή αρδευτικά κανάλια που περιβάλλουν το Μπουντάνοβτσι πριν απομακρυνθούν με τον ίδιο γρήγορο τρόπο που είχαν έρθει. Η επιχείρηση έρευνας και διάσωσης εκτελέστηκε με επιτυχία από οκτώ ελικόπτερα, των οποίων ηγούνταν δύο αμερικανικά MH-53J Pave Low III της 352ης ομάδας ειδικών επιχειρήσεων που έδρευε στη βοσνιακή πόλη Τούζλα. Την κάλυψη των ελικοπτέρων είχαν αναλάβει τέσσερα F-16 και δύο F-15, ενώ για όλο το χρονικό διάστημα που διήρκεσε η επιχείρηση (περίπου 5 ώρες), οι Γάλλοι είχαν θέσει σ' ετοιμότητα στο κροατικό αεροδρόμιο Πλότσε δύο απ' τα ελικόπτερα Super Frelon του αεροπλανοφόρου Foch ως εφεδρεία.

Ανεπιβεβαίωτες πληροφορίες ανέφεραν πως ένα απ' τα αμερικανικά ελικόπτερα υπέστη μηχανική βλάβη μέσα στον σερβικό εναέριο χώρο και αναγκάστηκε να προσγειωθεί εκεί. Το σημείο αυτό εντοπίζεται σε απόσταση περίπου 25 km απ' το Μπουντάνοβτσι, γεγονός που συνηγορεί στο ότι ο χειριστής του F-117A παρασύρθηκε μακριά απ' τα συντρίμια του αεροσκάφους του μετά την εκτίναξη. Είναι αρκετά ειρωνικό το ότι αν και το αεροσκάφος δεν αποδείχθηκε τελικά τόσο καλά κρυμμένο από τα εχθρικά μάτια, ο πιλότος του κατάφερε να ξεφύγει από μία πολύ τελειότερη μηχανή ιχνηλάτησης, τα κυνηγετικά σκυλιά, αφού σύμφωνα με τις αφηγήσεις του ένα από αυτά πλησίασε σε απόσταση 10 m από το σημείο όπου κρυβόταν περιμένοντας τα ελικόπτερα.

Η απώλεια του F-117A έφερε τους αμερικανούς στρατιωτικούς αναλυτές μπροστά σε πολύ μεγάλα ερωτηματικά. Πριν από κάθε αποστολή των F-117A πραγματοποιείται διεξοδική ανάλυση των στόχων και των διαφόρων απειλών που συνήθως τους περιβάλλουν. Οι θέσεις όλων των γνωστών εχθρικών ραντάρ καταχωρούνται σ' έναν υπολογιστή (την "Ελβίρα"), ο οποίος έπειτα από επεξεργασία των δεδομένων χαράσσει την πιο ικανοποιητική πορεία που πρέπει να ακολουθήσει το βομβαρδιστικό προς τον στόχο του. Η χάραξη όμως μιας τέτοιας πορείας προϋποθέτει την ακριβή γνώση της θέσης των εχθρικών ραντάρ, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις

είναι κινητά. Οι Γιουγκοσλάβοι κατόρθωσαν προφανώς να φανούν πιο ευφυείς απ' την "Ελβίρα", έχοντας διαπιστώσει επί τρεις συνεχείς νύκτες τα F-117A χρησιμοποιούσαν τα ίδια δρομολόγια για να φτάσουν στο Βελιγράδι. Έτσι μετακίνησαν τα ραντάρ τους σε νέες πιο πλεονεκτικές θέσεις και τα έθεσαν σε λειτουργία για ελάχιστα χρονικά διαστήματα που ήταν όμως αρκετά για ν' αναγνωρίσουν τους επιδρομείς χωρίς να διατρέχουν κίνδυνο καταστροφής απ' τα βλήματα αντι-ραντάρ.

Την τέταρτη νύχτα οι αμυνόμενοι περίμεναν τον «αόρατο» αντίπαλό τους έτοιμοι για να τον αντιμετωπίσουν κι εφοδιασμένοι με βελτιωμένα ραντάρ που πιθανώς τους παρείχαν οι Ρώσοι. Καθώς το F-117A άνοιξε τις θύρες οπλισμού για να εξαπολύσει τις βόμβες του πάνω απ' το Βελιγράδι, το ίχνος που θα έδωσε στα γιουγκοσλαβικά ραντάρ θα πρέπει να ήταν κάτι παραπάνω από ευκρινές.

Οι γνώμες σχετικά με ό,τι επακολούθησε διχάζονται, αλλά είναι βέβαιο πως οι Γιουγκοσλάβοι άνοιξαν πυρ εκτοξεύοντας πυραύλους εδάφους-αέρος και τότε ήταν που ο πιλότος του stealth θα πρέπει να διέπραξε το μοιραίο σφάλμα. Υπό την ψυχολογική πίεση της κατάστασης, καταδιωκόμενος πιθανώς και από ένα MiG-21 και βλέποντας τους πυραύλους να κινούνται εναντίον του, βούτηξε κάτω απ' τα σύννεφα χωρίς να σκεφτεί ότι το μαύρο χρώμα του αεροσκάφους θα δημιουργούσε έντονη αντίθεση με τη λευκή νέφωση. Η σερβική αεράμυνα είχε πλέον μπροστά της έναν ορατό στόχο και άρχισε να βάλει με αντιαεροπορικά πυροβόλα, πετυχαίνοντας το F-117A πιθανώς με κάποιο βλήμα των 57 mm. Ακόμα άλλο ένα F-117A χτυπήθηκε μερικές ημέρες αργότερα, αλλά κατάφερε να επιστρέψει στη βάση του.

Πιθανότατα τα νεώτερα ρωσικά ραντάρ χαμηλών συχνοτήτων να είναι τελικά σε θέση να εντοπίσουν ένα αεροσκάφος stealth αν ακτινοβολούν πάνω του απ' το πλευρικό ή το πίσω ημισφαίριο, ενώ οι ανιχνευτές IR μπορούν ν' ανακαλύψουν υπό προϋποθέσεις τη θερμότητα που εκπέμπει. Τ' αεροσκάφη stealth εξακολουθούν να χρειάζονται τη νύχτα για σύμμαχό τους κι αντίθετα με ό,τι διατυμπανίζουν οι κατασκευαστές τους, απαιτούν ικανό αριθμό άλλων αεροσκαφών στο ρόλο της ηλεκτρονικής καταστολής της εχθρικής αεράμυνας. Επίσης απ' ότι φαίνεται, σιγά-σιγά εξελίσσεται μια νέα γενιά αντιμέτρων και αμυντικών όπλων ικανή ν' αντιμετωπίσει με αξιώσεις τ' αεροσκάφη τεχνολογίας stealth, της 1^{ης} γενιάς τουλάχιστον.



Εικόνα 7.13 : Τα ελικόπτερα MH-53J PaveLow 3 είναι ειδικά εξοπλισμένα για επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης μάχης (CSAR), καθώς κι άλλων ειδικών αποστολών.

7.8 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΣΗΜΑΔΙΑ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ STEALTH

Το πρωτοπόρο αεροσκάφος stealth, F-117 Nighthawk, συμπληρώνει περισσότερα από 24 χρόνια από την πραγματοποίηση της πρώτης του πτήσης το 1981, εκπροσωπώντας την 1^η γενιά αεροσκαφών stealth για επιχειρηματική εκμετάλλευση σαν μαχητικά αεροσκάφη. Με περισσότερα από 20 χρόνια σε υπηρεσία και συμμετοχή σε τρεις μεγάλες πολεμικές επιχειρήσεις, τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας stealth έδωσαν μια νέα ώθηση στον τρόπο διεξαγωγής των αντιαεροπορικών επιχειρήσεων.

Από τότε που το αεροσκάφος εντάχθηκε σε υπηρεσία κατά τη δεκαετία του '80, πολλά ήταν εκείνα που άλλαξαν στον τρόπο της αξιοποίησης της παραπάνω τεχνολογίας. Για παράδειγμα, ενώ αρχικά τ' αεροσκάφη αυτά επιχειρούσαν αυτόνομα, σταδιακά άρχισαν να ενσωματώνονται με τις

υπόλοιπες συμβατικές δυνάμεις.

Στην επιχείρηση του πρώτου περσικού πολέμου, το F-117 χρησιμοποιήθηκε περισσότερο σαν μια στρατιωτική πλατφόρμα κρούσης ανοίγοντας δίοδο στις συμβατικές τακτικές δυνάμεις με την εξουδετέρωση νευραλγικών στόχων της αεράμυνας. Ήταν η εποχή που ελάχιστα ήταν γνωστά για την τεχνολογία stealth και τ' αεροσκάφη αυτά, κατά συνέπεια και οι μέθοδοι αντιμετώπισης τους δεν είχαν ακόμα αναπτυχθεί. Το γεγονός ότι στην επιχείρηση κατά της Σερβίας το 1999 το αεροσκάφος επιχειρούσε με την υποστήριξη και την κάλυψη των αεροσκαφών ηλεκτρονικού πολέμου για την προστασία του, είναι ενδεικτικό των αδυναμιών που παρουσιάζει η 1^η γενιά αεροσκαφών stealth με αποκορύφωμα την κατάρριψη ενός αεροσκάφους αυτού του τύπου.

Απ' τη στιγμή της κατάρριψης του F-117 απ' τις σερβικές δυνάμεις αεράμυνας έγινε αντιληπτό ότι η αμερικανική κυριαρχία στο χώρο της σχεδίασης και κατασκευής αεροσκαφών stealth βρίσκεται πλέον υπό αμφισβήτηση. Εκτός απ' τις χώρες εκείνες, οι οποίες από καιρό προσπαθούν ν' αναπτύξουν τεχνολογίες αντι-stealth κι οι ίδιες οι Η.Π.Α. έχουν λόγους να δαπανούν σ' έρευνες για την ανάπτυξη τέτοιων τεχνολογιών προκειμένου ν' αντιμετωπίσουν διάφορα σχέδια επανδρωμένων και μη αεροσκαφών, όπως και βλήματα πλεύσης τεχνολογίας stealth που το αμερικανικό Πεντάγωνο έχει προβλέψει ότι σύντομα θα βρίσκονται διαθέσιμα στην παγκόσμια αγορά.

Για παράδειγμα υπάρχει η εκτίμηση ότι η Κίνα διαθέτει ήδη τέτοια βλήματα πλεύσης, τα οποία ενδεχομένως μπορεί να προσφέρει προς πώληση και σε τρίτες χώρες.

7.9 ΤΟ ΠΑΡΟΝ

Στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας-μελέτης αυτής αναλύθηκε η τεχνολογία stealth κι όλες οι τεχνικές που την αφορούν στην ενσωμάτωση της στα πολεμικά αεροσκάφη. Παράλληλα αναφέρθηκαν όλα τα σημαντικότερα βήματα στην εξέλιξη της, απ' τις πρώτες προσπάθειες με τη χρησιμοποίηση ειδικών καμουφλάζ για τη μείωση του οπτικού ίχνους, τη σταδιακή εξέλιξη των τεχνικών μείωσης του ηλεκτρομαγνητικού ίχνους για απόκρυψη απ' τα ραντάρ

και τέλος την κατασκευή σύγχρονων και υπερ-εξελιγμένων αεροσκαφών προστατευμένα σ' όλους τους τομείς ανίχνευσης κι εντοπισμού (οπτικού, ακουστικού, ηλεκτρομαγνητικού, θερμικού).

Μία αρκετά σημαντική παρατήρηση που μπορεί να γίνει μετά απ' αυτήν την ανάλυση είναι ότι η τεχνολογία και τ' αεροσκάφη stealth είναι ουσιαστικά αποκλειστικά αμερικανική υπόθεση. Πράγματι οι Η.Π.Α. είναι η μοναδική χώρα που ασχολείται τόσο επισταμένα με την τεχνολογία αυτή αναπτύσσοντάς την σε τεράστιο κι απλησίαστο βαθμό σχετικά μ' όλες τις άλλες χώρες, κατασκευάζοντας τα μοναδικά αεροσκάφη stealth που υπάρχουν παγκοσμίως. Οι βασικοί λόγοι που συμβαίνει αυτό είναι δύο :

Ο πρώτος λόγος έχει να κάνει με το τεχνολογικό χάσμα που έχει δημιουργηθεί στον τομέα της αμυντικής τεχνολογίας μεταξύ της Αμερικής και όλων των υπολοίπων χωρών. Αυτό το χάσμα στην τεχνολογική εξέλιξη οφείλεται στην παγκόσμια γεωπολιτική κι οικονομική κατάσταση. Συγκεκριμένα μετά τη διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης, η Αμερική παρέμεινε ως η μοναδική υπερδύναμη στο παγκόσμιο στερέωμα διατηρώντας τεράστια στρατιωτική κι οικονομική υπεροχή. Δείγμα της υπεροχής αυτής είναι το γεγονός ότι ο αμερικανικός προϋπολογισμός ανέρχεται στο 40% του συνολικού ποσού των χρημάτων που δαπανώνται ετησίως γι' αμυντικές δαπάνες απ' όλες τις ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου. Έτσι οι Η.Π.Α. μπορούν να διαθέσουν τα τεράστια κονδύλια που απαιτούνται για την κατασκευή και χρήση τέτοιου είδους αεροσκαφών.

Οι ευρωπαϊκές χώρες δεν ήταν ποτέ απόλυτα ενωμένες και συντονισμένες ώστε να φτάσουν στο ίδιο τεχνολογικό επίπεδο, αντίθετα κάθε μία από μόνη της προσπαθούσε να επιβληθεί στην ευρωπαϊκή αγορά υποσκάπτοντας την πρόοδο των υπολοίπων με αποτέλεσμα την γενικότερη υποβάθμιση.

Η Ρωσία μετά απ' την διάλυση της Ε.Σ.Σ.Δ. έχασε την παγκόσμια επιρροή της κι αντιμετωπίζοντας τεράστια οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα, περιόρισε στο ελάχιστο δυνατό τις δαπάνες για στρατιωτικές εφαρμογές και ανάπτυξη τεχνολογίας προσπαθώντας ακόμα και σήμερα να ορθοποδήσει. Μία ανερχόμενη δύναμη είναι η ταχέως αναπτυσσόμενη Κίνα, η οποία όμως έχει ακόμα πολύ δρόμο να διανύσει τεχνολογικά για να μπορέσει ν' απειλήσει ουσιαστικά την παντοκυριαρχία των Η.Π.Α.. Στο απώτερο μέλλον

όμως, προβλέπεται να παίξει σημαντικό ρόλο στον παγκόσμιο συσχετισμό δυνάμεων.

Ο δεύτερος λόγος βρίσκεται σε συνάρτηση με τον πρώτο κι έχει να κάνει με το στρατιωτικό δόγμα κάθε χώρας. Συγκεκριμένα, οι αμερικανικές ένοπλες δυνάμεις κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η έκβαση κάθε στρατιωτικής αναμέτρησης στο μέλλον θα εξαρτάται πλήρως απ' την αεροπορική ισχύ κάθε αντιπάλου. Έτσι έχουν δώσει μεγάλη προτεραιότητα στον τομέα αυτόν αποφασίζοντας ότι η τεχνολογία stealth είναι ο καθοριστικός εκείνος παράγοντας που θα γείρει την πλάστιγγα υπέρ τους. Παράλληλα η αμυντική βιομηχανία τους μπορεί να κατασκευάσει τέτοια αεροσκάφη κι η πανίσχυρη οικονομία τους μπορεί ν' αντέξει το υπέρογκο κόστος τους. Έτσι κάτω απ' αυτό το πρίσμα σκέψεων, η U.S.A.F. μετά τον προβλεπόμενο παροπλισμό των συμβατικών μαχητικών της σε λίγα χρόνια (F-15, F-16) θ' αποκτήσει έναν στόλο αποκλειστικά stealth μαχητικών (F-22, F-35, F-117, B-2).

Αντίθετα οι ευρωπαϊκές χώρες μειονεκτώντας τεχνολογικά και οικονομικά, έδωσαν προτεραιότητα στην ανάπτυξη αεροσκαφών με μεγάλες αεροδυναμικές επιδόσεις κι ικανότητες κρούσης στηριζόμενα σ' εξελιγμένα ηλεκτρονικά μέσα καταστολής των αντιπάλων ραντάρ (ECM / ECCM) και σε παθητικά μέσα αποφυγής αντιαεροπορικών πυραύλων (Chaffs και Flares). Αυτό φαίνεται έντονα στη σχεδίαση των σύγχρονων και μελλοντικών μαχητικών 4^{ης} γενιάς της Ευρώπης (Eurofighter Typhoon, Dassault Rafale, SAAB JAS 39 Gripen), τα οποία ναι μεν παρουσιάζουν μικρότερο ίχνος στα ραντάρ απ' την προηγούμενη 3^η γενιά (Tornado, Mirage 2000, J 35 Viggen) υιοθετώντας κάποια ελάχιστα στοιχεία stealth, αλλά σε καμία περίπτωση δε μπορούν να συγκριθούν στον τομέα αυτόν με τ' αμερικανικά αντίστοιχά τους (F-22, F-35).

Τέλος οι ρωσικές σχεδιάσεις (MiG, Sukhoi, Tyrolev) αδιαφόρησαν εντελώς για τα οφέλη του μειωμένου ίχνους κι έριξαν ολοκληρωτικά το βάρος τους στην ανάπτυξη ανωτέρων ικανοτήτων αεροδυναμικά. Πράγματι το κύριο μαχητικό 3^{ης} γενιάς της ρωσικής πολεμικής αεροπορίας, το Su-27 Flanker, θεωρείται το καλύτερο σ' αυτόν τον τομέα παγκοσμίως απ' όλα τ' αντίστοιχά του ίδιας γενιάς κι από κάποια 4^{ης} γενιάς που τώρα θα μπουν σε υπηρεσία. Αυτό ίσχυσε και για τα δύο καινούρια προγράμματα μαχητικών που

εμφανίστηκαν στη Ρωσία (S-37 και MiG 1.42) που δυστυχώς λόγω της εξαιρετικά δυσχερούς οικονομικής θέσης δε κατόρθωσαν να μπουν ποτέ σε παραγωγή.

7.10 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Η τεχνολογία stealth μέσα από μία εξελικτική πορεία 50 περίπου χρόνων, έχει πια ωριμάσει αρκετά κι έχει δείξει πολλές φορές τα πλεονεκτήματα που προσφέρει σε όποιον την εφαρμόζει στο εναέριο πεδίο μάχης. Σε λίγο καιρό από τώρα θ' αρχίζει να γίνεται και περισσότερο προσιτή με το πρόγραμμα του μαχητικού F-35, το οποίο προβλέπεται να κατασκευαστεί σε χιλιάδες αριθμούς, κάτι πρωτοφανές γι' αεροπλάνο τεχνολογίας stealth αν αναλογιστεί κανείς ότι μέχρι σήμερα υπήρχαν συνολικά μόλις 80 τέτοια αεροσκάφη (όλα τα F-117 και B-2).

Μάλιστα στην κατασκευή του F-35 συμμετέχουν ήδη 8 διαφορετικές χώρες κι είναι σίγουρο ότι θ' αγοραστεί από πολλές χώρες ακόμα. Παράλληλα υπάρχουν πολλά προγράμματα κατασκευής μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων γι' αποστολές αναγνώρισης (U.A.V.- Unmanned Air Vehicle) και επίθεσης (C.U.A.V- Combat Unmanned Air Vehicle), όπως το αμερικανικό X-45 και το ευρωπαϊκό Neuron, στο οποίο συμμετέχει κι η Ελλάδα. Οι κατασκευές αυτές θεωρείται ότι θα μπορέσουν ν' αντικαταστήσουν εν μέρει τα επανδρωμένα αεροσκάφη σ' επικίνδυνες αποστολές με χαμηλότερο κόστος.

Τα κυριότερα ευρωπαϊκά μαχητικά 4^{ης} γενιάς :



Εικόνα 7.14 : Το πολυεθνικό (Αγγλία, Γερμανία, Ιταλία, Ισπανία) Eurofighter Typhoon.



Εικόνα 7.15 : Το Γαλλικό Dassault Rafale.



Εικόνες 7.16 : Τα σουηδικά Saab JAS-39 Gripen.

Τα δύο ρωσικά μαχητικά 4^{ης} γενιάς :



Εικόνα 7.17 : Το Sukhoi S-37 Berkut ήταν ένα πειραματικό μοντέλο μ' εμπροσθοκλινείς πτέρυγες.



Εικόνα 7.18 : Το MiG-1.42 ήταν η σχεδίαση που κέρδισε τον διαγωνισμό για το καινούριο ρωσικό μαχητικό 4^{ης} γενιάς, που τελικά ακυρώθηκε πριν αρχίσει η παραγωγή του αεροσκάφους.

Σχέδια μελλοντικών αεροσκαφών stealth :



Εικόνα 7.19 : Το πρωτότυπο X-45 της Boeing για μία σχεδίαση stealth UCAV



Εικόνα 7.20 : Σχηματική απεικόνιση του ευρωπαϊκού UCAV Neuron, στο οποίο μετέχει κι η Ελλάδα.



Εικόνα 7.21 : Μία άλλη όψη του UCAV Neuron.



Εικόνα 7.22 : Σχέδιο της Boeing για μελλοντικό αεροσκάφος stealth.



ΤΕΛΟΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Dong Richardson “Stealth Warplanes”, εκδόσεις MBI Publishing (2001)
- 2) Bill Holder & Mike Wallace, “Lockheed F-117 Nighthawk”, εκδόσεις Publishing Ltd (1996)
- 3) Don Greer, “B-2 spirit”, εκδόσεις Squadron/Signal (2002)
- 4) Mel Williams, “Super fighters- The next generation of combat aircraft”, εκδόσεις Airtime Publishing (2002)
- 5) Steve Crawford, “Twenty-first century warplanes”, εκδόσεις MBI Publishing (2002)
- 6) Mark Atrill, “Dressed to kill-one-off air force colour schemes”, εκδόσεις Air life (2002)
- 7) Mike Spick, “Modern fighters”, εκδόσεις Salamander Books (2001)
- 8) Βασίλης Σιταράς, “Το πολεμικό αεροσκάφος- 100 χρόνια εξέλιξης”, εκδόσεις Περισκόπιο (2004)
- 9) Νικόλαος Μαλαχίας & Γεώργιος Σάγος, “Αρχές ραντάρ και ηλεκτρονικού πολέμου”, εκδόσεις Παπασωτηρίου (1998)
- 10) Περιοδικό “Πτήση και διάστημα”, τεύχη : 168, 213, 222, 223, 228, Τεχνικές εκδόσεις Α.Ε.
- 11) Περιοδικό “Cockpit”, τεύχη : 28, 35, 58, εκδόσεις Επικοινωνίες Α.Ε.
- 12) Περιοδικό “Σύγχρονη αεροπορία και ναυτικό”, τεύχη : 38, 46, εκδόσεις Περισκόπιο
- 13) Περιοδικό “Αμυντική επιθεώρηση”, τεύχος : 34, εκδόσεις Περισκόπιο
- 14) Περιοδικό “Αεροπορική ιστορία”, τεύχη : 27, 38, εκδόσεις Περισκόπιο
- 15) Διαδικτυακοί τόποι των εταιρειών : Lockheed Martin Boeing, Northrop Grumman, BAE Systems
- 16) Διαδικτυακός τόπος : www.airliners.net
- 17) Διαδικτυακός τόπος : www.google.com