



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΡΗΤΗΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟ, ΚΥΡΙΟ ΣΤΡΟΦΕΙΟ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ ΚΑΙ Η  
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ**



**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΔΟΥΜΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΕΥΛΟΥΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ 4477**

***ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2013***

## Περιεχόμενα

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	3
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	10
ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ .....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	13
ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΥΡΙΟΥ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ .....	13
3.1 ΚΕΦΑΛΕΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ (ROTOR HEADS) .....	13
3.2 ΗΜΙΑΡΘΡΩΤΕΣ ΚΕΦΑΛΕΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ .....	16
3.2.1. Bell 47 .....	17
3.2.2. Bell 206 .....	18
3.3 ΠΛΗΡΩΣ ΑΡΘΡΩΤΕΣ ΚΕΦΑΛΕΣ ΣΤΡΟΦΕΙΩΝ .....	21
3.3.1. S-58 .....	22
3.3.2. Hughes 500C .....	25
3.3.3. Hughes 500D .....	30
3.3.4. S-76 .....	30
3.3.5. AStar 350 .....	32
3.3.6. BO 105 .....	35
3.3.7. Bell 412 .....	36
3.4 ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ .....	37
3.4.1. Ξύλινα πτερύγια .....	38
3.4.2. Μεταλλικά πτερύγια .....	40
3.4.3. Πολυεστερικές ή συνθετικές πτέρυγες στροφείου. ....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	49
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΕΦΑΛΗΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ .....	49
4.1 ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΠΤΕΡΥΓΑΣ .....	59
4.2 ΣΤΑΤΙΚΗ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ .....	64
4.3 ΔΟΝΗΣΕΙΣ (VIBRATION) .....	75
4.3.1. Δονήσεις Χαμηλής Συχνότητας (Low Frequency Vibrations) .....	78
4.3.2. Δονήσεις Μέσης Συχνότητας. (Medium Frequency Vibrations) .....	79
4.3.3. Δονήσεις Υψηλής Συχνότητας (High Frequency Vibrations) .....	79
4.4 ΕΥΡΕΣΗ ΊΧΝΟΥΣ - ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ (TRACKING) .....	80
4.4.1. Η Μέθοδος του Καλαμιού (Stick Method) .....	80
4.4.2. Η Μέθοδος της Σημαίας (Flag Method) .....	82
4.4.3. Η Μέθοδος της Ανακλάσεως του Φωτός (Light Reflector Method) .....	84
4.4.4. Η Μέθοδος της Προανίχνευσης (Pretrack Method) .....	85
4.4.5. Ηλεκτρονικό Σύστημα Strobe (Στροβοσκόπιο) .....	86
4.4.6. Ζυγοσταθμιστικά Πτερύγια (Trim Tabs) .....	90
4.4.7. Διασταύρωση Πτέρυγας ή Ανοδική Πτέρυγας (Blade Crossover or Climbing Blade) .....	92
4.5 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ (SPANWISE DYNAMIC BALANCE OF MAIN ROTOR) .....	93
4.6 BLADE SWEEPING (ΣΑΡΩΣΗ Ή ΟΠΙΣΘΟΚΛΙΣΗ ΠΤΕΡΥΓΑΣ) .....	94
4.7 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ (ELECTRONIC BALANCING) .....	97
4.8 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ .....	103
4.8.1. Υδραυλικός Αποσβεστήρας (Hydraulic Dampener) .....	103
4.8.2. Αποσβεστήρες πολλαπλών δίσκων (Multiple disk dampener) .....	104
4.8.3. Ελαστομερικοί αποσβεστήρες (ELASTOMERIC DAMPENERS) .....	106
4.8.4. Ρύθμιση αντίβαρων .....	110
4.8.5. Ρυθμίσεις αυτοπεριστροφής. ....	111
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	116

## **ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**Σκοπός** της εργασίας είναι να μελετήσουμε αναλυτικά την δομή του κυρίου στροφείου του ελικοπτέρου, ώστε να κατανοήσουμε την λειτουργία του, με στόχο την βέλτιστη συντήρησή του.

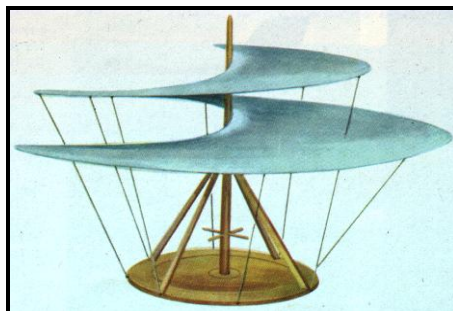
## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ελικόπτερο είναι ένα αεροσκάφος που ανυψώνεται και κινείται με τη βοήθεια ενός ή περισσοτέρων στροφείων που αποτελούνται από δύο ή περισσότερους έλικες. Η λέξη "ελικόπτερο" έχει προσαρμοστεί από το γαλλικό *hélicoptère*, που επινοήθηκε από τον Gustave de Ponton d'Amécourt το 1861, από τις ελληνικές λέξεις έλιξ και πτερό. Τα πλεονεκτήματα του ελικοπτέρου οφείλονται στις περιστρεφόμενες έλικες του στροφείου που περιστρέφονται μέσα στον αέρα, παρέχοντας άντωση χωρίς να απαιτείται για το αεροσκάφος να κινηθεί προς τα εμπρός. Αυτό δίνει την ικανότητα στο ελικόπτερο να απογειωθεί και να προσγειωθεί κάθετα, χωρίς την ανάγκη διαδρόμου. Για το λόγο αυτό, τα ελικόπτερα χρησιμοποιούνται συχνά σε δύσβατες και απομονωμένες περιοχές όπου αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας δεν είναι σε θέση να απογειωθούν ή να προσγειωθούν. Η άντωση από το στροφείο επιτρέπει στο ελικόπτερο να αιωρείται ακίνητο (*hovering*) κάνοντας το να επιχειρεί πιο αποτελεσματικά από κάθε άλλο είδος αεροσκάφους. Το ελικόπτερο απαιτεί μεγάλη επιδεξιότητα και κατάρτιση, καθώς και η συνεχής προσοχή. Ο πιλότος πρέπει να σκέπτεται σε τρεις διαστάσεις και πρέπει να χρησιμοποιεί και τα δύο χέρια και τα δύο πόδια συνεχώς για να κρατήσει το ελικόπτερο στον αέρα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ**

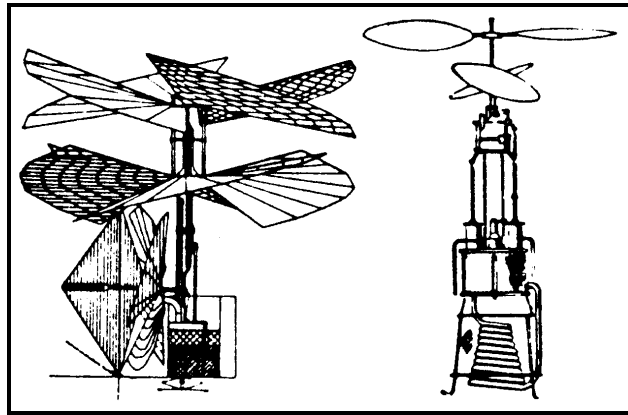
Η δημιουργία του ελικοπτέρου υπήρξε ένα όνειρο εκατοντάδων ετών. Το πρώτο σχεδιάγραμμα μιας τέτοιας συσκευής χρονολογείται το 1483 και ο σχεδιαστής ήταν ο Leonardo da Vinci. Η συσκευή αυτή ήταν μια "αερόβιδα" που είχε την ικανότητα να κινείται κάθετα μέσα στην αεροροή, με ένα στροφείο κατασκευασμένο από πτερύγια μήκους 96 ποδιών (σχ. 1.1)



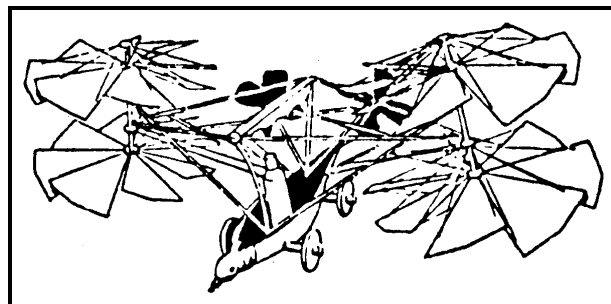
Σχ. 1. 1 Εναέριος κοχλίας του Leonardo da Vinci

Μέχρι το τέλος του 18ου αιώνα, δεν εκδηλώθηκε κανένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την κατασκευή μιας ιπτάμενης μηχανής. Στο τέλος του αιώνα όμως εκδηλώθηκε ταυτόχρονο ενδιαφέρον από τους Γάλλους και τους Άγγλους.

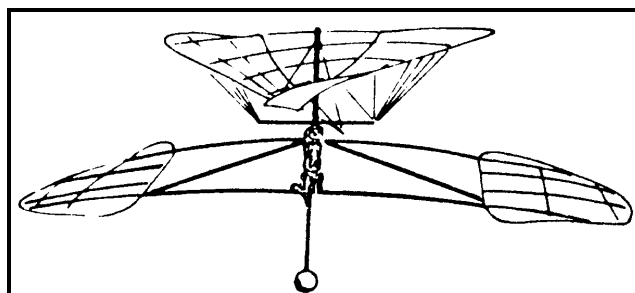
Ο Jean Pierre Blanchard πέταξε ένα είδος ελικοπτερου (σχ. 1.2) για λογαριασμό της Γαλλικής Ακαδημίας Επιστημών (French Academie de Sciences), ενώ ο Sir George Caley, για την Αγγλία, παρουσίασε πολλά σχέδια ελικοπτέρων (σχ. 1.3) και παράλληλα έδωσε διαλέξεις γύρω από τις βασικές αρχές πτήσεως του ελικοπτερου. Το πρώτο πάντως ανυψωθέν (ατμοκίνητο) ελικόπτερο ανήκει στον Enrico Forlanini το 1877 (σχ. 1.4).



Σχ. 1. 2 Σχέδια Jean Pierre Blanchad, 1861



Σχ. 1. 3 Σχέδιο ελικοπτερου 4 στροφειο (Sir George Galley)



Σχ. 1. 4 Το πρώτο ανυψωθέν ελικόπτερο του Enrico Forlanini.

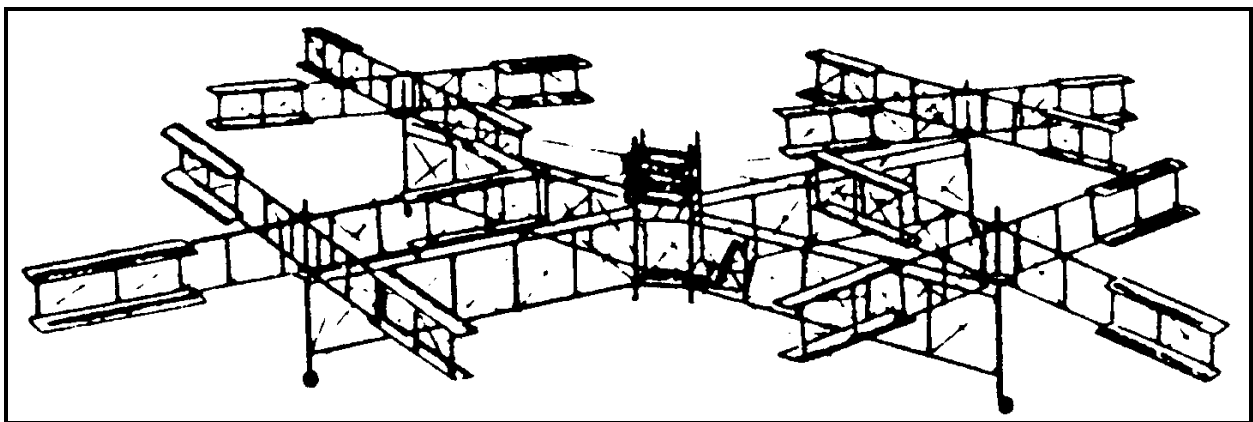
Μέσα στο 19ο αιώνα, με την ανακάλυψη των κινητήρων εσωτερικής καύσης, ερευνητές από όλα τα έθνη άρχισαν να ασχολούνται ξανά με το πρόβλημα της πτήσης. Παρόλα αυτά όμως δεν παρουσιάστηκε καμία βελτίωση στο θέμα αυτό. Προς το τέλος του 19ου αιώνα και αρχές του 20ου, δόθηκε μεγάλη έμφαση στην κατασκευή αυτοκινούμενων αεροπτερου.

Ο Thomas Edison έκανε κατανοητή την κατάσταση που παρουσιάζεται στα αεροσκάφη κινητών πτερυγων δηλώνοντας ότι ο μεγάλος περιορισμός στη δημιουργία

ενός ελικοπτέρου αυτή την εποχή ήταν η έλλειψη ενός ισχυρού αλλά και μικρού βάρους κινητήρα. Αυτό το πρόβλημα φυσικά δεν ίσχυε για τα αεροσκάφη σταθερών πτερύγων καθώς αυτά είχαν και τη βοήθεια του αέρα για την ανύψωσή τους.

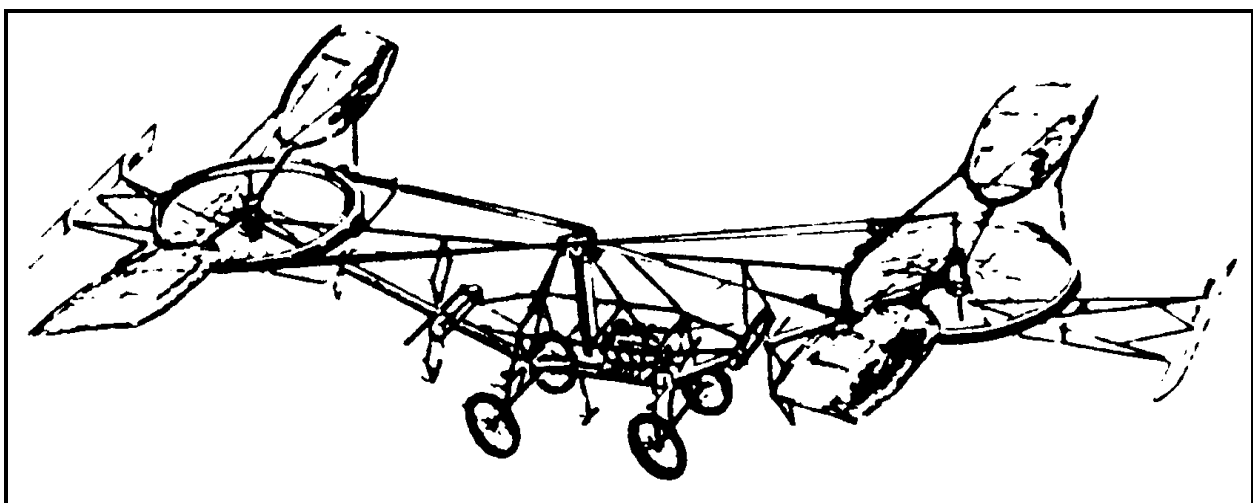
Το 1903 οι αδελφοί Wright πραγματοποιούν την πρώτη επανδρωμένη πτήση σε αεροσκάφος με κινητήρα. Με την επιτυχία τους αυτή, έστρεψαν όλα τα βλέμματα των ερευνητών από τα αεροσκάφη κινητών πτερύγων στα αεροσκάφη σταθερών πτερύγων. Μόνο λίγοι από αυτούς μπόρεσαν να συνειδητοποιήσουν τα μειονεκτήματα του αεροσκάφους σταθερών πτερύγων, ότι δηλαδή χρειάζεται μεγάλο διάδρομο για απογείωση και προσγείωση, καθώς και μεγάλη εμπρόσθια ταχύτητα για να αποφύγει την απώλεια στήριξης.

Το 1907 οι Γάλλοι Louis Breguet και ο καθηγητής Richet, κατασκεύασαν ένα ελικόπτερο με κινητήρα 45 hp και 4 πτερύγια στροφείου (σχ. 1.5).



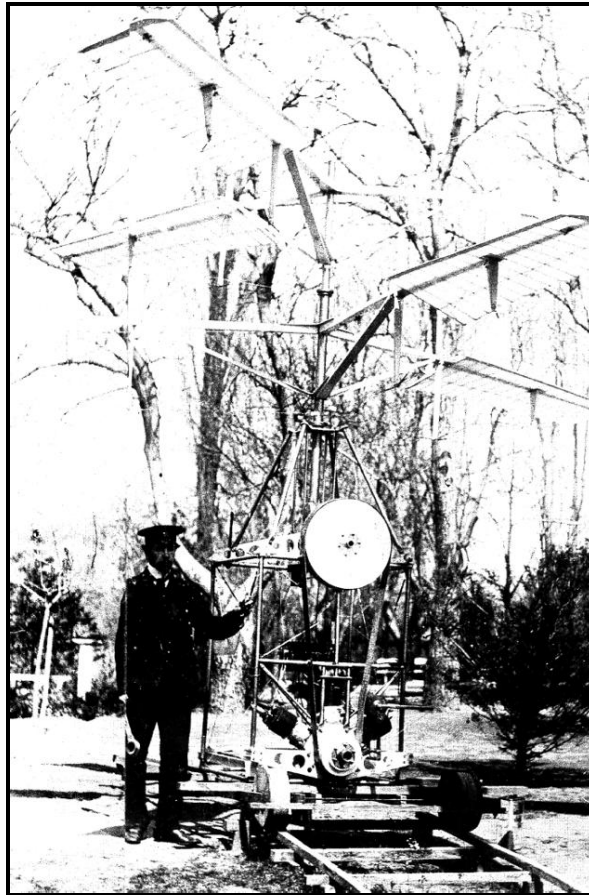
Σχ. 1. 5 Το ελικόπτερο των Γάλλων Breguet & Richet που έφτασε το 1908 σε ύψος 15 ft και απόσταση 60 ft.

Η μηχανή αυτή ανυψώθηκε περίπου 15 πόδια. Δεν πήρε όμως τον χαρακτηρισμό της πρώτης πτήσης με ελικόπτερο λόγω του ότι κρατιόταν σε σταθερή θέση από 4 βοηθούς στο έδαφος. Αντίθετα ο χαρακτηρισμός αυτός δόθηκε σε ένα άλλο Γάλλο, τον Paul Cornu, μερικές βδομάδες αργότερα (13/11/1907), ο οποίος πραγματοποίησε πτήση 5 ποδιών πάνω από το έδαφος χωρίς βοήθεια και με επιπλέον επιβάτη (σχ. 1.6)



Σχ. 1. 6 Με βενζινοκινητήρα 24 hp, το ελικόπτερο του Γάλλου Paul Cornu ήταν το πρώτο που ανυψώθηκε μεταφέροντας 3 επιβάτες.

Το 1910 ένας νέος Ρώσος σχεδιαστής με το όνομα Igor Sikorsky κατασκεύασε ένα ομοαξονικό ελικόπτερο με κινητήρα 25 hp. Το ελικόπτερο αυτό ήταν ικανό να σηκώνει μόνο το ίδιο του το φορτίο (σχ. 1.7)



Σχ. 1. 7 Το πρώτο αμφιλεγόμενο Ρωσικό ελικόπτερο του Igor Sikorsky.

Την εποχή αυτή ο ταλαντούχος αυτός σχεδιαστής είχε επικεντρώσει το ενδιαφέρον του στα αεροσκάφη σταθερών πτερύγων και μόνο πολλά χρόνια αργότερα ασχολήθηκε αποκλειστικά με τα ελικόπτερα.

Κατά τη διάρκεια του 1/4 του αιώνα, μετά από την πρώτη πτήση των Wright, σχεδιαστές όλων των εθνότητων άρχισαν να ασχολούνται με τα αεροσκάφη κινητών πτερύγων. Κανένα από αυτά δεν πέρασε τα τεστ στα οποία υποβλήθηκε. Παρόλα αυτά όμως οι σχεδιαστές διδάχθηκαν πάρα πολλά σχετικά με το ελικόπτερο, κάτι που τους βοήθησε αργότερα στην σχεδίαση ενός επιτυχημένου ελικοπτέρου. Τα προβλήματα που είχαν να λύσουν ήταν τριών κατηγοριών.

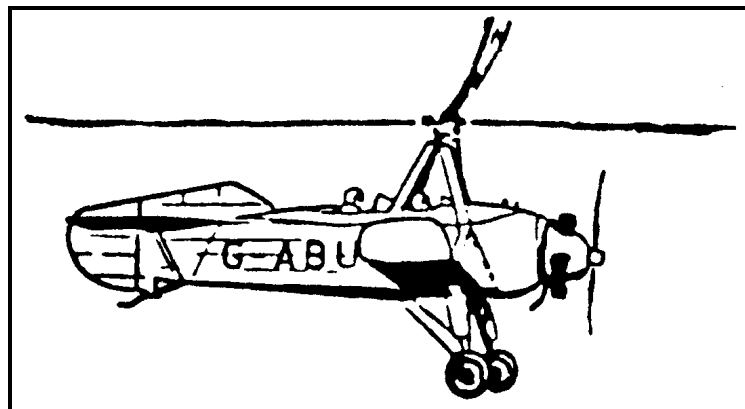
1. Η ροπή του κινητήρα και του στροφείου έτεινε να στρέφει την άτρακτο του ελικοπτέρου σε διεύθυνση αντίθετη από το στροφείο.
2. Η περιστρεφόμενη μάζα του στροφείου επηρεαζόταν από τη γυροσκοπική προπορεία. (Γυροσκοπική προπορεία είναι η τάση του στροφείου να αντιλαμβάνεται την κλίση του 90ο μακριά από το σημείο εφαρμογής της.

3. Η δύναμη αντώσεως που παράγει το προχωρούν πτερύγιο είναι μεγαλύτερη από την άντωση που παράγει το υποχωρούν πτερύγιο, έχοντας σαν αποτέλεσμα ασυμμετρία αντώσεως που θα μπορούσε να αναποδογυρίσει το ελικόπτερο.

Σε πείσμα όλων αυτών των προβλημάτων, τα πειράματα συνεχίστηκαν και το 1920. Ένας ερευνητής ήταν και ο de la Cierva, που είχε σχεδιάσει το πρώτο Ισπανικό αεροσκάφος σταθερών πτερύγων. Μετά όμως από την συντριβή ενός από τα αεροσκάφη του εξαιτίας απώλειας στήριξης, αφιέρωσε το υπόλοιπο της ζωής του στην κατασκευή ενός πιο ασφαλούς, χαμηλής ταχύτητας αεροσκάφους που να μην εξαρτάται από την εμπρόσθια ταχύτητα του η επιτυχημένη του προσγείωση. Για να τα πετύχει όλα αυτά σχεδίασε ένα αεροσκάφος το οποίο είχε ελεύθερες τις πτέρυγές του να περιστρέφονται γύρω από τον κάθετο άξονα τους, δίνοντας έτσι στα πτερύγια τη δικιά τους ταχύτητα.

Η εφεύρεση του Cierva έδωσε τη δυνατότητα σε ένα απλό αεροσκάφος να παράγει εμπρόσθια ώση περιστρέφοντας ελεύθερα τα πτερύγια του και παράγοντας άντωση. Αυτό το είδος κίνησης είναι γνωστό σαν αυτοπεριστροφή. Από αυτό πήραν το όνομα τους τα αυτόγυρα. Το πρώτο μοντέλο που δημιούργησε ο Cierva είχε δύο αντιπεριστρεφόμενους ρότορες. Έτσι έλπιζε ότι θα εξουδετερώσει τα γυροσκοπικά φαινόμενα και ότι θα ομαλοποιούσε την ασυμμετρία αντώσεως. Δυστυχώς η ανομοιογενής συμπεριφορά της αεροροής γύρω από τα δύο στροφεία δημιούργησε νέα προβλήματα. Ο Cierva τότε αποφάσισε να σχεδιάσει ένα ελικόπτερο με μονό στροφείο, παρόλο που ήξερε τα προβλήματά του. Οι δύο πρώτες του προσπάθειες απότυχαν. Όμως η επόμενη προσπάθεια, με νέα σχεδίαση που έλυσε τα προβλήματα του αυτόγυρου, άνοιξε το δρόμο για την κατασκευή του ελικοπτέρου. Τα πτερύγια του νέου αυτού στροφείου ήταν έτσι συνδεδεμένα ώστε να έχουν ελευθερία κίνησης πάνω-κάτω (κώπιση), κατά τη διάρκεια της πτήσεως. Ο γυγγλισμός κώπησης επέτρεπε στα πτερύγια να εξουδετερώνουν κάθε αλλαγή στην ταχύτητα και στην άντωση. Εκτός από το γυγγλισμό κώπησης, ο Cierva τοποθέτησε και γυγγλισμό παλινδρόμησης (κίνηση μπρος-πίσω).

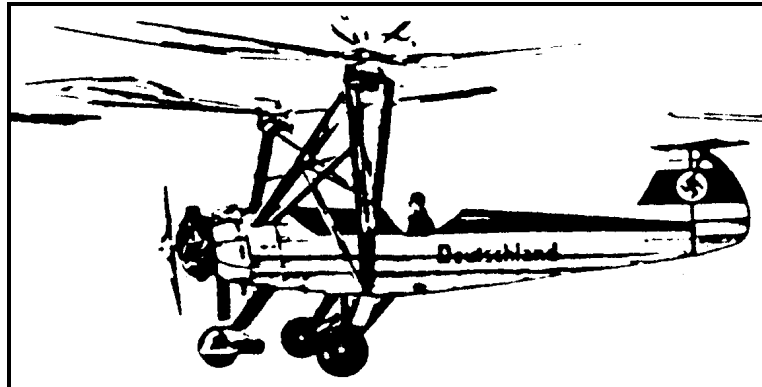
Η μηχανή του Cierva μπορούσε να προσγειώνεται χωρίς ισχύ (αυτοπεριστροφή), αλλά και να αλλάζει βήμα κατά την πτήση (σχ. 1.8).



Σχ. 1. 8 Το αυτόγυρο του Ισπανού Juan de la Cierva, από όπου προ ήλθε η διάταξη κώπησης των στροφείων

Το 1936, εποχή του θανάτου του Σίενα, το αυτόγυρο είχε καθιερωθεί και κατασκευαστεί σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες αλλά και στις ΗΠΑ. Το πραγματικό ελικόπτερο όμως εξακολουθούσε να είναι άπιαστο όνειρο.

Το 1937, παρουσιάστηκε στο Βερολίνο και μπροστά σε ένα τεράστιο ακροατήριο από την Hanna Reitsch (η πρώτη γυναίκα πιλότος ελικοπτέρου) το Focke-Achgelis FW-61. Σε μια περιοχή 100X250 ft αιώρησε, κίνησε μπροστά και πίσω, αλλά και έκανε στροφή 360ο στο σκάφος της. Το ελικόπτερο αυτό αργότερα έσπασε όλα τα ρεκόρ και βοήθησε ώστε να καταρρεύσουν όλες οι αμφιβολίες σχετικά με το μέλλον του ελικοπτέρου (σχ. 1.9).



Σχ. 1. 9 Το πρώτο πραγματικά επιτυχές ελικόπτερο είναι το Γερμανικό Focke-Achgelis, που πέταξε τον Ιούνιο του 1937 και κράτησε όλα τα ρεκόρ μέχρι το 1939.

Ο Anto Flettner, ένας άλλος Γερμανός σχεδιαστής ελικοπτέρων, ανακάλυψε το σύστημα συγχρονισμένων στροφείων, το οποίο είχε δύο αντιστροφόμενα στροφεία, το ένα δίπλα στο άλλο. Το 1941, ένα άλλο μοντέλο του Flettner μπήκε σε μαζική παραγωγή για την προστασία των Γερμανικών νηοπομπών από τα εχθρικά υποβρύχια. Αν δεν ήταν ο Δεύτερος Παγκόσμιος πόλεμος, το ελικόπτερο αυτό θα είχε σπάσει κάθε άλλο ρεκόρ πτήσης.



Το 1939, 30 χρόνια ύστερα από την πρώτη αποτυχημένη του προσπάθεια, ο Igor Sikorsky ξαναγύρισε στον τομέα των ελικοπτέρων με το μοντέλο του VS-300 (το πρώτο με ουραίο στροφέιο) και το Μάιο του 1941 έσπασε το ρεκόρ πτήσης με ελικόπτερο που κατείχε το FW -61 (σχ. 1.10).



Σχ. 1. 10 Η βιομηχανία των ελικοπτέρων άρχισε το 1939 στις ΗΠΑ με το Sikorsky VS-300 που ήταν το πρώτο ελικόπτερο

Το 1942 ο Sikorsky άρχισε την παραγωγή του μοντέλου R-4 (σχ. 1.11), κατασκευάζοντας περίπου 400 από αυτά, για να καλύψει τις ανάγκες του στρατού, της αεροπορίας, αλλά και του ναυτικού των ΗΠΑ.



Σχ. 1. 11 Επιχείρηση διάσωσης από το Αμερικανικό Ναυτικό με ένα HNS-1 (R-4B) ελικόπτερο της Sikorsky.

Μετά από αυτή την πρώτη μαζική παραγωγή, νέες εταιρείες παρουσιάστηκαν στο χώρο του ελικοπτέρου όπως η Bell, Hiller, και Piasecki. Μια νέα γενιά αεροσκαφών περιστρεφόμενων πτερύγων, γεννιόταν. Τα αεροσκάφη αυτά δημιούργησαν την πρώτη γενιά ελικοπτέρων. Τα περισσότερα από αυτά τα ελικόπτερα κατασκευάζονταν με ένα κεντρικό στροφέιο και ένα στροφέιο αντιρρολής, όπως ακριβώς είχε δείξει η εφεύρεση του Sikorsky.

Παρόλο που τα ελικόπτερα αυτά στερούντο επιθυμητών χαρακτηριστικών όπως αξιοπιστία και δυνατότητα συντήρησης, η ζήτησή τους από την αγορά συνεχίστηκε. Κατά τις επόμενες δεκαετίες συνεχίστηκαν οι βελτιώσεις στο ελικόπτερο μέχρι που κατόρθωσε να κερδίσει το σεβασμό και την αξιοπιστία όλων. Το μοναδικό στοιχείο που καθυστέρουσε τη δημιουργία ενός τέλει ελικοπτέρου ήταν ο κινητήρας του. Λόγω του ότι κυκλοφορούσαν ελάχιστα ελικόπτερα σε σχέση με τα αεροπλάνα, ήταν αντικοινωνική η σχεδίαση ενός κινητήρα ειδικά για το ελικόπτερο. Έτσι στα ελικόπτερα τοποθετούσαν κινητήρες αεροπλάνων με κάποια σχετική μετατροπή. Όμως καθώς το ενδιαφέρον της πολεμικής αεροπορίας μεγάλωνε για τα ελικόπτερα, οδήγησε στη σχεδίαση ειδικών στροβιλοκινητήρων για το ελικόπτερο. Οι νέοι αυτοί κινητήρες δημιούργησαν τη δεύτερη γενιά ελικοπτέρων. Η γενιά αυτή είχε αυξήσει τις ικανότητες του ελικοπτέρου, την αξιοπιστία του, αλλά και την ευκολία συντήρησής του. Άνοιξε επίσης και ένα νέο δρόμο στην αγορά του ελικοπτέρου σαν μεταγωγικό μέσον.

Σήμερα με την τρίτη γενιά των ελικοπτέρων, έχει δημιουργηθεί ένας τεράστιος στόλος, αντίστοιχος των αεροπλάνων. Η γενιά αυτή ήδη έχει διευρύνει τους τομείς απασχόλησής της, στην γεωργία, στη βιομηχανία, κλπ., κάνοντας την κάθε εργασία οικονομικότερα και αποδοτικότερα από κάθε άλλο μέσον.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ**

Τα βασικά μέρη του ελικόπτερου έχουν αναπτυχθεί έτσι ώστε να καλύπτονται οι αυξημένες ανάγκες μιας τέτοιας πτητικής μηχανής.

Οι οποίες είναι:

- ένα κατάλληλο κινητήρα με μεγάλη αναλογία ισχύος- βάρους
- ένας μηχανισμός εξισορρόπησης που θα αντισταθμίζει τη στρεπτική ροπή που δημιουργεί ο κύριος έλικας
- κατάλληλα χειριστήρια ώστε το αεροσκάφος να καθοδηγείται με ακρίβεια και ασφάλεια
- ένα ελαφρύ σκελετό
- ένα μέσο για τη μείωση των κραδασμών

#### **Αναλυτικά τα μέρη του ελικοπτέρου:**

**Κύριο στροφέιο** - Το κύριο στροφέιο εκτελεί την ίδια λειτουργία όπως και τα φτερά ενός αεροπλάνου, που παρέχει άντωση καθώς τα πτερύγια περιστρέφονται. Η άντωση είναι μια από τις κύριες δυνάμεις που κρατάν στον αέρα το αεροσκάφος. Ένας χειριστής μπορεί να αυξομειώσει την άντωση αλλάζοντας την ταχύτητα περιστροφής του στροφέιου ή της γωνίας προσβολής, η οποία είναι η γωνία προσβολής του πτερυγίου σε σχέση με τον επερχόμενο σχετικό άνεμο.

**Ιστός στροφείου** - Ο ιστός για να μεταφέρει την περιστροφική κίνηση στο στροφείο

**Μετάδοση** - Όπως σε κάθε όχημα με κινητήρα, η μετάδοση ενός ελικοπτέρου μεταδίδει ισχύ από τον κινητήρα στο κύριο και ουραίο στροφείο. Το βασικό κιβώτιο ταχυτήτων ελαττώνει την ταχύτητα του κύριου στροφείου, έτσι ώστε να μην περιστρέφεται τόσο γρήγορα όσο ο άξονας του κινητήρα. Ένα δεύτερο κιβώτιο κάνει το ίδιο για το ουραίο στροφείο το οποίο παρόλο που είναι πολύ μικρότερο, μπορεί να περιστρέφεται ταχύτερα από το κύριο στροφείο.

**Κινητήρας** - Ο κινητήρας παράγει ισχύ για το αεροσκάφος. Τα πρώτα ελικόπτερα χρησιμοποιούσαν εμβολοφόρους βενζινοκινητήρες αλλά τα σύγχρονα ελικόπτερα χρησιμοποιούν αεροστρόβιλους κινητήρες, όπως τα εμπορικά αεροπλάνα.

**Άτρακτος** - Το κύριο σώμα του ελικοπτέρου είναι γνωστό ως άτρακτος. Σε πολλά ελικόπτερα χρησιμοποιείται πλαστικός θόλος χωρίς πλαίσιο, ο οποίος περιβάλλει τον πιλότο και συνδέεται στο πίσω μέρος σε ένα πλαίσιο από αλουμίνιο. Το αλουμίνιο άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως σε αεροναυτικές εφαρμογές μετά τις αρχές της δεκαετίας του 1920, αλλά η εμφάνισή του βοήθησε τους μηχανικούς να φτιάχνουν ελικόπτερα ελαφρύτερα και, ως εκ τούτου, πιο εύκολο να πετάξουν.

**Μοχλός κυκλικού βήματος κυρίως στροφείου (Cyclic-pitch lever)** - ο πιλότος ελέγχει το βήμα ή τη γωνία πτερυγίων με δύο τρόπους: το μοχλός κυκλικού βήματος και το μοχλό συλλογικού βήματος. Ο μοχλός κυκλικού βήματος βγαίνει από το πάτωμα του πιλοτηρίου και βρίσκεται ανάμεσα στα πόδια του πιλότου, και επιτρέπει σε αυτόν να γείρετε το σκάφος πλάγια ή προς τα εμπρός ή πίσω (σχ. 2.1)



Σχ. 2.1 Μοχλός κυκλικού βήματος κυρίως στροφείου

**Μοχλός συλλογικού βήματος κύριου στροφείου (Collective-pitch lever)** -

Ο μοχλός αυτός είναι υπεύθυνος για τις κινήσεις πάνω-κάτω. Για παράδειγμα, κατά την απογείωση ή την απογείωση, ο πιλότος χρησιμοποιεί το μοχλό αυτόν για την αύξηση του βήματος των πτερυγίων του στροφείου συγχρονώνως κατά τον ίδιο βαθμό (σχ. 2.2).



Σχ. 2.2 Μοχλός συλλογικού βήματος κύριου στροφείου

**Ποδοστήρια ουραίου στροφείου** - Ένα ζευγάρι πεντάλ που ελέγχει το ουραίο στροφείο. Χρησιμεύουν για να στρέψουν τη μύτη του ελικοπτήρου προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση, δηλαδή πατώντας το δεξί ποδοστήριο η ουρά του ελικοπτήρου στρίβει προς τα αριστερά με αποτέλεσμα η μύτη να στρίβει δεξιά και αντίστροφα άμα πατήσουμε το αριστερό (σχ. 2.3).



Σχ. 2.3 Ποδοστήρια ουραίου στροφείου

**Ουρά** - Η ουρά εκτείνεται έξω από το πίσω μέρος της ατράκτου και στηρίζει το ουραίο στροφείο. Σε ορισμένα μοντέλα, η ουρά δεν είναι τίποτα περισσότερο από ένα πλαίσιο από αλουμίνιο. Σε άλλες περιπτώσεις, είναι ένας κούφιος σωλήνας από ανθρακόνημα ή αλουμίνιο.

**Ουραίο στροφείο** - Χωρίς ουραίο στροφείο, το κύριο στροφείο του ελικοπτήρου θα περιέστρεφε απλώς την άτρακτο κατά την αντίθετη κατεύθυνση, το λεγόμενο γυροσκοπικό φαινόμενο.

**Πέδιλα προσγείωσης** - Κάποια ελικόπτερα έχουν τροχούς, άλλα έχουν πέδιλα, τα οποία είναι κούφιοι σωλήνες χωρίς τροχούς ή φρένα. Μερικά μοντέλα έχουν συνδυασμό με τροχούς και πέδιλα.

Το κύριο στροφείο, φυσικά, είναι το πιο σημαντικό μέρος ενός ελικοπτέρου. Είναι επίσης το πιο σύνθετο όσον αφορά την κατασκευή και τη λειτουργία του. Για το λόγο αυτό και θα ασχοληθούμε εκτενέστερα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΥΡΙΟΥ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ**

#### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

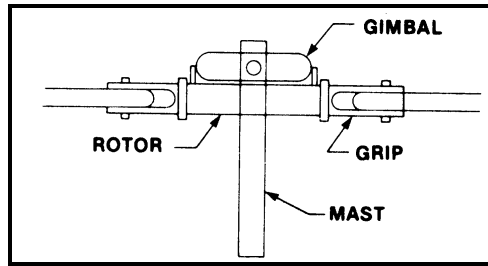
Το κύριο στροφείο του ελικοπτέρου είναι ότι και οι πτέρυγες για το αεροπλάνο. Επιπροσθέτως δε των ήδη γνωστών τάσεων που εφαρμόζονται στην πτέρυγα του αεροσκάφους, το στροφείο δέχεται και άλλες καταπονήσεις που οφείλονται κυρίως στις φυγοκεντρικές δυνάμεις που αναπτύσσονται πάνω του. Οι δυνάμεις αυτές σε συνδυασμό με την περιστροφή του στροφείου που δημιουργεί δονήσεις, ροπές και ταλάντωση, θέτουν το στροφείο σε μια συνεχή και σύνθετη καταπόνηση καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Η προσπάθεια όλων των κατασκευαστών είναι να κατασκευάσουν ένα σύστημα κυρίως στροφείου όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστο, με λιγότερη συντήρηση και μεγαλύτερες δυνατότητες. Μέσα από συνεχείς έρευνες και εξελίξεις, το κυρίως στροφείο έχει παρουσιάσει μεγάλες βελτιώσεις. Οι βελτιώσεις αυτές έχουν αυξήσει το χρόνο λειτουργίας των εξαρτημάτων του, έχουν μειώσει τη συντήρηση και αύξησαν τις επιδόσεις του σε άντωση και ταχύτητα. Οι διάφοροι αυτοί σχεδιασμοί του κυρίως στροφείου έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το τελικό αποτέλεσμα όμως είναι η δημιουργία ενός κυρίως στροφείου με περισσότερα πλεονεκτήματα και όσο το δυνατόν λιγότερα προβλήματα. Σήμερα κυκλοφορούν αρκετά διαφορετικά συστήματα κυρίων στροφείων, με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά το καθένα.

#### **3.1 ΚΕΦΑΛΕΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ (ROTOR HEADS)**

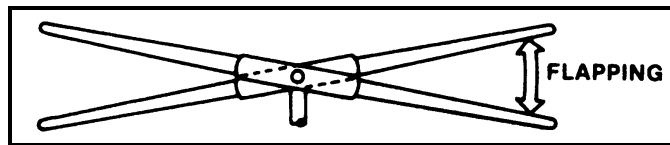
Οι κεφαλές στροφείου που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι δύο βασικών τύπων: η πλήρως αρθρωτή κεφαλή (fully articulated head) και η ημιαρθρωτή κεφαλή (semirigid head). Το σύστημα του άκαμπτου ή σταθερού στροφείου (head Igor) έχει χρησιμοποιηθεί πειραματικά και στα πρώτα κυρίως ελικόπτερα.

Η ημιαρθρωτή κεφαλή συγκρατεί δύο πτερύγια και τα βασικότερα τμήματά της βρίσκονται χαμηλότερα από την κορυφή του ιστού (mast). Η θέση τους αυτή αυξάνει την ευστάθεια του στροφείου (σχ. 3.1).



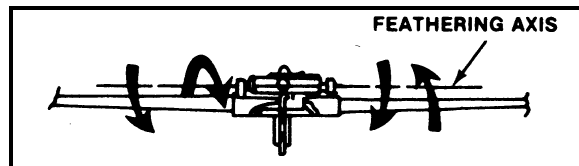
Σχ. 3. 1 Τυπικό ημιαρθρωτό στροφέιο

Η κεφαλή πρέπει ακόμη να έχει τη δυνατότητα ταλαντευτικής κίνησης (seesaw) που επιτυγχάνεται με τη χρήση δακτυλίων ανάρτησης (gimbal rings) ή με την τοποθέτηση ενός συγκροτήματος στροφέα (trunnion) στο άνω τμήμα του στροφέιου. Οι μηχανισμοί αυτοί εξισορροπούν την άντωση που παράγεται από τα "προχωρούν" και "ακολουθούν" πτερύγια (σχ. 3.2).



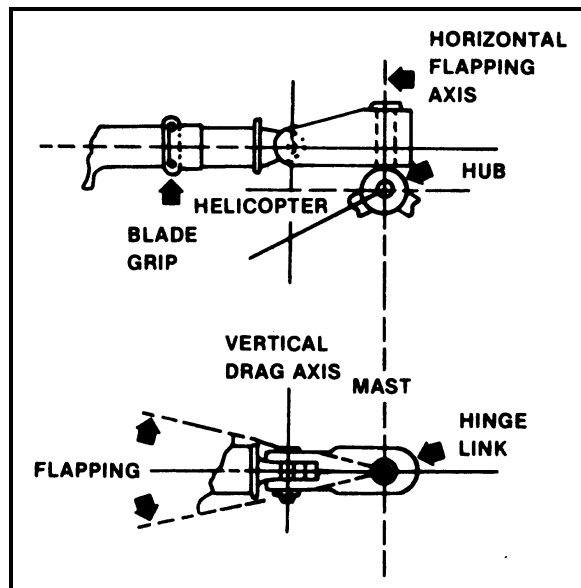
Σχ. 3.2 Τυπική κώπηση ημιαρθρωτού στροφέιου

Τέλος η κεφαλή πρέπει να κινείται και γύρω από ένα άξονα πτέρωσης για να μπορεί να αλλάζει το βήμα των πτερύγιων της (σχ. 3.3).



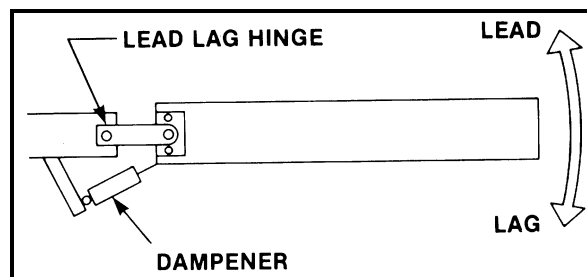
Σχ. 3. 3 Άξονας πτέρωσης στροφέιου

Η πλήρως αρθρωτή κεφαλή στροφέιου έχει τη δυνατότητα ανεξάρτητης ταλάντωσης μεταξύ των πτερυγίων της με την χρήση ενός μηχανισμού γυγγλισμού τοποθετημένου σε κάθε της πτερύγιο (σχ. 3.4).



Σχ. 3.4 Ανεξάρτητη κώπιση πλήρως αρθρωτού στροφείου

Ακόμη επιτρέπει στα πτερύγια να παλινδρομούν (μπρος - πίσω) ανεξάρτητα, ώστε να εξουδετερώνουν την ασυμμετρία ανώσεως των πτερύγων. Η παλινδρόμηση αυτή επιτυγχάνεται με την προσθήκη μιας ακόμη άρθρωσης προ-πορείας (lead lag hinge) και ενός αποσβεστήρα (dampener) για να ελέγχει το εύρος της παλινδρόμησης



Σχ. 3. 5 Άξονας παλινδρόμησης αρθρωτού στροφείου

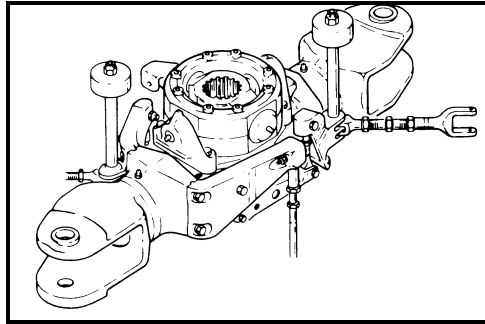
Τέλος πρέπει να υπάρχει και η δυνατότητα αλλαγής του βήματος των πτερυγίων. Οι διαφορετικές κεφαλές στροφείου μπορούν ακόμη να ταξινομηθούν και βάσει του συστήματος λίπανσης που χρησιμοποιούν. Οι αυθεντικές κεφαλές στροφείου χρειάζονται γράσο για την λίπανση των τριβέων τους, και συνεχή επιθεώρηση για την ύπαρξη ικανοποιητικής ποσότητας λιπαντικού υγρού. Η εξέλιξη όμως σε αυτό τον τομέα δημιούργησε ένα ανεξάρτητο σύστημα λίπανσης για τις κεφαλές στροφείου. Έτσι οι τριβείς στεγανοποιούνται μέσα σε λάδι, μειώνοντας έτσι τις απαιτήσεις συντήρησής τους. Οι κεφαλές τώρα πια κατατάσσονται σε υγρές ή ξηρές κεφαλές, ανάλογα με το σύστημα λίπανσης που χρησιμοποιούν. Μερικές δε σύγχρονες κεφαλές στροφείου δεν χρειάζονται καθόλου λίπανση (ελαστομερικοί τριβείς).

Οι κεφαλές του στροφείου συνήθως κατασκευάζονται από χάλυβα ή κράματα αλουμινίου, με αποτέλεσμα πολλά από τα εξαρτήματά τους να έχουν όριο χρόνου λειτουργίας τους λόγω των συνεχών καταπονήσεων που δέχονται. Τελευταία όμως άρχισαν να κατασκευάζονται πολυεστερικές κεφαλές που δεν έχουν συγκεκριμένο όριο

ζωής. Αν οι κεφαλές αυτές αποδειχθούν και αξιόπιστες πιθανών να αντικαταστήσουν όλες τις άλλες κεφαλές στροφείου.

### **3.2 ΗΜΙΑΡΘΡΩΤΕΣ ΚΕΦΑΛΕΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ**

Λόγω των πολλών κατασκευαστών αλλά και των μοντέλων των ελικοπτέρων, υπάρχουν αρκετές διαφορετικές ημιαρθρωτές κεφαλές στροφείου. Μια από τις πρώτες ημιαρθρωτές κεφαλές παρουσιάζεται στο σχέδιο 3.6.

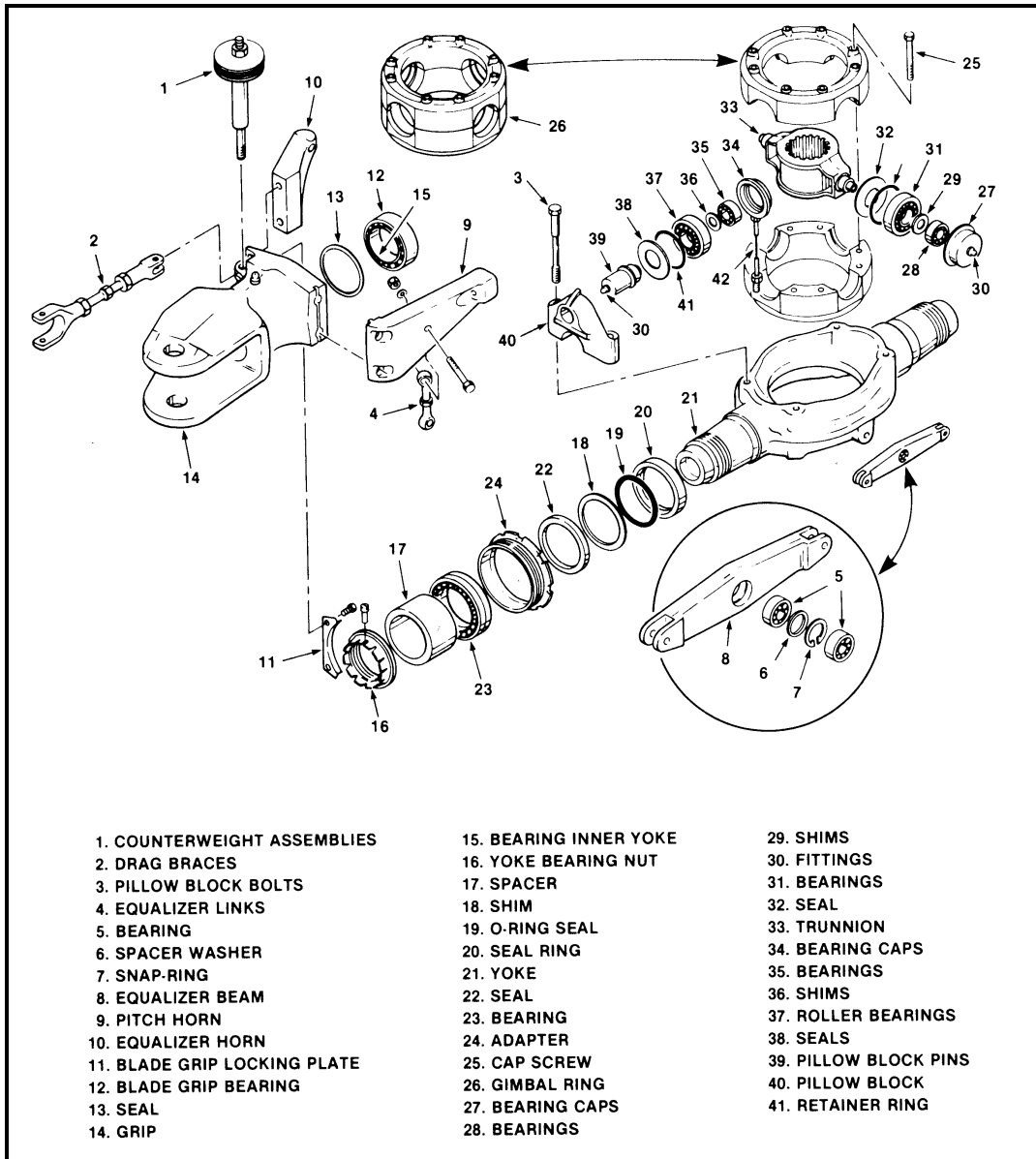


Σχ. 3. 6 Κεφαλή στροφείου του Bell 47.

Αν και τα εξαρτήματα είναι διαφορετικά από κεφαλή σε κεφαλή, η διαμόρφωση των βασικών τμημάτων της παραμένει η ίδια. Στο σχήμα 3.7 παρουσιάζονται σε ανάλυση τα εξαρτήματα που αποτελούν μια ημιαρθρωτή κεφαλή στροφείου (Bell 47).



### 3.2.1. Bell 47



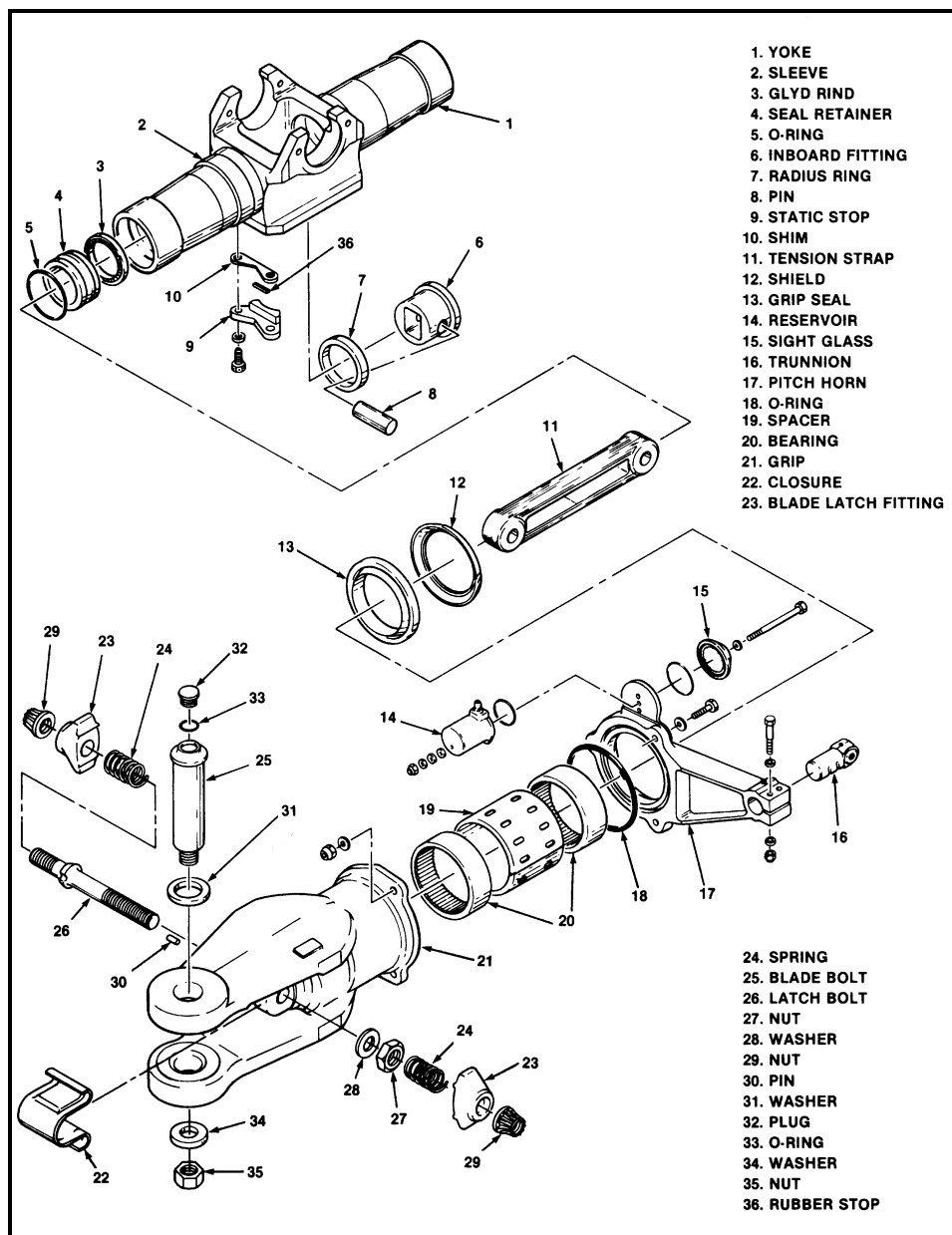
Σχ. 3-7 Αποσυναρμολόγηση εξαρτημάτων κεφαλής στροφείου Bell 47.

Το βασικό στέλεχος της κεφαλής είναι ο διπλοζυγός (yoke) (21). Το τμήμα αυτό είναι κατασκευασμένο από χάλυβα και σκοπός του είναι να στηρίζει τις αντηρίδες (grips) (14). Οι αντηρίδες συνδέονται με το διπλοζυγό με κοχλία σύνδεσης (24) ο οποίος βιδώνει μέσα στην αντηρίδα και συγκρατείται στο διπλοζυγό με τη βοήθεια δύο τριβέων ώσης, μιας στεφάνης (spacer) και με το ασφαλιστικό περικόχλιο του διπλοζυγού (23,17,16 αντίστοιχα). Το συγκρότημα των αντηρίδων συγκρατεί τις πτέρυγες και στηρίζει το βραχίονα οπισθέλκουσας (drag brace) (2), που χρησιμοποιείται για να εμποδίζει την παλινδρόμηση του πτερυγίου. Ο βραχίονας οπισθέλκουσας συνδέεται με την αντηρίδα μέσω του βραχίονα του συγκροτήματος αντίβαρου (1). Ο σκοπός του αντίβαρου είναι να ομαλοποιεί την κίνηση των πτερύγων γύρω από τον άξονα

πτέρωσης. Η κίνηση των πτερυγίων επιτυγχάνεται μέσω του βραχίονα εξισορρόπησης (equalizer horn) (10). Αυτός ο βραχίονας, σε συνεργασία με τέσσερις ράβδους (4) και δύο ζυγούς αντιστάθμισης (8), πετυχαίνουν την ισόποση αλλαγή του βήματος και στα δύο πτερύγια. Στην κορυφή του συγκροτήματος του διπλοζυγού είναι βιδωμένα δύο μεταλλικά "μαξιλάρια" (pillow blocks) (40) που χρησιμοποιούνται για να στηρίζουν τους δακτυλίους ανάρτησης (gimbal rings) (26), μέσα από ένα σετ τριβών. Οι δακτύλιοι ανάρτησης στηρίζουν τον κυκλικό ακροδέκτη (trunnion) (23) κατά την περιστροφή του, δημιουργώντας έναν άξονα-στροφέα (pinot) και επιτρέποντας στο στροφέιο να εκτελεί κλίση κατά την πτήση.

### 3.2.2. Bell 206

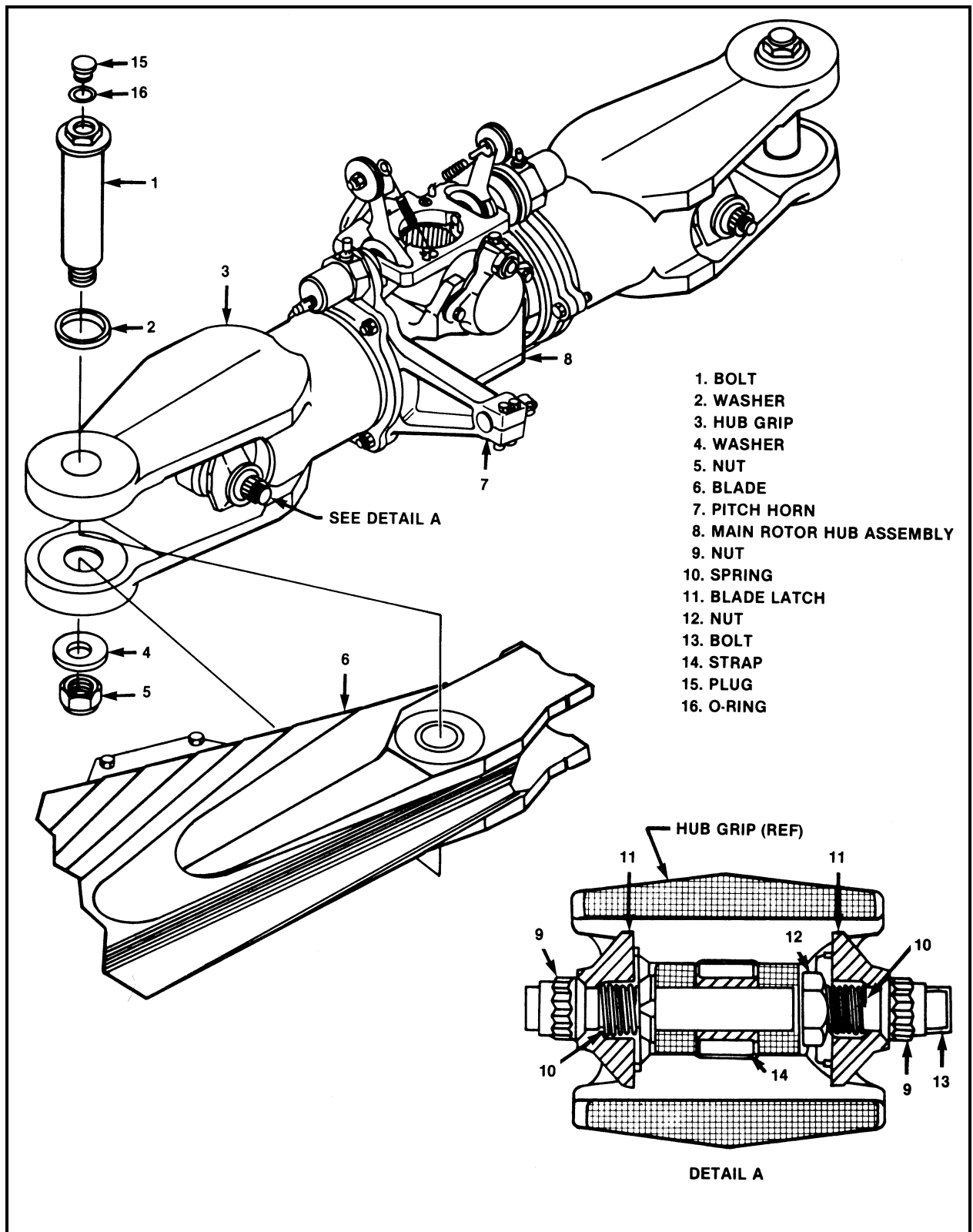
Μια ακόμη πιο σύγχρονη ημιαρθρωτή κεφαλή στροφείου είναι αυτή που χρησιμοποιείται στο Bell 206 (σχ. 3.8).



Σχ. 3. 9 Παρουσίαση ημιαρθρωτού στροφείου που χρησιμοποιείται στο ελικόπτερο Bell 47.

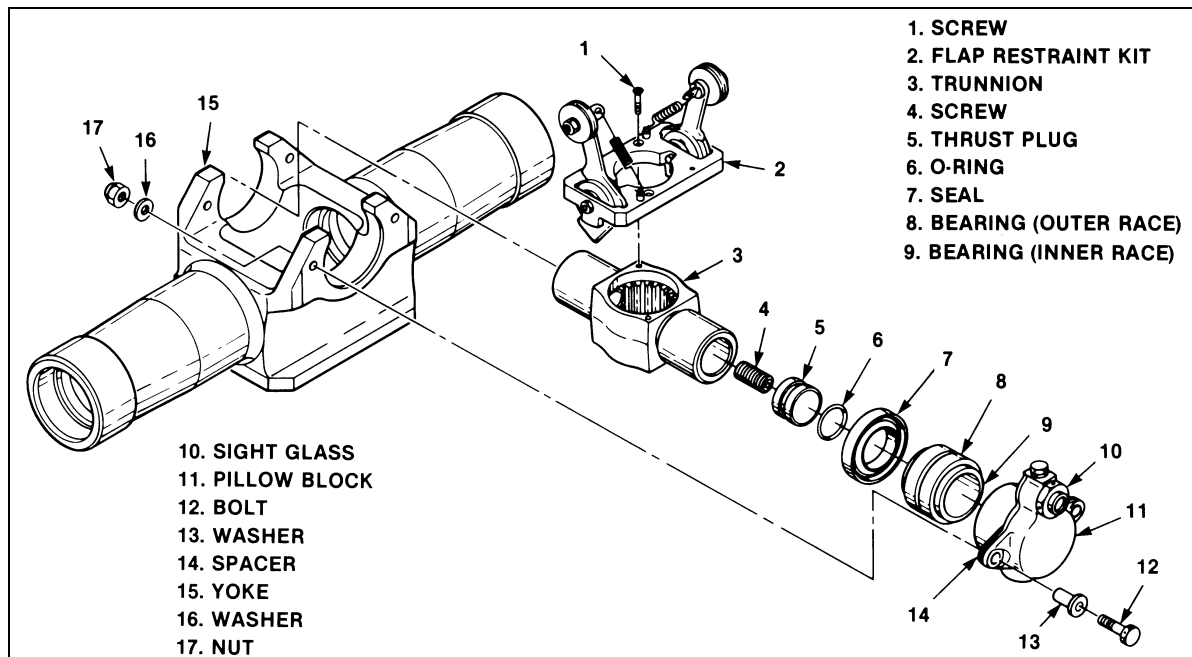
Η κεφαλή αυτή είχε αρχικά σχεδιαστεί σαν υγρή κεφαλή, αλλά πολλές από αυτές έχουν σήμερα μετατραπεί σε ξηρές.

Ο διπλοζυγός (1) είναι και εδώ το βασικό εξάρτημα της κεφαλής. Η χαλύβδινη αυτή μονάδα είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να δίνει μια  $2,5^\circ$  αρχική γωνία στα πτερύγια του στροφείου. Στην εσωτερική πλευρά του διπλοζυγού βρίσκεται μια τάπα και ένας πείρος (6, 7, 8) που σκοπός τους είναι να συνδέσουν τον ιμάντα στρέψης-εφελκυσμού στο διπλοζυγό. Αυτός ο ιμάντας είναι φτιαγμένος από πολύ ψιλό σύρμα τυλιγμένο χιλιάδες φορές γύρω από δύο μικρούς σωλήνες (spools). Το συγκρότημα της τάπας κρατιέται στη θέση του από σταθερά στοπ (9) βιδωμένα στο διπλοζυγό. Το συγκρότημα των αντηρίδων (21) στηρίζεται στο διπλοζυγό από δύο τριβείς (20). Ασφαλιζεται στο διπλοζυγό από ένα ασφαλιστικό κοχλία που περνά, μέσα από την αντηρίδα και τον ιμάντα στρέψης-εφελκυσμού και ασφαλιζεται στο διπλοζυγό με την τάπα και τον πείρο. Ο βραχίονας βήματος (pitch horn) (17) βιδώνεται στο διπλοζυγό με σκοπό να ελέγχει την αλλαγή του βήματος. Στο σημείο αυτό γίνεται και η σύνδεση της δεξαμενής λαδιού (14) για τη λίπανση των αντηρίδων. Ένα άλλο ενδιαφέρον σημείο των αντηρίδων είναι οι τρυπημένοι κοχλίες (25) που χρησιμοποιούνται για πρόσθεση βάρους αν χρειαστεί να ζυγοσταθμιστεί το στροφείο εγκάρσια. Σημειώστε επίσης ότι δεν υπάρχει κανένας βραχίονας οπισθέλκουσας. Τα πτερύγια στηρίζονται μέσω ενός μηχανισμού ασφάλισης στη θέση των βραχιόνων οπισθέλκουσας (σχ. 3.19).



Σχ. 3.9 Συγκρότημα ασφαλιστικού μηχανισμού ελικοπτέρου Bell 206.

Στην κορυφή του διπλοζυγού είναι το συγκρότημα του περιστρεφόμενου ακροδέκτη (trunnion assembly) (σχ. 3.10).



Σχ. 3. 10 Περιστρεφόμενος ακροδέκτης και επιβραδυντήρας πτερυγισμού του Bell 206

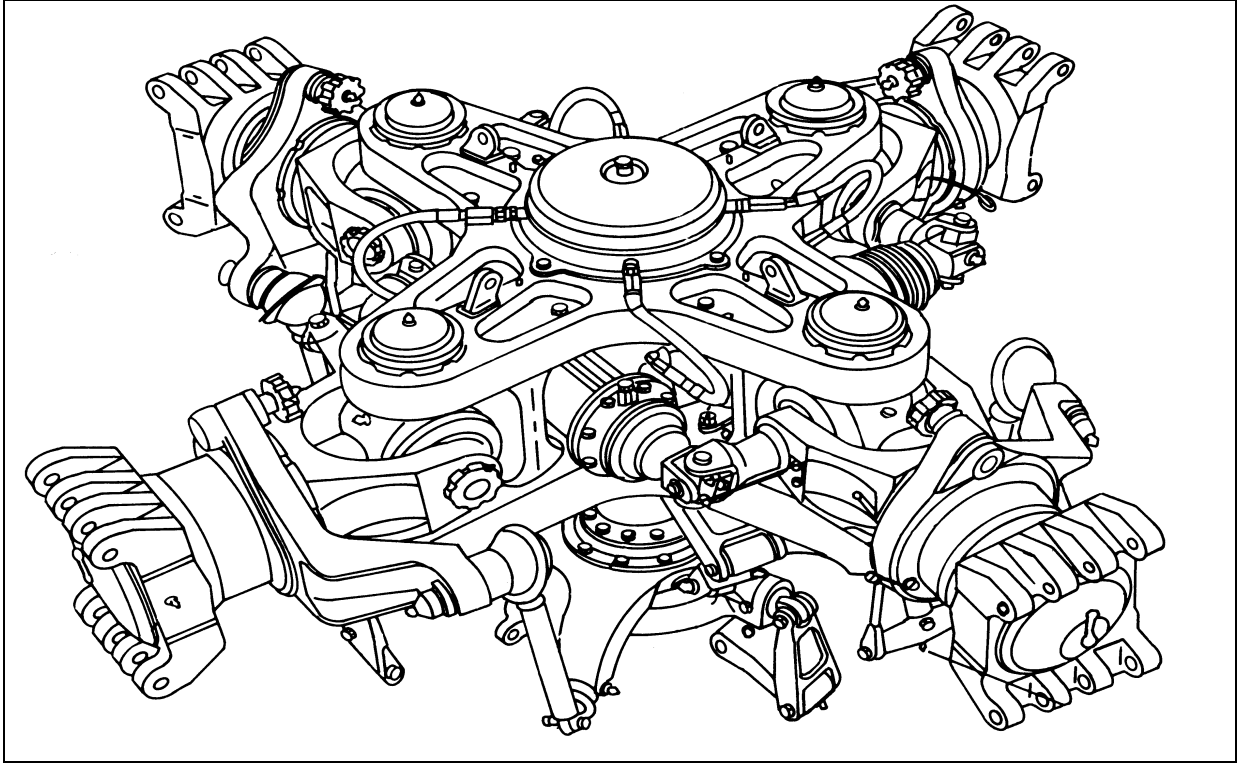
Συνδέεται δε στο διπλοζυγό με δύο μεταλλικά "μαξιλάρια" (10) που λειτουργούν σαν δεξαμενές λαδιού και για ασφάλιση των τριβών του κυκλικού ακροδέκτη (3). Ο επιβραδυντήρας πτερυγισμού (flap restraint) τοποθετείται στην κορυφή του κυκλικού ακροδέκτη (2) και μειώνει τον πτερυγισμό του στροφείου στις χαμηλές στροφές.

### 3.3 ΠΛΗΡΩΣ ΑΡΘΡΩΤΕΣ ΚΕΦΑΛΕΣ ΣΤΡΟΦΕΙΩΝ

Οι πλήρως αρθρωτές κεφαλές στροφείων, όπως και οι αντίστοιχες ημιαρθρωτές, συναντώνται σε διάφορα σχέδια και μορφές. Ενώ όμως όλες σίγουρα δίνουν μια ομαλότερη λειτουργία, είναι αρκετά πιο πολύπλοκες κατασκευές, κάνοντας την επιθεώρηση και συντήρησή τους δύσκολη υπόθεση. Τελευταία όμως γίνονται προσπάθειες να μειωθούν τα εξαρτήματα που χρειάζονται για τη λειτουργία μιας τέτοιας κεφαλής, που θα είχε σαν αποτέλεσμα και τη μείωση των απαιτήσεων συντήρησης.

### 3.3.1. S-58

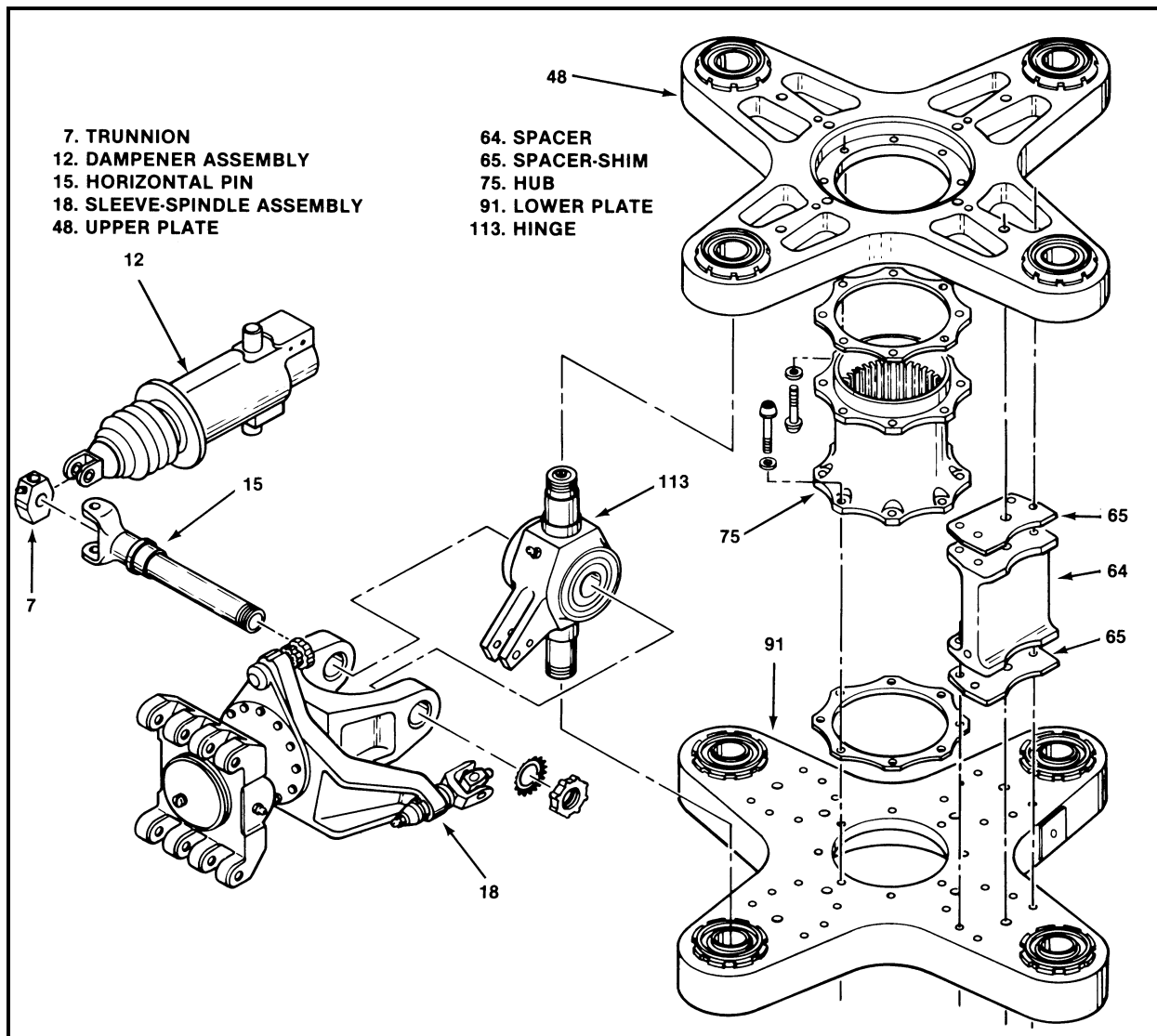
Μια από τις πρώτες κεφαλές αυτού του τύπου χρησιμοποιήθηκε στο S-58 (σχ. 3.11).



Σχ. 3. 12 Πλήρως αρθρωτή κεφαλή στροφείου ελικοπτέρου Sikorsky S-58.

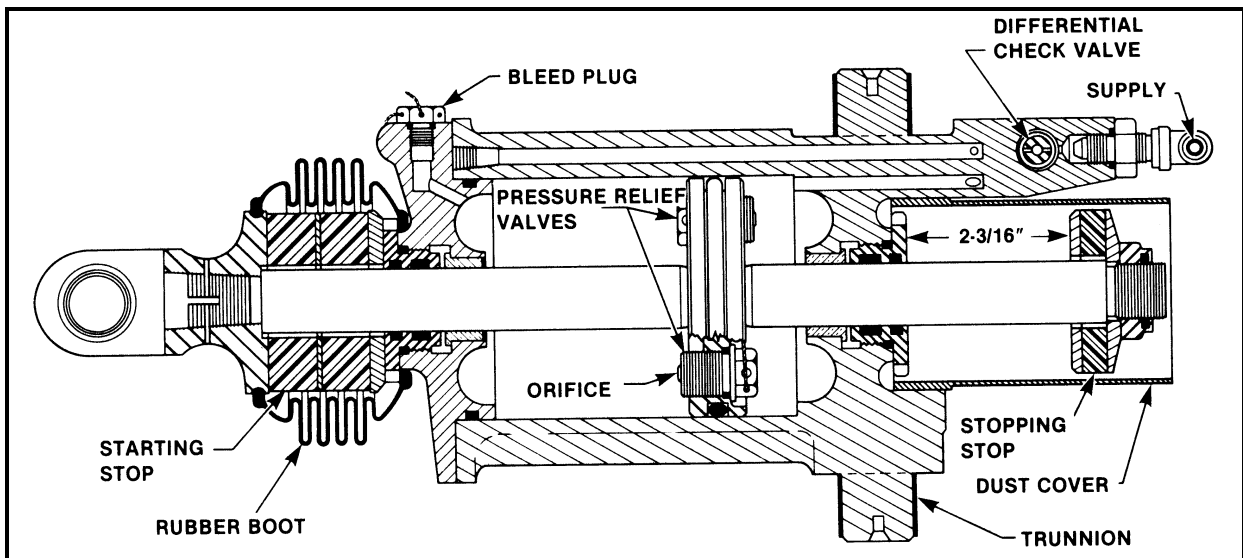
Αν και η κεφαλή αυτή δεν ήταν η πρώτη του είδους αυτού που κατασκευάστηκε, θεωρείται ότι είναι ο οδηγός για τις κεφαλές που χρησιμοποιούνται από τα ελικόπτερα Sikorsky.

Το σχέδιο 3.12 δείχνει ότι η κεφαλή αποτελείται από την πλήμνη (75) που σφηνώνεται μέσω οδόντωσης στον ιστό, ενώ το διπλό περιαιχηνό της προσαρμόζει το συγκρότημα της άνω και κάτω πλάκας (48, 91).



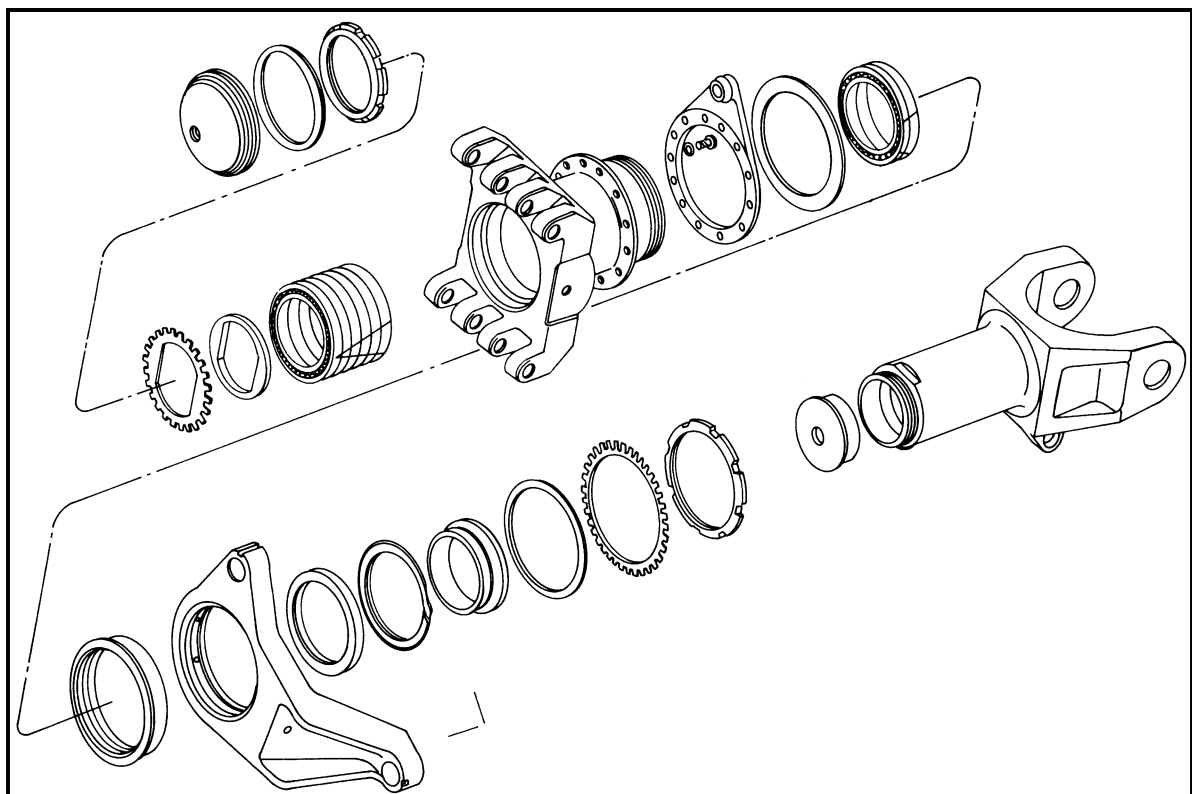
Σχ. 3. 12 Παρουσίαση αποσυναρμολογημένης όψης στροφείου ελικοπτέρου S-58.

Το συγκρότημα των δύο πλακών διαμορφώνει το στήριγμα για τους τέσσερις γυγγλισμούς παλινδρόμησης (113) που τοποθετούνται σε κωνικούς κυλινδρικούς τριβείς και δημιουργούν το στήριγμα των ανεξάρτητων γυγγλισμών κώπησης για το κάθε πτερύγιο. Το συγκρότημα του αξονίσκου (18) περιλαμβάνει το άλλο μισό του γυγγλισμού κώπησης και συγκρατείται από το γυγγλισμό παλινδρόμησης μέσω ενός οριζόντιου πείρου (15). Η διχλωτή άκρη του πείρου συμπεριφέρεται σαν τμήμα του μηχανισμού γυγγλισμού για τους αποσβεστήρες (12) ελέγχοντας έτσι το βαθμό παλινδρόμησης των πτερυγίων του στροφείου (σχ. 3.13).



Σχ. 3. 13 Τυπικός υδραυλικός αποσβεστήρας του S-58.

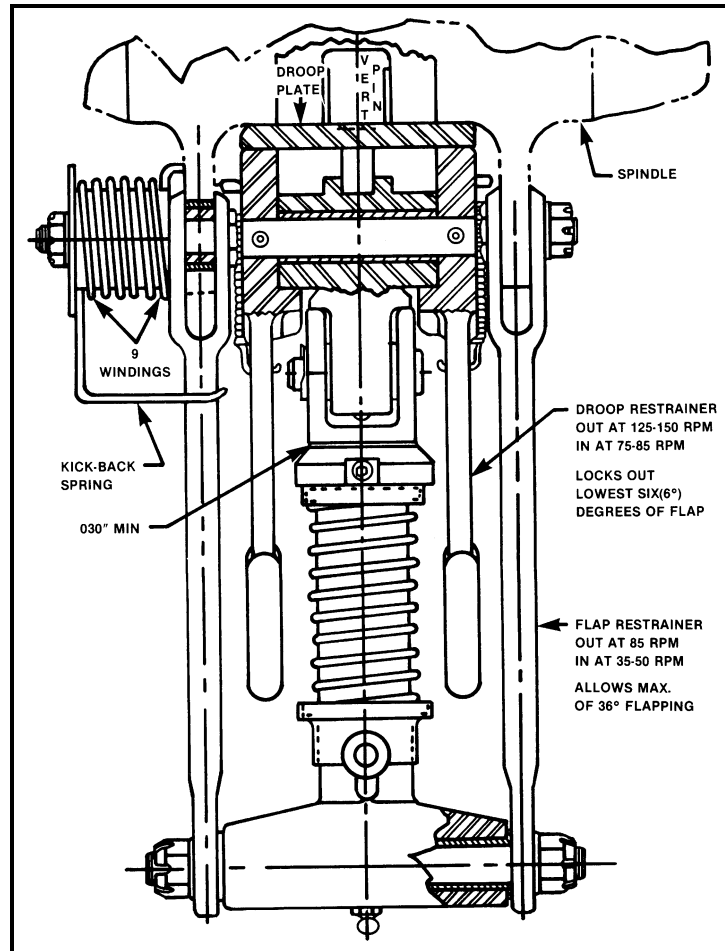
Το συγκρότημα του αξονίσκου επίσης φροντίζει και για την κίνηση των πτερυγίων γύρω από τον άξονα πτέρωσης (σχ. 3.14).



Σχ. 3.14 Συγκρότημα διχάλου που χρησιμοποιείται στο S-58

Το περίβλημα πιάνει πάνω στο βραχίονα βήματος και γλιστρά πάνω από τον αξονίσκο. Οι καταπονήσεις ώσης που δέχεται το στροφέιο ανακουφίζονται από το συγκρότημα των τριβέων ώσης που επιτρέπουν την αλλαγή του βήματος των πτερυγίων. Η κώπηση και το κρέμασμα (drooping) του στροφείου περιορίζονται από τα στοπ κώπησης και κρεμάσματος που βρίσκονται πάνω στο γυγγλισμό παλινδρόμησης (σχ. 3.15).

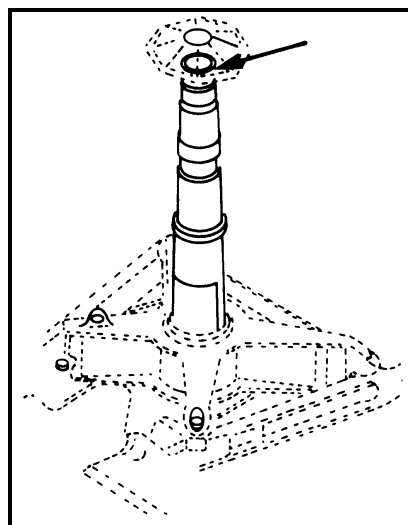




Σχ. 3.15 Συγκρότημα στολ κρεμάσματος του S-58.

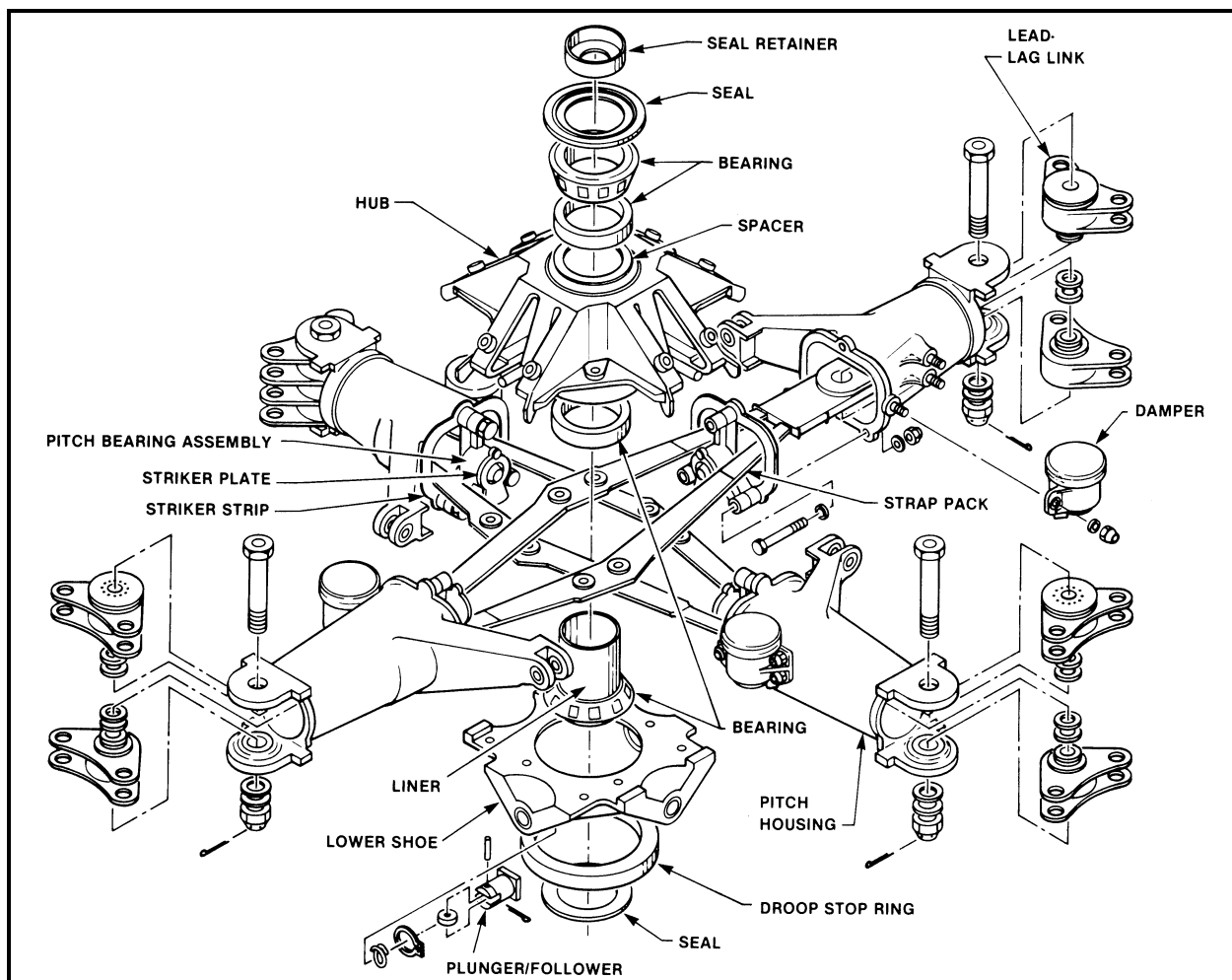
### 3.3.2. Hughes 500C

Μια άλλη πλήρως αρθρωτή κεφαλή, εντελώς διαφορετικού τύπου είναι και η κεφαλή του Hughes 500C. Είναι στερεωμένη πάνω στον ιστό και κινείται μέσω ενός άξονα που περνά διαμέσου του κέντρου του ιστού (σχ. 3.16).



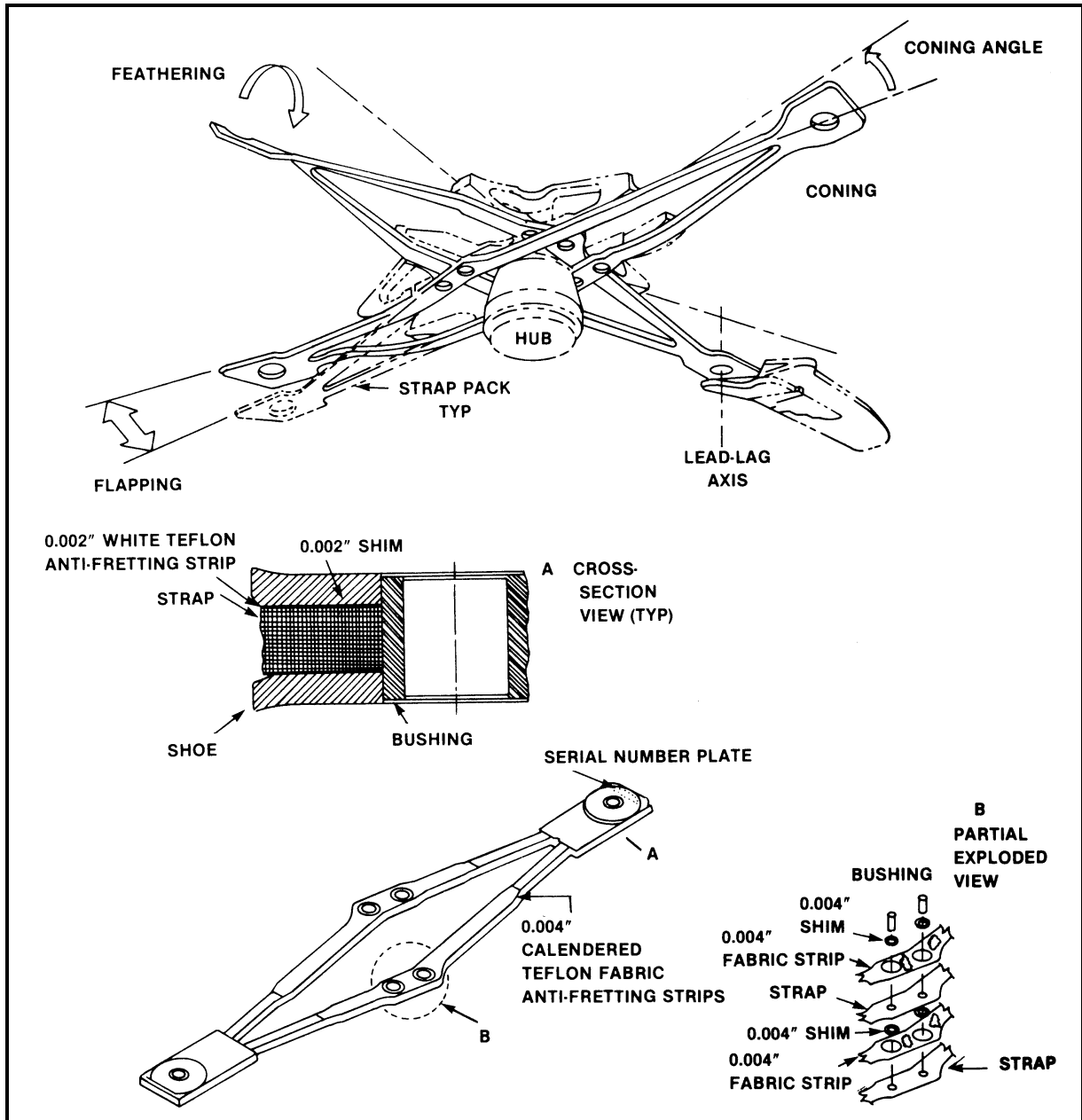
Σχ. 3. 16 Άξονας ελικοπτέρου Hughes 500C

Το συγκρότημα της πλήμνης στηρίζεται στο σταθερό τμήμα του ιστού, μέσω δύο αντιτιθέμενων κωνικών κυλινδροτριβέων που συνδέονται με ειδικό ασφαλιστικό μηχανισμό και περικόχλιο. Το συγκρότημα της πλήμνης αποτελείται από την πλήμνη, από το χαμηλό πέλμα (το οποίο στηρίζεται στην πλήμνη), από τέσσερις φωλιές που συγκρατούν τους τριβείς για τους μηχανισμούς αλλαγής βήματος και ένα χαλύβδινο δακτυλίδι - εμποδιστήρα υπερβολικού κρεμάσματος (droop stop ring) που στηρίζεται στο χαμηλό πέλμα (σχ. 3.17).



Σχ. 3. 17 Κεφαλή στροφείου ελικοπτέρου Hughes 500C

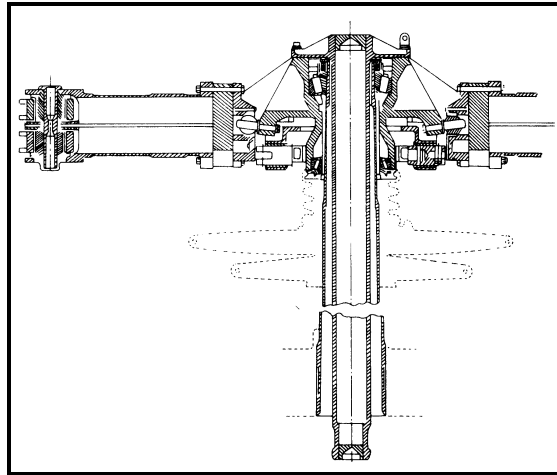
Μεταξύ του χαμηλού πέλματος και της πλήμνης βρίσκεται το συγκρότημα ιμάντων (strap pack). Η μονάδα αυτή είναι πολύ σημαντική για τις κεφαλές αυτού του τύπου και είναι ο κύριος λόγος που η κεφαλή του στροφείου έχει μικρό βάρος και απλότητα κατασκευής. Γιατί όχι μόνο εξουδετερώνει τα φυγοκεντρικά φορτία που αναπτύσσονται στην κεφαλή από τα περύγια, αλλά ακόμη αντικαθιστά τους γυγγλισμούς κόπησης και πτέρωσης που υπάρχουν στις άλλες πλήρως αρθρωτές κεφαλές στροφείων (σχ. 3.18).



Σχ. 3. 18 Σύστημα strap pack που χρησιμοποιείται σε ελικόπτερα Hughes 500C

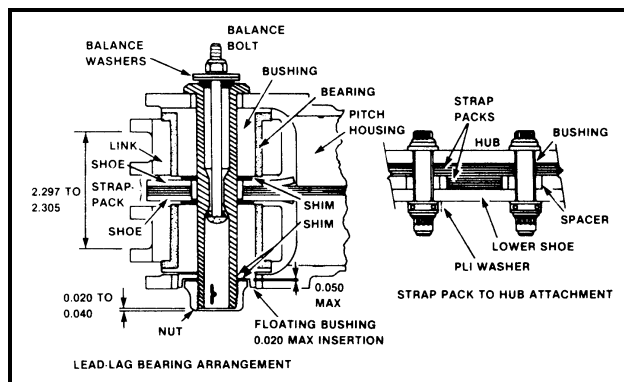
Κάθε ιμάντας αποτελείται από 15 χαλύβδινες λωρίδες των .009 in με τυλιγμένο γύρω τους τεφλόν πάχους .004 in. Με τα τεφλόν περιορίζουμε τη διάβρωση λόγω τριβών.

Το συγκρότημα ελέγχου βήματος αποτελείται από ένα αλουμινένιο περίβλημα μέσα στο οποίο στηρίζονται οι τριβείς αλλαγής βήματος μέσω μιας επικρουστικής πλάκας (striker plate). Το περίβλημα στηρίζεται στην πλήμνη μέσω ενός φυτευτού κοχλία (σχ. 3.19)



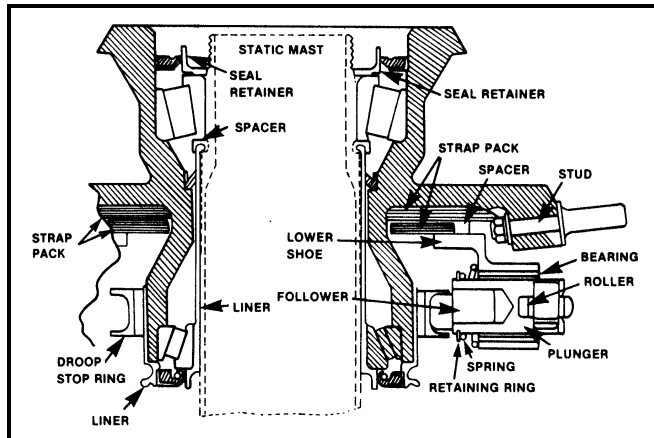
Σχ. 3.19 Παρουσίαση σε τομή κεφαλής Hughes 500C

Οι τριβείς παλινδρόμησης είναι σφηνωτά τοποθετημένοι στους συνδέσμους. Μέσα στους συνδέσμους των τριβέων υπάρχει ένας αντιτριβικός δακτύλιος (bushing), λίγο μακρύτερος από το μήκος του συνδέσμου, που σκοπό έχει να επεκτείνεται μέχρι το πέλμα των ιμάντων, ενώ ο κοχλίας παλινδρόμησης στηρίζει αυτούς τους ιμάντες. Την ίδια στιγμή οι σύνδεσμοι παλινδρόμησης είναι ελεύθεροι να περιστρέφονται (σχ. 3.20).



Σχ. 3. 20 Συγκρότημα τριβέα παλινδρόμησης Hughes 500C

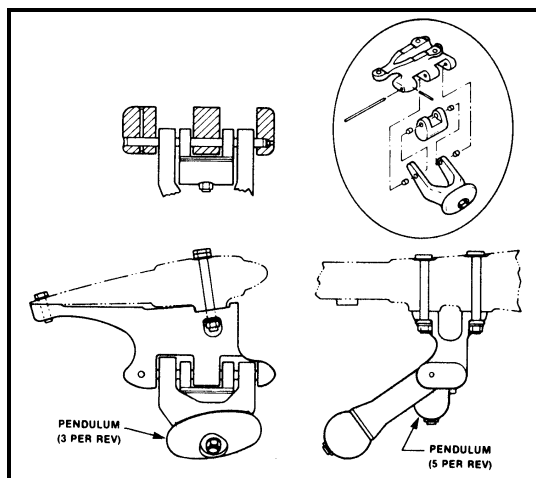
Στο κάτω μέρος του πέλματος είναι ο δακτύλιος - εμποδιστήρας υπερβολικού κρεμάσματος στροφείου. Στην εγκοπή του δακτυλίου αυτού τοποθετούνται τέσσερις ακόλουθοι που πιέζονται μέσα στο σώμα των εμβολέων ασφάλισης. Ένας κύλινδρος τοποθετείται πάνω στον εμβολέα ενάντια στην επικρουστική πλάκα του συγκροτήματος αλλαγής βήματος. Ο κύλινδρος αυτός είναι ελατηριωτά φορτισμένος έτσι ώστε κατά τη διάρκεια στατικών καταστάσεων, η επικρουστική πλάκα να στηρίζεται ενάντια στον κύλινδρο, που με τη σειρά του να πιέζει τον εμβολές ενάντια στο δακτύλιο του εμποδιστήρα κρεμάσματος. Σε συνθήκες στροφών πτήσης όμως, η κωνική γωνία των πτερυγίων αναγκάζει την επικρουστική πλάκα να ανασηκωθεί από τον κύλινδρο (σχ. 3.21).



Σχ. 3. 21 Σύστημα στοπ κρεμάσματος σε Hughes 500C

Προσαρμοσμένος στο εσωτερικό τμήμα του χείλους εκφυγής του κάθε πτερυγίου βρίσκεται ένας βραχίονας απόσβεσης που πάνω του προσαρμόζεται ο αποσβεστήρας. Η μονάδα αυτή, όπως αναφέρει και το όνομα της, αποσβένει τις απότομες παλινδρομικές κινήσεις του στροφείου. Είναι μια καθαρά μηχανική μονάδα.

Μια μοναδική μονάδα που εμπεριέχεται σε αυτή την κεφαλή είναι ένας αποσβεστήρας κραδασμών, που αποτελείται από ένα εκκρεμές δύο κομματιών και χρησιμοποιείται για να εξουδετερώνει τις δονήσεις των δυο πτερυγίων. Οι αποσβεστήρες αυτοί στερεώνονται στη ρίζα του πτερυγίου του στροφείου (σχ. 3.22).

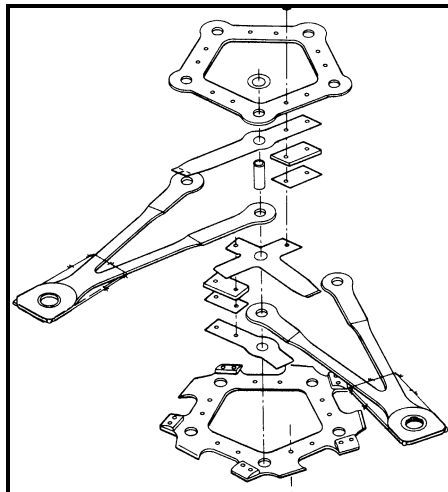


Σχ. 3. 22 Σύστημα απόσβεσης κραδασμών.

### 3.3.3. Hughes 500D

Η κεφαλή που χρησιμοποιείται από το Hughes 500D είναι όμοια σε κατασκευή με την αντίστοιχη του 500C με μερικές μικρές διαφορές.

Το στροφέιο του 500D είναι πέντε πτερυγίων. Λόγω του ότι τα πτερύγια δεν μπορούν τώρα να δεθούν το ένα στο άλλο, όπως κάναμε με το σύστημα των τεσσάρων πτερυγίων, δένονται στην πλήμνη (σχ. 3.23).



Σχ. 3. 23 Σύστημα strap pack σε Hughes 500D

Οι μηχανικοί αποσβεστήρες έχουν αντικατασταθεί με τους ελαστικούς τύπους (elastomeric) που θα τους αναλύσουμε παρακάτω. Οι αποσβεστήρες δονήσεων επίσης έχουν καταργηθεί λόγω του μονού αριθμού των πτερυγίων.

Αυτές οι βελτιώσεις έδωσαν μεγαλύτερες δυνατότητες ανύψωσης και απόδοσης στο στροφέιο.

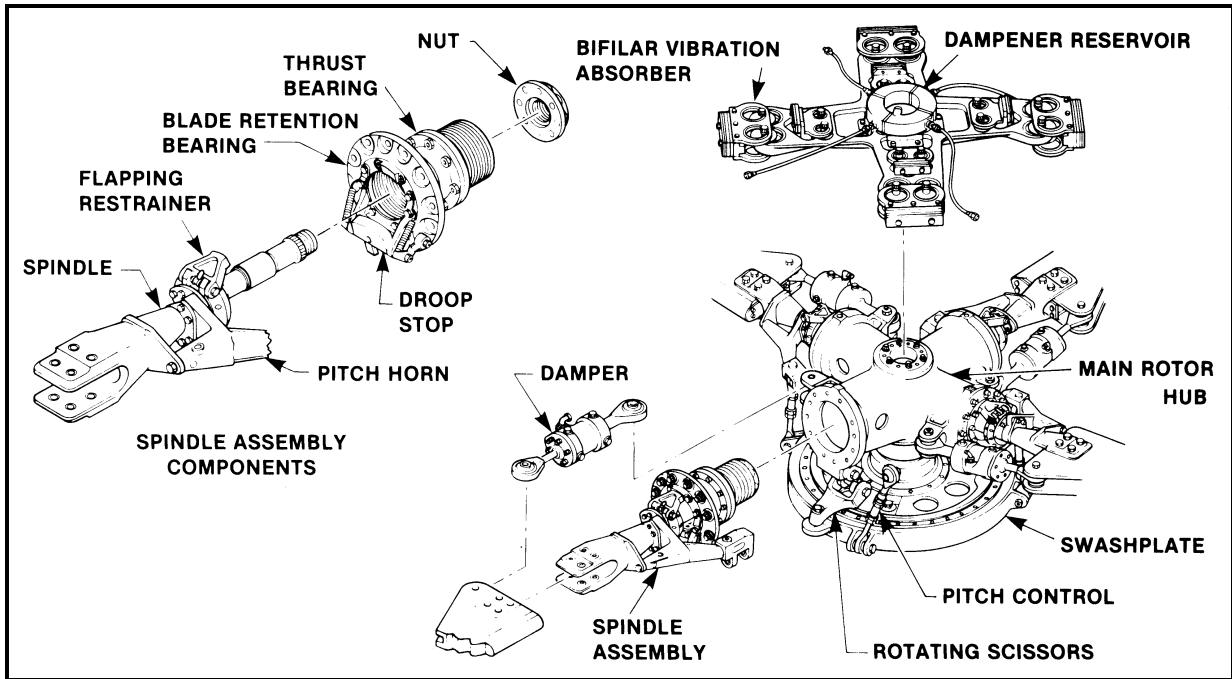
### 3.3.4. S-76

Η χρήση των ελαστομερικών τριβέων έχει απλουστεύσει κατά πολύ την όλη κατασκευή. Η βελτίωση στη σχεδίαση αυτής της κεφαλής παρουσιάζεται από την έλλειψη γυγγλισμών παλινδρόμησης και κόπησης. Η κίνηση επιτυγχάνεται με τις ελαστομερικές συνδέσεις (elastomeric).

Το πρώτο ασυνήθιστο εξάρτημα που βρίσκεται σε αυτή την κεφαλή είναι ο αποσβεστήρας δονήσεων τύπου "bifilar" (ειδικό σύστημα απόσβεσης δονήσεων που έχει εφευρεθεί από την εταιρεία Sikorsky) που τοποθετείται στο πάνω τμήμα του στροφείου. Το σύστημα αυτό είχε χρησιμοποιηθεί και σε άλλα ελικόπτερα της Sikorsky όπως το S-61-N, με μεγάλη μάλιστα επιτυχία στη μείωση του επιπέδου δονήσεων αλλά και καταπονήσεων που δεχόταν το ελικόπτερο.

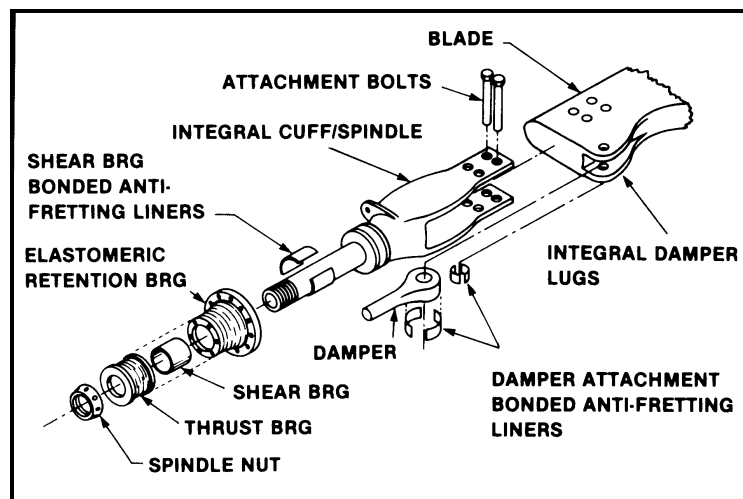
Το σύστημα Bifilar λειτουργεί με τις ίδιες αρχές που λειτουργούν και οι δυναμικοί αποσβεστήρες των εμβολοφόρων κινητήρων. Είναι φτιαγμένο από ένα συγκρότημα πτερυγίου τοποθετημένο στο άνω τμήμα του στροφείου, με τέσσερα αντίβαρα τοποθετημένα κατά διαστήματα μεταξύ των πτερυγίων του στροφείου. Τα βάρη είναι συνδεδεμένα με κοχλίες κάνοντας έτσι την κατασκευή πολύ χαλαρή. Η χαλαρότητα

αυτή επιτρέπει στα βάρη να δονούνται. Καθώς το στροφέιο περιστρέφεται οι φυγοκεντρικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στο στροφέιο κρατούν τα αντίβαρα προς τα έξω. Οποιαδήποτε διαταραχή που θα παρουσιαστεί θα εξουδετερωθεί από την στιγμιαία ταλάντωση των βαρών (σχ. 3.24).



Σχ. 3. 24 Παρουσίαση αποσυναρμολογημένου στροφείου ελικοπτέρου Sikorsky S-76

Η πλήμη είναι μονοκόμματη κατασκευή, βιδωμένη στον ιστό και έχει τέσσερις υποδοχές για τα πτερύγια. Τα πτερύγια περιέχουν από ένα άξονα προσαρμογής με ειδική λαβή για το μηχανισμό αλλαγής βήματος, δύο ελαστομερικούς τριβείς και ένα περικόχλιο στήριξης (σχ. 3.25).



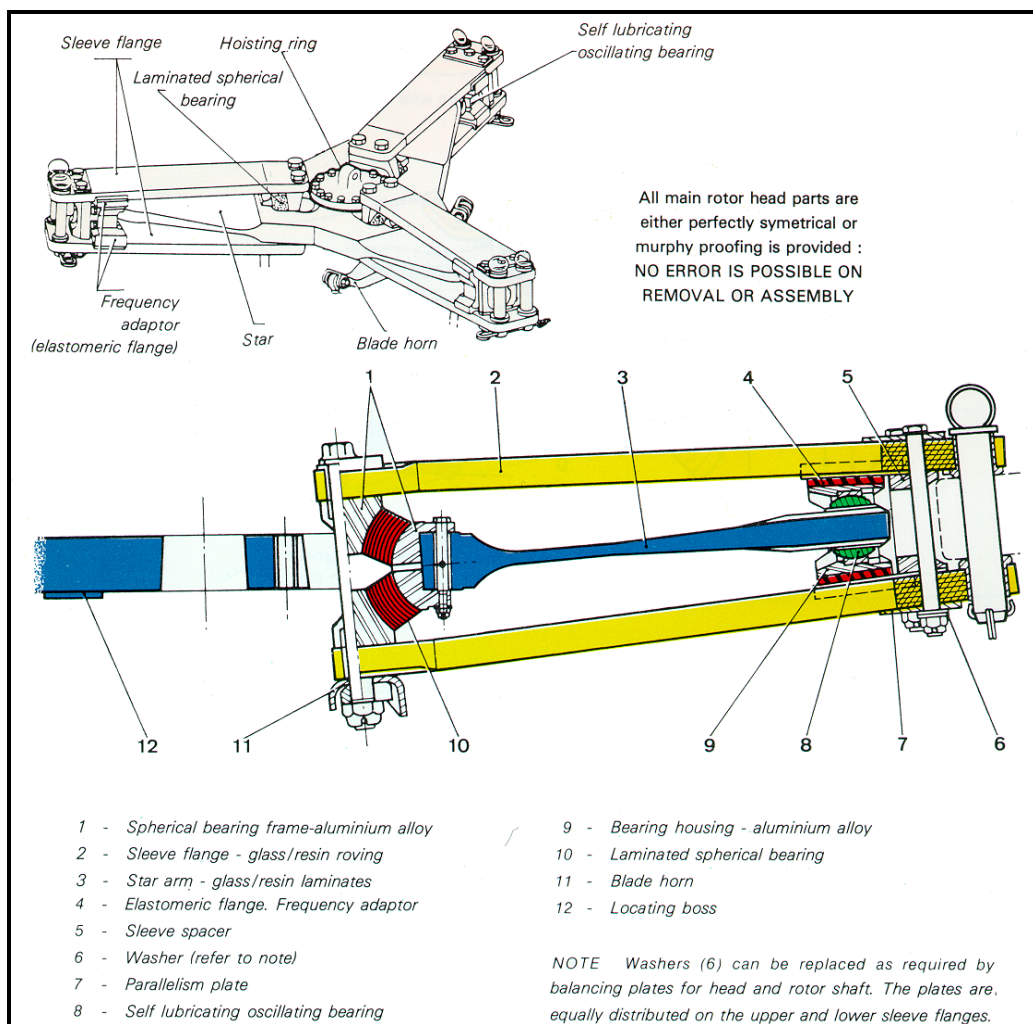
Σχ. 3. 25 Συγκρότημα πτερυγίων του S-76.

Το πτερύγιο στερεώνεται στην πλήμη μέσα από μια σειρά κοχλιών που συγκρατούν και τους τριβείς στην πλήμη. Οι ελαστομερικοί τριβείς είναι κατασκευασμένοι από φύλλα μέταλλου και ειδικά κατεργασμένου ελαστικού που

συνδέονται μεταξύ τους με κατάλληλη κατεργασία. Με τους τριβείς αυτούς τα πτερύγια μπορούν να πραγματοποιούν κώπηση και παλινδρόμηση χωρίς να χρειάζονται γυγγλισμούς. Ο άξονας της πτέρωσης περνά μέσα από αυτό τον τριβέα μέσω ενός εσωτερικού αξονίσκου. Η ωστική καταπόνηση που δέχεται το στροφέιο αποσβένεται από τον κοχλία συγκράτησης, μέσω ενός άλλου ελαστομερικού τριβέα ο οποίος είναι βιδωμένος στην πλήμνη. Η απόσβεση των κραδασμών των πτερύγιων πετυχαίνεται μέσω ενός τυπικού υδραυλικού αποσβεστήρα.

### 3.3.5. AStar 350

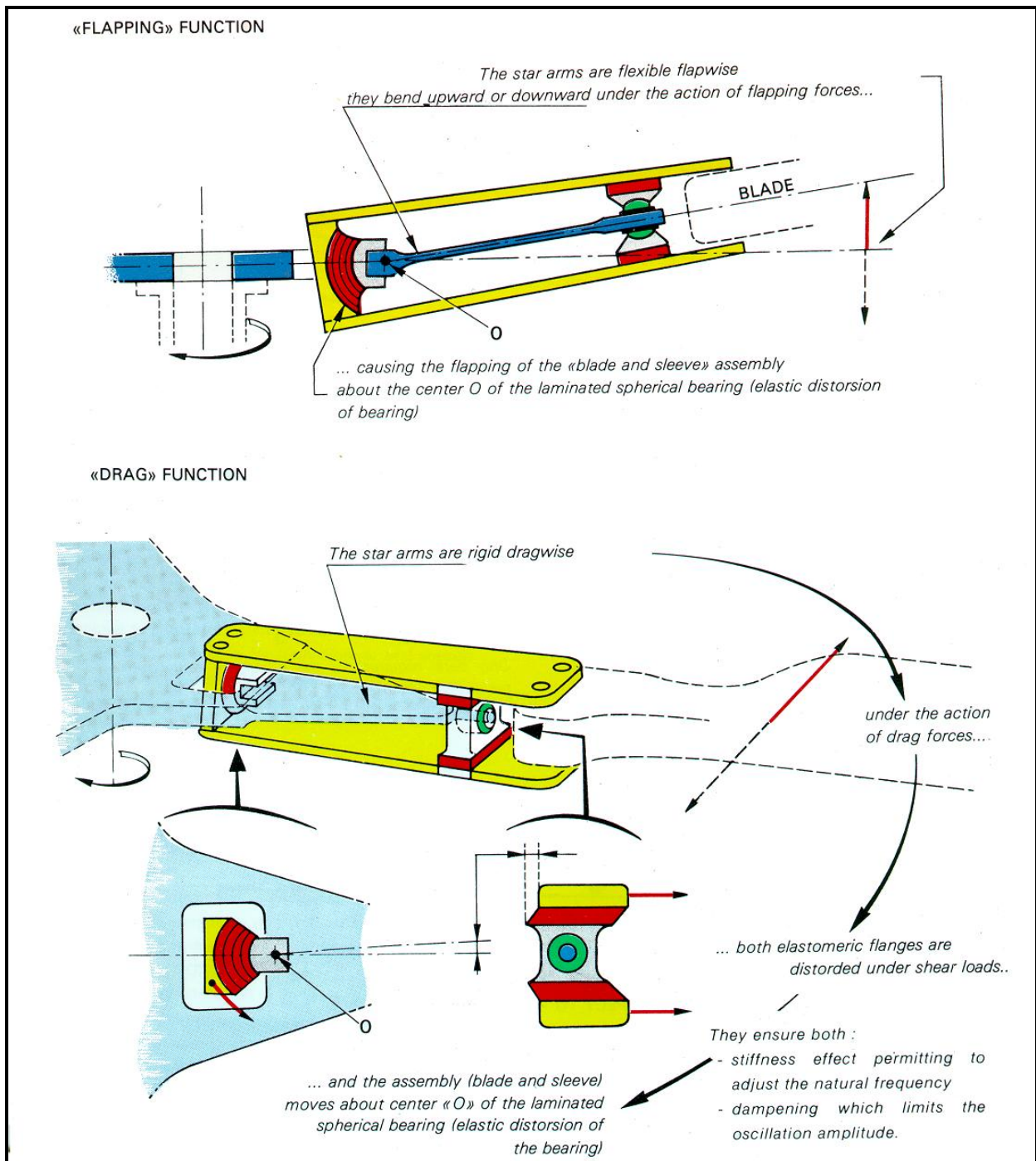
Η κεφαλή του στροφείου του AStar 350 είναι ίσως η πιο ασυνήθιστη κεφαλή στροφείου που συναντάται στα σύγχρονα ελικόπτερα. Είναι κατασκευασμένη από πολυεστερικά υλικά και όχι με τα συμβατικά μεταλλικά υλικά. Έτσι δεν έχει συγκεκριμένο όριο ζωής και λειτουργίας όπως συμβαίνει σε όλες τις συμβατικές κεφαλές. Συμπεριφέρεται σαν μια αρθρωτή κεφαλή χωρίς όμως να έχει τους συνηθισμένους αρθρωτούς μηχανισμούς, έτσι το βάρος αλλά και η πολυπλοκότητα της κατασκευής ελαχιστοποιείται (σχ. 3.26).



Σχ. 3.26 Κεφαλή στροφείου ελικοπτέρου AStar 350 της Aerospatiale

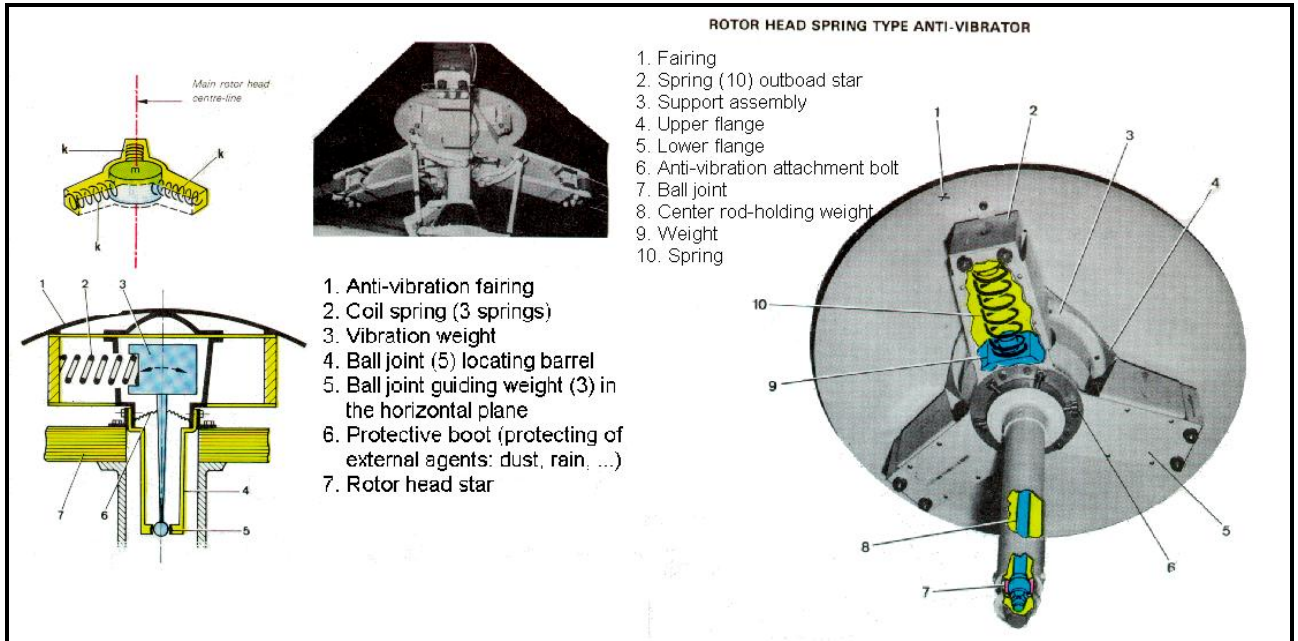


Το συγκρότημα της πλήμνης έχει τρεις βραχίονες κατασκευασμένους από ειδικά ενισχυμένα πολυεστερικά φύλλα. Το κέντρο της πλήμνης είναι το παχύτερο τμήμα του συγκροτήματος, με μικρή κωνικότητα στους τρεις βραχίονες. Η πλήμνη συγκρατείται στο συγκρότημα του ιστού με κοχλίες. Οι βραχίονες της πλήμνης χρησιμοποιούνται για να κινούν την πλήμνη, στηρίζουν το κρέμασμα του στροφείου όταν αυτό είναι σταματημένο, αλλά δεν βοηθούν στην εξουδετέρωση των φυγοκεντρικών δυνάμεων. Μέσα από τις σχισμές της πλήμνης περνούν οι ελαστομερικοί σφαιρικοί ωστικοί τριβείς, που επιτρέπουν την αλλαγή βήματος, την κώπιση και την παλινδρομική κίνηση των πτερυγίων. Οι τριβείς αυτοί ελαχιστοποιούν την χρήση των συμβατικών γυγγλισμών και τριβέων. Ο ελαστομερικός σφαιρικός ωστικός τριβέας απορροφά τα φυγοκεντρικά φορτία των πτερυγίων και μεταφέρει μέρος αυτών στην πλήμνη. Τοποθετημένοι πάνω στους ωστικούς τριβείς βρίσκονται δυο σωληνωτοί βραχίονες (sleeve flanges) πολυεστερικής κατασκευής. Οι βραχίονες αυτοί διαμορφώνουν την υποδοχή σύνδεσης των μηχανισμών ελέγχου πτήσεως και των πτερυγίων του κυρίως στροφείου μέσω ενός μοχλού. Μεταξύ, των δύο βραχιόνων τοποθετείται και ένας μηχανισμός συχνότητας (frequency adapter) αποτελούμενος από δυο ελαστικές πλάκες συγκολλημένες σε ένα περίβλημα. Το περίβλημα αυτό, δημιουργεί ένα αυτολιπόμενο χώρο που στεγάζει τον τριβέα για το δίχαλο της πλήμνης και το οποίο δέχεται τις δονήσεις κατά την διάρκεια της κίνησης των πτερυγίων. Το σχήμα 3.27 παρουσιάζει την κίνηση του στροφείου κατά την κώπιση, παλινδρόμηση και αλλαγή βήματος.



Σχ. 3. 27 Α. Κίνηση γύρω από τον άξονα κώπησης Β. Κίνηση γύρω από τον άξονα παλινδρόμησης.

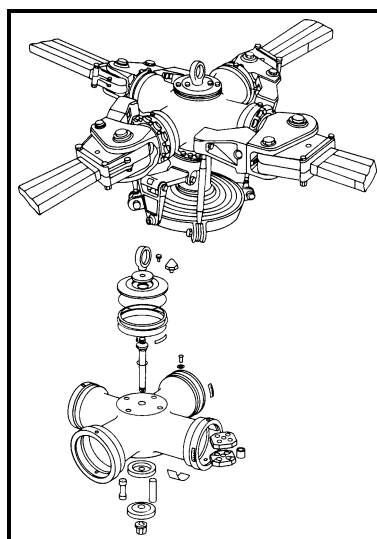
Το σύστημα στροφείου του Astar 350 χρησιμοποιεί ακόμη ένα μηχανισμό απόσβεσης κραδασμών, ο οποίος λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο με το σύστημα "bifilar" που χρησιμοποιείται στο S-76. Αυτό το σύστημα όμως χρησιμοποιεί και ένα βάρος τοποθετημένο στο άνω τμήμα της κεφαλής του στροφείου, με το κάτω μέρος του βάρους να συνδέεται στον ιστό μέσω ενός σφαιρικού συνδέσμου. Τρία ελατήρια κρατούν το δονούμενο βάρος στο κέντρο, επιτρέποντας του όμως μικρή κίνηση κώπησης προς όλες τις κατευθύνσεις. Το σύστημα δέχεται τις δονήσεις του στροφείου και μέσα από το μηχανισμό του βάρους και των ελατηρίων δημιουργεί αντιδονήσεις ίδιας συχνότητας αλλά αντίθετου φοράς και εξουδετερώνει τις αρχικές δονήσεις (σχ. 3.28).



Σχ. 3. 28 Σύστημα απόσβεσης κραδασμών με ελατήρια που χρησιμοποιείται στην κεφαλή του AStar 350

### 3.3.6. BO 105

Μια άλλη "περίεργη" κατασκευή κεφαλής στροφείου είναι αυτή του BO 105. Το στροφείο αυτού του ελικοπτέρου θα μπορούσε να παρομοιαστεί με ένα σταθερό ή άκαμπτο στροφείο. Η κεφαλή είναι μια μονοκόμματη κατασκευή από τιτάνιο έχοντας πρόβλεψη κίνησης μόνο κατά τον άξονα πτέρωσης. Τα πτερύγια είναι πολυεστερικής κατασκευής, με μεγάλες ελαστικές ικανότητες. Λόγω αυτής της ελαστικότητας και των δυνάμεων που ασκούνται πάνω τους, τα πτερύγια μπορούν να πραγματοποιούν ανεξάρτητη κώπιση και παλινδρόμηση. Αν και η κεφαλή παρουσιάζεται να ανήκει στην κατηγορία των άκαμπτων κεφαλών, όλο το σύστημα δημιουργεί ένα πλήρως αρθρωτό στροφείο (σχ. 3.29).

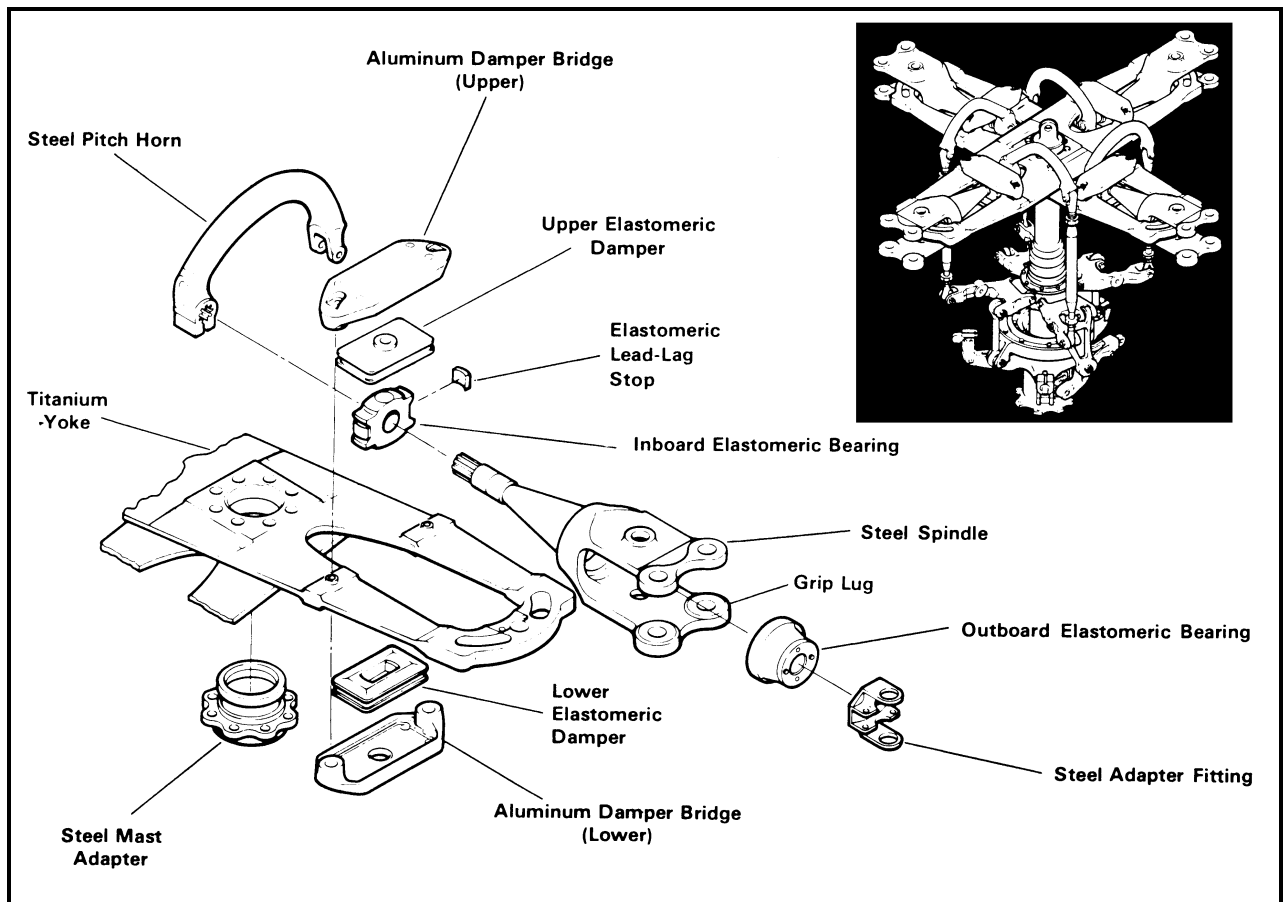


Σχ. 3. 29 Στερό στροφείο ελικοπτέρου BO 105.

### 3.3.7. Bell 412

Για πολλά χρόνια η Bell χρησιμοποιούσε στα ελικόπτερα της μόνο δύο τύπους συστημάτων στροφείου. Το μοντέλο 412 βγήκε στην παραγωγή με τέσσερα πτερύγια και το στροφείο του έγινε γνωστό σαν στροφείο μαλακού επιπέδου (soft in plane rotor). Αν και μπορούσε να πραγματοποιήσει όλες τις κινήσεις ενός πλήρως αρθρωτού στροφείου, εν τούτοις δεν είχε κανένα ιδιαίτερο μηχανισμό κώπισης και παλινδρόμησης. Όλες οι κινήσεις της κεφαλής επιτυγχάνονταν μέσα από την χρήση εύκαμπτων βραχιόνων και ελαστομερικών τριβέων και συνδέσεων. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία μιας απλής κατασκευής με ελάχιστο αριθμό εξαρτημάτων.

Τα δύο βασικά τμήματα της κεφαλής του στροφείου είναι η πλήμνη και οι εύκαμπτοι βραχίονες, οι οποίοι αλληλοσυνδέονται μεταξύ τους, μέσω του ιστού, διαμορφώνοντας έτσι ένα σταυρό. Οι διπλοζυγοί (yoke) είναι κατασκευασμένοι από τιτάνιο και βοηθούν στην κώπιση του στροφείου. Πάνω στην πλήμνη βρίσκονται οι διχαλωτοί βραχίονες συνδεδεμένοι με τους διπλοζυγούς μέσω ελαστομερικών τριβέων που δίνουν έλεγχο παλινδρόμησης και αλλαγής βήματος γύρω από τον άξονα πτέρωσης. Το εύρος της παλινδρομικής κίνησης των πτερυγίων ελέγχεται από τους ελαστομερικούς τριβείς. Από κει βγήκε και ο όρος "μαλακό επίπεδο". Η απλότητα αυτής της κατασκευής οδήγησε την Bell στη δημιουργία παρόμοιων κεφαλών και στα άλλα ελικόπτερα της. Το Bell 222 και κάποια εκδόσεις του Cobra, χρησιμοποιούν ένα ίδιο τύπο κεφαλής, δύο όμως πτερυγίων. Σήμερα στα συστήματα αυτά έχουν προστεθεί 8 βάρη εκκρεμούς που βρίσκονται πάνω στην κεφαλή του στροφείου και σκοπό έχουν να αποσβένουν όλες τις δονήσεις που εξακολουθούν να καταπονούν το στροφείο (σχ. 3.30).



Σχ. 3. 30 Πλήμνη κύριου στροφείου ελικοπτήρου Bell 412.

### 3.4 ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ

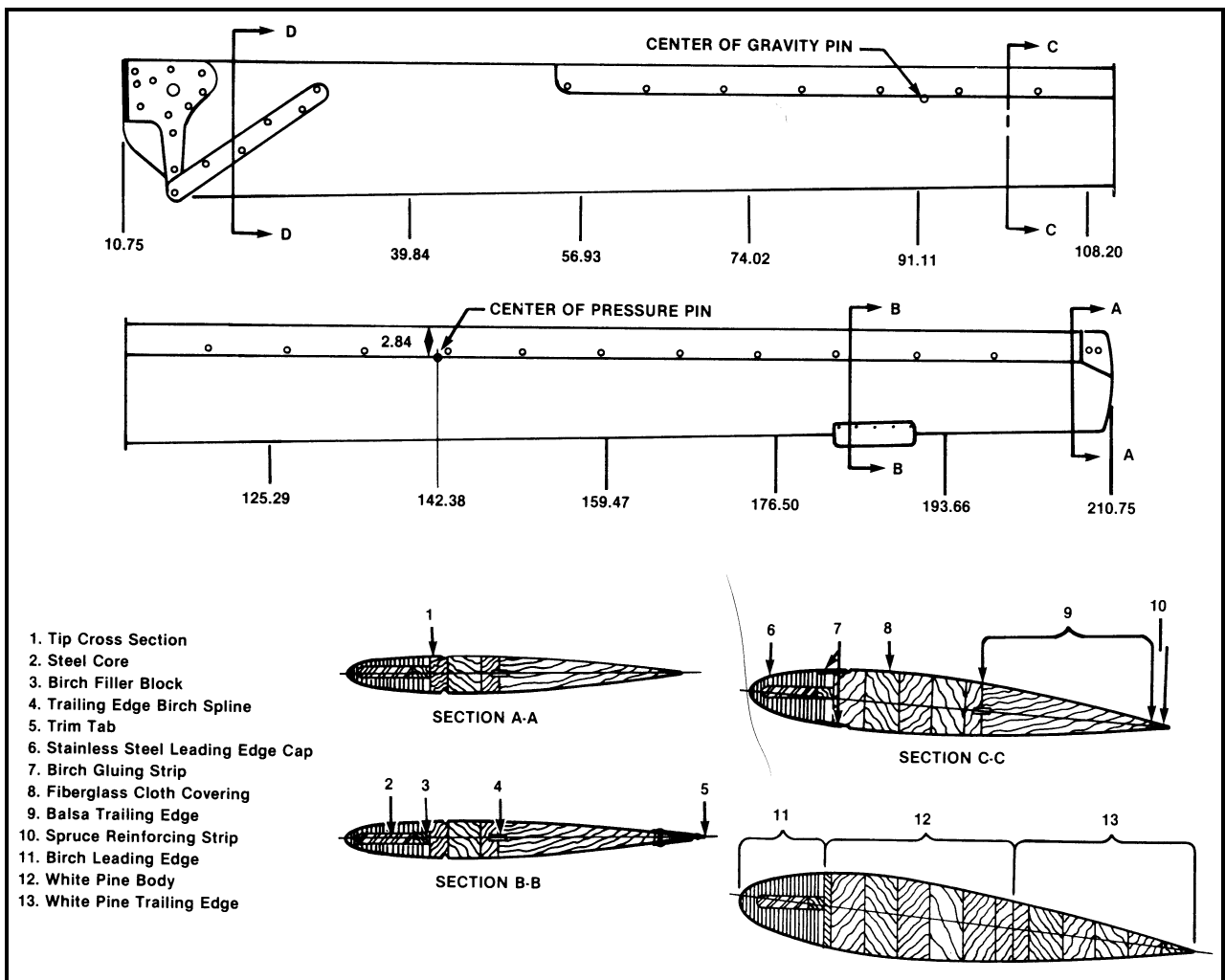
Τα πρώτα στροφεία κατασκευάστηκαν από ξύλο και χρησιμοποιήθηκαν σε πολλά από τα πρώτα μοντέλα ελικοπτήρων. Κάποια από αυτά κυκλοφορούν ακόμη. Αργότερα ήρθαν οι μεταλλικές πτέρυγες σαν συγκολλημένες κατασκευές (bonded) με κάποιες από αυτές να βρίσκονται ακόμη σε κυκλοφορία.

Η νέα γενιά πτερυγίων είναι συνθετικής κατασκευής και χρησιμοποιεί ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένου και του πολυεστέρα, για την κατασκευή τους.

Λόγω του ότι τα πτερύγια του στροφείου είναι κάτι αντίστοιχο με την πτέρυγα του αεροπλάνου, είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε τη σημασία που πρέπει να δώσουμε στην επιθεώρηση και τη συντήρηση των πτερυγίων αυτών. Τα πτερύγια παράγουν την απαιτούμενη άντωση του ελικοπτήρου και υπόκεινται σε πολλά φορτία καταπόνησης που δεν συναντώνται σε μια σταθερή πτέρυγα. Τέτοια φορτία είναι η φυγοκεντρική δύναμη, η δύναμη στρέψης και βίαια φορτία εμπετάσματος. Για αυτούς τους λόγους τα πτερύγια του στροφείου θεωρούνται πολύ κρίσιμα εξαρτήματα και πρέπει να επιθεωρούνται προσεκτικά.

### 3.4.1. Ξύλινα πτερύγια

Τα πρώτα πτερύγια στροφείων που κατασκευάστηκαν ήταν από φύλλα ξύλου κατάλληλα διαμορφωμένα. Διάφοροι τύποι ξύλων χρησιμοποιήθηκαν όπως σημύδα, έλατο, πεύκο και μπάσα, ξεχωριστά, ή σε συνδυασμούς, ώστε να πετύχουν την απαιτούμενη σταθερότητα αλλά και τη σωστή αεροδυναμική μορφή της κατασκευής. Ένας μεταλλικός πυρήνας ήταν τοποθετημένος μεταξύ των φύλλων του ξύλου και κοντά στο χείλος προσβολής των πτερυγίων. Αυτός ο μεταλλικός πυρήνας χρησίμευε για την ζυγοστάθμιση των πτερυγίων (σχ. 3.31).



Σχ. 3. 31 Τυπική κατασκευή ξύλινου πτερυγίου ελικοπτερου.

Το εξωτερικό τμήμα του πτερυγίου ήταν καλυμμένο με πολυεστερικά νήματα, διαποτισμένα με ρετσίνη. Στο χείλος προσβολής και σε απόσταση περίπου 2/3 από το εξωτερικό τμήμα του, υπήρχε προστατευτικό μεταλλικό κάλυμμα για προστασία από χτυπήματα και γδαρσίματα καθώς περιστρέφονταν τα πτερύγια. Το κάλυμμα αυτό ασφαλιζεται στη θέση του με τη βοήθεια ήλων (σχ. 3.31). Στη ρίζα του πτερυγίου υπάρχουν μεταλλικές πλάκες συνδεδεμένες με βίδες. Οι πλάκες αυτές συχνά αναφέρονται σαν "μάγουλα" (cheek) και προβάλλουν μια επιφάνεια στήριξης για το

συγκρότημα του βραχίονα παλινδρόμησης και της λαβής της πλήμνης. Στο άνω τμήμα της βρίσκονται καρφίδες (tow pins) για να παρουσιάζουν τη θέση του κέντρου βάρους και του κέντρου πίεσης. Χρησιμοποιούνται σαν οδηγοί για σκοπούς συντήρησης. Προς το ακροπτερύγιο και στο χείλος εκφυγής του πτερυγίου είναι προσαρμοσμένο με ήλους ένα αντισταθμιστικό πτερύγιο. Το πτερύγιο αυτό χρησιμοποιείται για να ρυθμίζει το ίχνος του πτερυγίου όταν απαιτείται διόρθωση. Στο ακροπτερύγιο υπάρχει ειδική υποδοχή βαρών με σκοπό τη ζυγοστάθμιση των πτερυγίων κατά το εκπέτασμά τους. Τα βάρη τοποθετούνται ή αφαιρούνται μέσα σε αυτή την υποδοχή.

Λόγω των πολλών τύπων ξύλων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του κάθε πτερυγίου, τα περισσότερα πτερύγια δηλώνονται σαν ζευγάρια, κάτι που σημαίνει ότι δεν μπορούμε να αντικαταστήσουμε μόνο το ένα από τα δύο πτερύγια αλλά και τα δύο μαζί. Κατά την κατασκευή της, κάθε πτέρυγα του στροφείου διαμορφώνεται σύμφωνα με την πρότυπη πτέρυγα και μετά αναδιαμορφώνεται έτσι ώστε να ταιριάζει και με το ζευγάρι της. Ένα από τα μεγάλα μειονεκτήματα της ξύλινης πτέρυγας είναι η συγκέντρωση υγρασίας πάνω της με συνέπεια την αποζυγοστάθμισή της. Το πρόβλημα αυτό εν μέρει διορθώνεται με τη λειτουργία του ελικοπτέρου, σε χαμηλές στροφές, για κάποιο χρονικό διάστημα.

Ένα από τα πλεονεκτήματα των ξύλινων πτερυγίων είναι ότι η διάρκεια πλοϊμότητας τους εξαρτάται από την κατάσταση που βρίσκεται το ξύλο τους και η πτέρυγα γενικότερα και όχι με συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας όπως στις μεταλλικές έλικες.

Το πτερύγιο του στροφείου πρέπει να ελέγχεται είτε για αλλοίωση είτε για διάφορες ζημιές. Η αλλοίωση είναι συνήθως μια πολύ αργή διαδικασία που οδηγεί σε προβλήματα με την εξωτερική επιφάνεια του πτερυγίου, με τα σημεία επαφής του, αλλά και με τη ρίζα του. Το πρώτο σημάδι που θα δούμε στην εξωτερική επιφάνεια του πτερυγίου θα είναι το χάσιμο της στιλπνότητας του. Έτσι τα φύλλα του ξύλου θα μείνουν εκτεθειμένα στην υγρασία και θα σαπίζουν. Κάθε εκτεθειμένο τμήμα ξύλου πρέπει να καλύπτεται αμέσως. Το πτερύγιο ακόμη πρέπει να επιθεωρείται για χαλαρές βίδες ή ήλους. Ακόμη και αν ένα τέτοιο πρόβλημα δεν οδηγεί σίγουρα στην αντικατάσταση του πτερυγίου, δείχνει όμως σημάδια σαπίσματος του ξύλου ή συγκέντρωση μεγάλης υγρασίας. Η ρίζα του πτερυγίου συνήθως υπόκεινται σε προβλήματα διαχωρισμού των φύλλων της. Το εγχειρίδιο συντήρησης πρέπει να ελεγχθεί όσον αφορά τα όρια της επιτρεπόμενης ζημιάς. Αν η ζημιά βρίσκεται μέσα στα όρια τότε επιδιορθώνεται σύμφωνα με το εγχειρίδιο επισκευών.

Καταστροφή στα πτερύγια μπορεί να συμβεί είτε τα πτερύγια κινούνται είτε όχι. Η πρώτη περίπτωση είναι και η πιο επικίνδυνη λόγω του ότι η καταπόνηση από το κτύπημα στα πτερύγια μπορεί να μεταδοθεί σε ολόκληρο το ελικόπτερο κάνοντας ζημιά και σε κάποιο άλλο σημείο. Λόγω του ότι το πτερύγιο είναι εξωτερικά καλυμμένο, είναι δύσκολο να δούμε κάποια φθορά σε άλλο σημείο εκτός από το σημείο που δέχτηκε το κτύπημα. Θα πρέπει όμως να ελέγξουμε και την υπόλοιπη πτέρυγα για εξογκώματα ή σκεβρώσεις, λυγίζοντας και λίγο την πτέρυγα αν είναι απαραίτητο.

Για αυτούς του λόγους η επιθεώρηση του πτερυγίου είναι πολύ σημαντική. Κτύπημα στην περιοχή του πτερυγίου δημιουργεί μεγάλες πιθανότητες μετάδοσης της καταπόνησης αυτής και στο υπόλοιπο ελικόπτερο. Αν μάλιστα το κτύπημα σταματήσει

και το στροφείο, τότε όλο το ελικόπτερο χρειάζεται επιθεώρηση και κατά πάσα πιθανότητα χρειάζεται και αντικατάσταση όλο το σύστημα του κυρίως στροφείου.

Οι περισσότερες φθορές στα πτερύγια δημιουργούνται όταν το στροφείο λειτουργεί στο έδαφος. Οι ζημιές αυτές δεν είναι τόσο σημαντικές όσο οι προηγούμενες αλλά μπορούν κάλλιστα να οδηγήσουν στην απώλεια του πτερυγίου, αν δεν εντοπιστούν και διορθωθούν έγκαιρα. Τις περισσότερες φορές οι φθορές αυτές εντοπίζονται στην περιοχή του χείλους προσβολής του πτερυγίου ή στο κάλυμμα του. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις η επιδιόρθωση τους είναι απλή αν ακολουθήσουμε τις οδηγίες του κατασκευαστή. Κάποιες πιο σοβαρές ζημιές πρέπει να επιδιορθώνονται από ειδικά συνεργεία.

Μια σωστή διαδικασία συντήρησης ξύλινης έλικας αποτελείται από την επιθεώρηση και τον καθαρισμό της. Τα πτερύγια πρέπει να πλένονται με σαπούνι και νερό. Το σαπούνι πρέπει να είναι φυσικό γιατί αλλιώς μπορεί να διαβρώσει το ξύλο του πτερυγίου. Επίσης πρέπει να αποφεύγεται και κάθε άλλο καυστικό υγρό καθαρισμού. Μετά το πλύσιμο τα πτερύγια πρέπει να βερνικώνονται, αλλά κάθε τραχύ βερνίκι πρέπει να αποφεύγεται για να μην καταστρέψει το κάλυμμα του πτερυγίου.

Περιοχές που έχουν επισκευαστεί πρέπει να ξαναβάφονται. Αν χρειαστεί να ξαναβαφτεί όλη η πτέρυγα, τότε πρέπει να ξαναζυγοσταθμιστεί. Τα χρώματα που χρησιμοποιούνται για την βαφή πρέπει να είναι εγκεκριμένα από τον κατασκευαστή. Αν πρέπει να ξαναβαφτεί όλη η πτέρυγα πρέπει να καθαριστεί προσεκτικά από κάθε ξένο σώμα και το χρώμα να απλώσει ομοιόμορφα και ισόποσα σε όλο της το μήκος. Πριν το βάψιμο, το χρώμα πρέπει να ανακατευτεί και να χωριστεί σε ισόποσα μέρη ώστε να είμαστε βέβαιοι ότι και τα δύο πτερύγια θα λάβουν την ίδια ποσότητα χρώματος. Αυτή η διαδικασία θα απλουστεύσει αργότερα την επαναζυγοστάθμιση των πτερυγίων.

Πολλοί κατασκευαστές απαιτούν η αφαίρεση των αντισταθμιστικών, του μεταλλικού προστατευτικού στο χείλος προσβολής και η επισκευή του κατεστραμμένου τμήματος του ξύλου, να γίνονται σε εξουσιοδοτημένο για αυτές τις εργασίες επισκευαστικό συνεργείο.

### **3.4.2. Μεταλλικά πτερύγια**

Τα μεταλλικά πτερύγια στροφείου παράγονται τουλάχιστον τριάντα χρόνων. Λόγω του κόστους κατασκευής αλλά και της ιδιομορφίας των εμπλεκόμενων κατασκευαστών, η μέθοδος κατασκευής ποικίλει σημαντικά.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του μεταλλικού πτερυγίου είναι ο ποιοτικός έλεγχος που υφίστανται κατά την διάρκεια της κατασκευής του. Μονά πτερύγια μπορούν να αλλαχθούν χωρίς την παράλληλη αλλαγή του ζευγαριού τους (matched sets). Όλα τα πτερύγια εναρμονίζονται με το πρότυπο στροφείο του κατασκευαστή. Αυτό το σύστημα επιτρέπει στο να προστεθεί επιπλέον βάρος στο πτερύγιο κατά την κατασκευή του έτσι ώστε να επιτευχθούν τα καλύτερα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά και να δοθεί στην πτέρυγα ικανό βάρος για να βοηθήσει την αδράνεια που είναι απαραίτητη για την αυτοπεριστροφή.

Όπως κάθε άλλο μεταλλικό αντικείμενο που εκτίθεται σε καταπονήσεις κατά τη διάρκεια της πτήσης, έτσι και το πτερύγιο πρέπει να έχει όριο ζωής. Αυτό είναι ένα



μειονέκτημα σε σύγκριση με την ξύλινη πτέρυγα, η οποία δεν έχει συγκεκριμένα όρια ζωής.

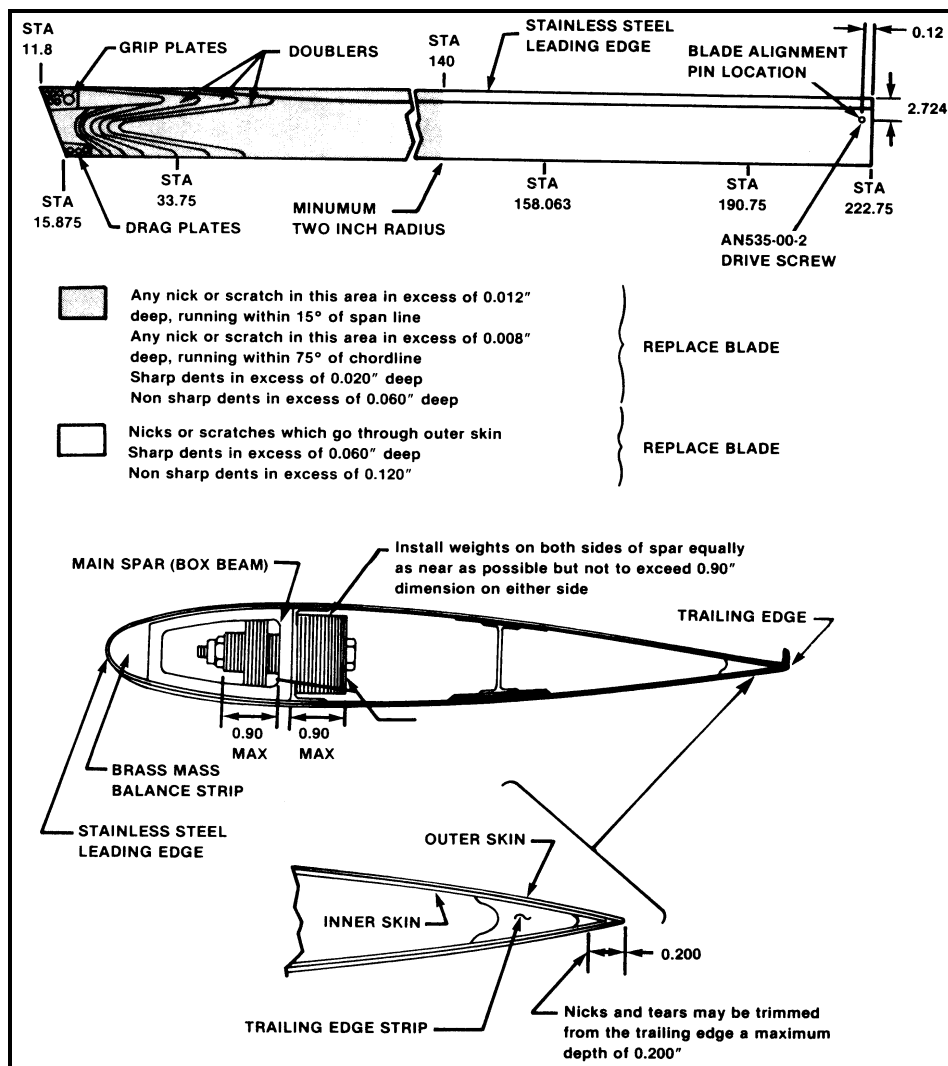
Ένα πράγμα που έχουν κοινό όλα τα πτερύγια είναι ο συγκολλημένος (bonded) τύπος κατασκευής τους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από μία διαδικασία θέρμανσης και συμπίεσης των μετάλλων και έχει μερικά πλεονεκτήματα που είναι πολύ σημαντικά για την ακεραιότητα του πτερυγίου του στροφέιου.

Αυτά είναι:

1. Ισομερής κατανομή των καταπονήσεων.
2. Συνεχής επαφή μεταξύ των συγκολλημένων επιφανειών.
3. Πιο λείες καμπύλες.
4. Εύκαμπτες ενώσεις.
5. Μειωμένο βάρος.

Το μειονέκτημα σε αυτόν τον τύπο κατασκευής είναι η αδυναμία αποσυναρμολόγησης του πτερυγίου σε μη ειδικό χώρο.

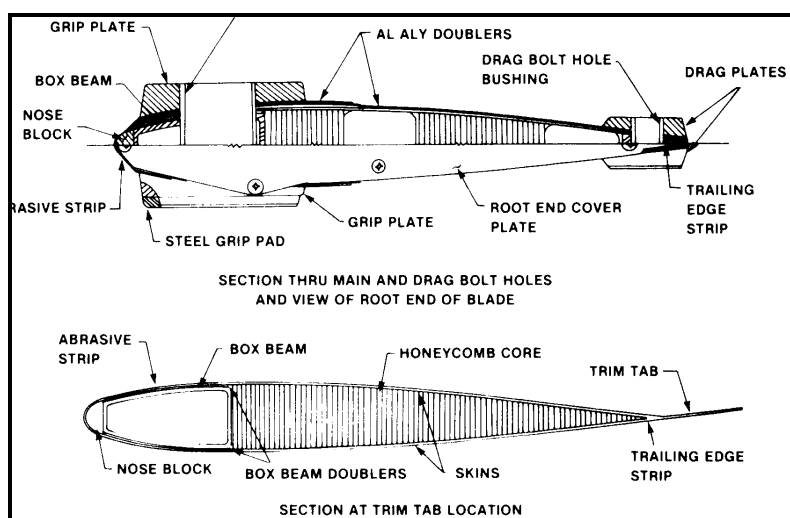
Η κατασκευή του πτερυγίου είναι συνήθως από κράματα αλουμινίου. Στην (σχ. 3.32) παρουσιάζεται μία τυπική κατασκευή ενός τύπου μεταλλικού πτερυγίου



Σχ. 3. 32 Από τις πρώτες μεταλλικές πτέρυγες (Bell 47)

Η κύρια δοκός (spar) είναι τετραγωνισμένης κατασκευής (box type), και εκτείνεται κατά μήκος όλου του πτερυγίου. Είναι το κύριο δομικό τμήμα της πτέρυγας. Η επικάλυψη (skin) είναι απλά ένα περιτύλιγμα, δίνοντας έτσι στο πτερύγιο το αεροδυναμικό του σχήμα. Η επικάλυψη είναι συγκολλημένη στο κανάλι της κυρίας δοκού και στο χείλος εκφυγής. Μία ανοξειδωτή ατσάλινη ταινία είναι προσκολλημένη με τον ίδιο τρόπο στο χείλος προσβολής και ενεργεί σαν μία ασπίδα εναντίον των εκδορών για το πτερύγιο. Χωρίς αυτή την προστασία το πτερύγιο θα φθειρόταν αρκετά γρήγορα σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας όπως λειτουργία σε περιοχή με άμμο και σκόνη. Πλάκες συγκρατήσεως (grip plates) και νευρώσεις προστίθενται στην ρίζα του πτερυγίου για να μοιράσουν τις δυνάμεις συγκρατήσεως σε μεγαλύτερη επιφάνεια του πτερυγίου. Ένα αντισταθμιστικό πτερύγιο τοποθετείται στην εξωτερική επιφάνεια του χείλους εκφυγής για ρύθμιση του ίχνους του στροφείου. Ακόμη μπορούν να προστεθούν στον θύλακα του ακροπτερυγίου και βάρη για λόγους ζυγοστάθμισης. Αυτά τοποθετούνται κατευθείαν στην κύρια δοκό και είναι προσιτά όταν αφαιρεθεί το κάλυμμα του ακροπτερυγίου. Επιπλέον βάρος συχνά τοποθετείται και εσωτερικά του ακροπτερυγίου για σκοπούς αδρανείας. Τα βάρη αυτά μερικές φορές αναφέρονται σαν βάρη μέσου εκπετάσματος (midspan weights) και τοποθετούνται από τον κατασκευαστή του πτερυγίου. Το βάρος μέσου εκπετάσματος δεν πρέπει να διαταραχθεί για επαναζυγοστάθμιση του πτερυγίου.

Ένας άλλος τύπος κατασκευής πτερυγίου παρουσιάζεται στο (σχ. 3.33).

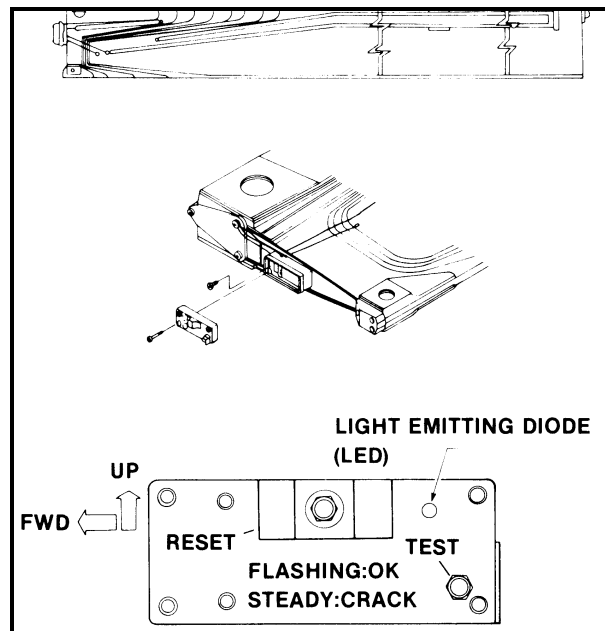


Σχ. 3. 33 Τομή μεταλλικής πτέρυγας με honeycomb.

Και σε αυτό το πτερύγιο ακολουθούνται οι ίδιες τεχνικές κατασκευής, με την επικάλυψη να τυλίγεται και να συγκολλείται στο χείλος εκφυγής του πτερυγίου. Η διαφορά όμως βρίσκεται στο εσωτερικό της κατασκευής. Εδώ, ενώ η κύρια δοκός εξακολουθεί να είναι το κύριο μέλος της δομής, ένας κυψελοειδής πυρήνας που τοποθετείται από την κύρια δοκό και προς το χείλος εκφυγής, δίνει την στήριξη για την επικάλυψη και συγχρόνως διαμορφώνει το σχήμα του πτερυγίου.

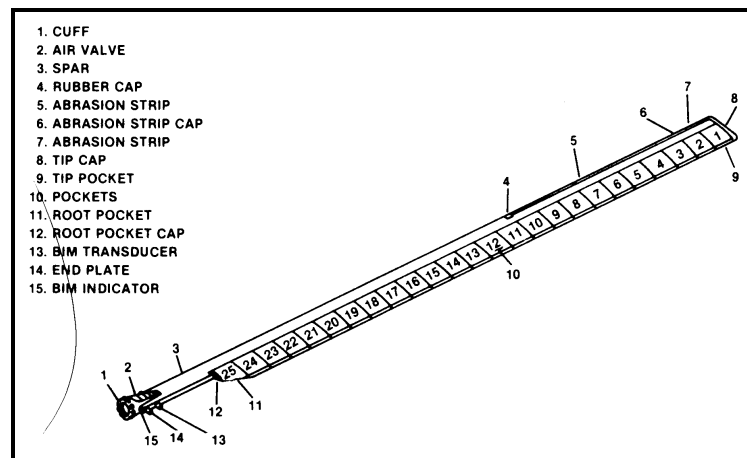
Το συγκεκριμένο πτερύγιο εμπεριέχει και ειδικό σύστημα επιθεώρησης του εσωτερικού του. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα ηλεκτρονικό ανιχνευτή με

μνήμη και κυκλώματα ανίχνευσης ρωγμών. Ο ανιχνευτής ενεργοποιείται μέσω ενός φυγοκεντρικού διακόπτη, που δραστηριοποιείται όταν το στροφέιο κινείται, ή όταν τραβηχτεί το κουμπί TEST που βρίσκεται επάνω στη συσκευή. Κατά τη διάρκεια του ελέγχου, ένα αναβοσβήνων κόκκινο λαμπάκι φανερώνει κατάσταση ικανοποιητικής λειτουργίας, ενώ όταν το λαμπάκι σταθεροποιηθεί αναμμένο παρουσιάζει μια κατάσταση πιθανής ρωγμής, δίνοντας έτσι εντολή για περαιτέρω επιθεώρηση της πτέρυγας (σχ. 3.34).



Σχ. 3. 34 Σύστημα BIS που χρησιμοποιείται στα Bell.

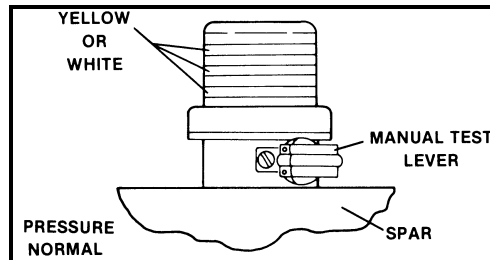
Ένας άλλος τύπος μεταλλικής κατασκευής παρουσιάζεται στο (σχ. 3.35).



Σχ. 3. 35 Μεταλλική πτέρυγα ελικοπτήρου Sikorsky.

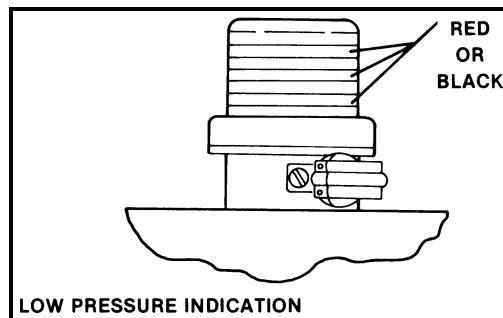
Η πτέρυγα αυτή αποτελείται από μια κύρια δοκό που αποτελεί και το κύριο δομικό τμήμα της κατασκευής και το χείλος προσβολής της. Συγκολλημένα στην κύρια δοκό βρίσκονται τμήματα αεροτομής που ονομάζονται "πτυχές" (rockets). Το εσωτερικό τμήμα της πτέρυγας είναι μοναδικό για το είδος του, καθώς αποτελείται από ένα χαλύβδινο σωλήνα βιδωμένο στην κύρια δοκό. Και αυτός ο τύπος της πτέρυγας

χρησιμοποιεί σύστημα ανίχνευσης ρωγμών που ονομάζεται BIM (Blade Inspection Method). Ο χώρος της δοκού είναι συμπιεζόμενος με ένα αδρανές αέριο. Ένας ενδείκτης τοποθετείται στην ρίζα του πτερυγίου. Ο ενδείκτης αυτός δεν είναι τίποτα άλλο από ένα διακόπτη πίεσης που κινεί πάνω-κάτω, με κάθε μεταβολή της πίεσης, ένα σπирάλ σωλήνα με χρώματα. Μια κανονική κατάσταση παρουσιάζεται στο (σχ. 3.36).



Σχ. 3. 36 Ενδείκτης BIS σε νορμάλ πίεση.

Αν παρουσιαστεί όμως ρωγμή στην κύρια δοκό, η πίεση θα διαφοροποιηθεί και ο χρωματισμός του ενδείκτη θα αλλάξει (σχ. 3.37)

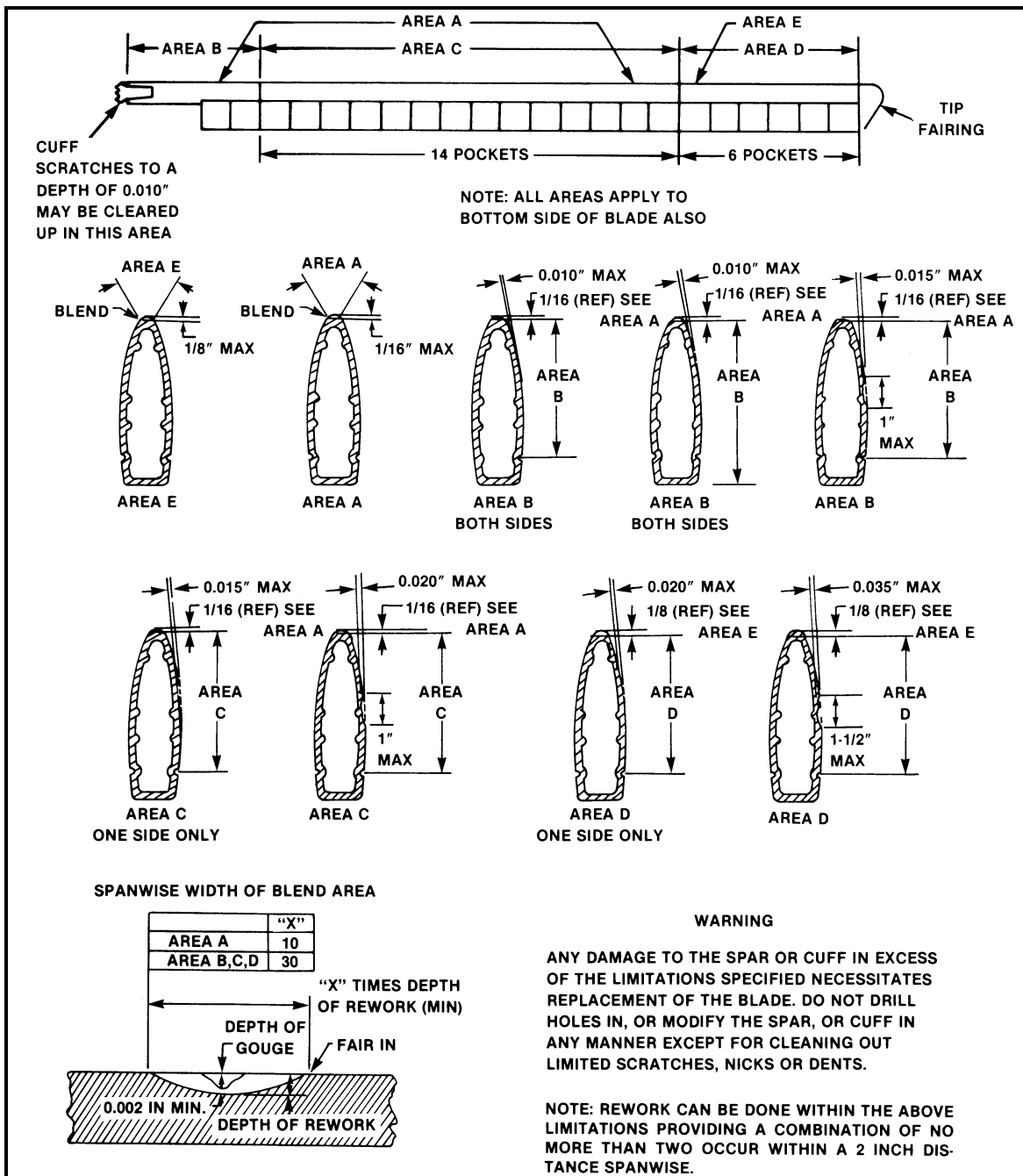


Σχ. 3. 37 Ενδείκτης BIS σε χαμηλή πίεση.

Υπάρχουν και αρκετοί άλλοι τύποι κατασκευής πτέρυγας ελικοπτέρου, αλλά λίγο πολύ όλες αυτές μοιάζουν με τις περιπτώσεις που έχουμε ήδη αναφέρει. Όπως και οι ξύλινες πτέρυγες, έτσι και οι μεταλλικές πλένονται με νερό και σαπούνι, ενώ στο τέλος γυαλίζονται με κερί. Καυστικά διαλύματα και υγρά αμφιβόλου προελεύσεως πρέπει να αποφεύγονται λόγω της τυχόν επίδρασής τους στις συγκολλήσεις, με αποτέλεσμα την καταστροφή του πτερυγίου. Σε τόπους που η πτέρυγα εκτίθεται στο θαλασσινό νερό, απαιτείται καθημερινό πλύσιμο των πτερύγων και επάλειψή τους με λεπτό στρώμα λαδιού.

Αντίθετα με τις ξύλινες πτέρυγες, η έκθεση της μεταλλικής πτέρυγας σε διάβρωση δεν έχει άμεσα αποτελέσματα. Κάθε όμως μορφή διάβρωσης πρέπει όσο το δυνατόν πιο γρήγορα να αφαιρείται, συμβουλευόμενοι πάντα το σχετικό εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

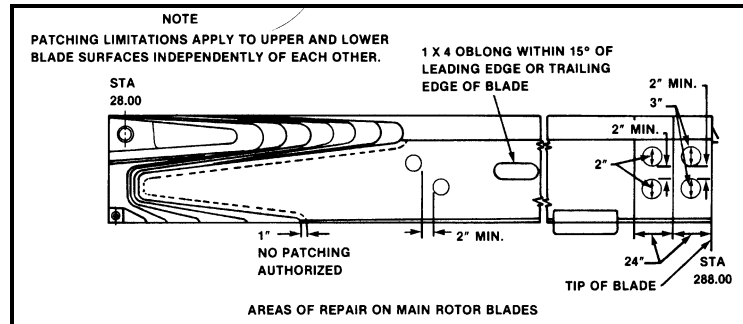
Η πτέρυγα επιθεωρείται ακόμη για τυχόν χτυπήματα και εκδορές, που αν δεν διορθωθούν έγκαιρα ίσως μετατραπούν σε ρωγμές. Τα κτυπήματα και οι εκδορές που παρατηρούνται στην πτέρυγα ομαλοποιούνται με προσεκτικό λιμάρισμα (σχ. 3.38).



Σχ. 3. 38 Τυπική διάταξη ορίων επισκευής μεταλλικών πτερύγων ελικοπτήρου Sikorsky.

Όσο όμως πιο κοντά στην ρίζα του πτερυγίου βρίσκονται, τόσο πιο κρίσιμη ζημιά θεωρούνται. Και εδώ πρέπει να προσέχουμε πολύ τα όρια που θέτει ο κατασκευαστής για τέτοιου είδους επισκευές ζημιών.

Τέλος ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να παρουσιαστεί είναι τυχόν διαχωρισμός της συγκόλλησης με την κυψελοειδή περιοχή. Κάποιες μορφές διαχωρισμού μπορεί να είναι άμεσα επισκευάσιμες (σχ. 3-39).



Σχ. 3. 39 Ορια μπαλωμάτων επικάλυψης σε πτέρυγες ελικοπτέρων Bell.

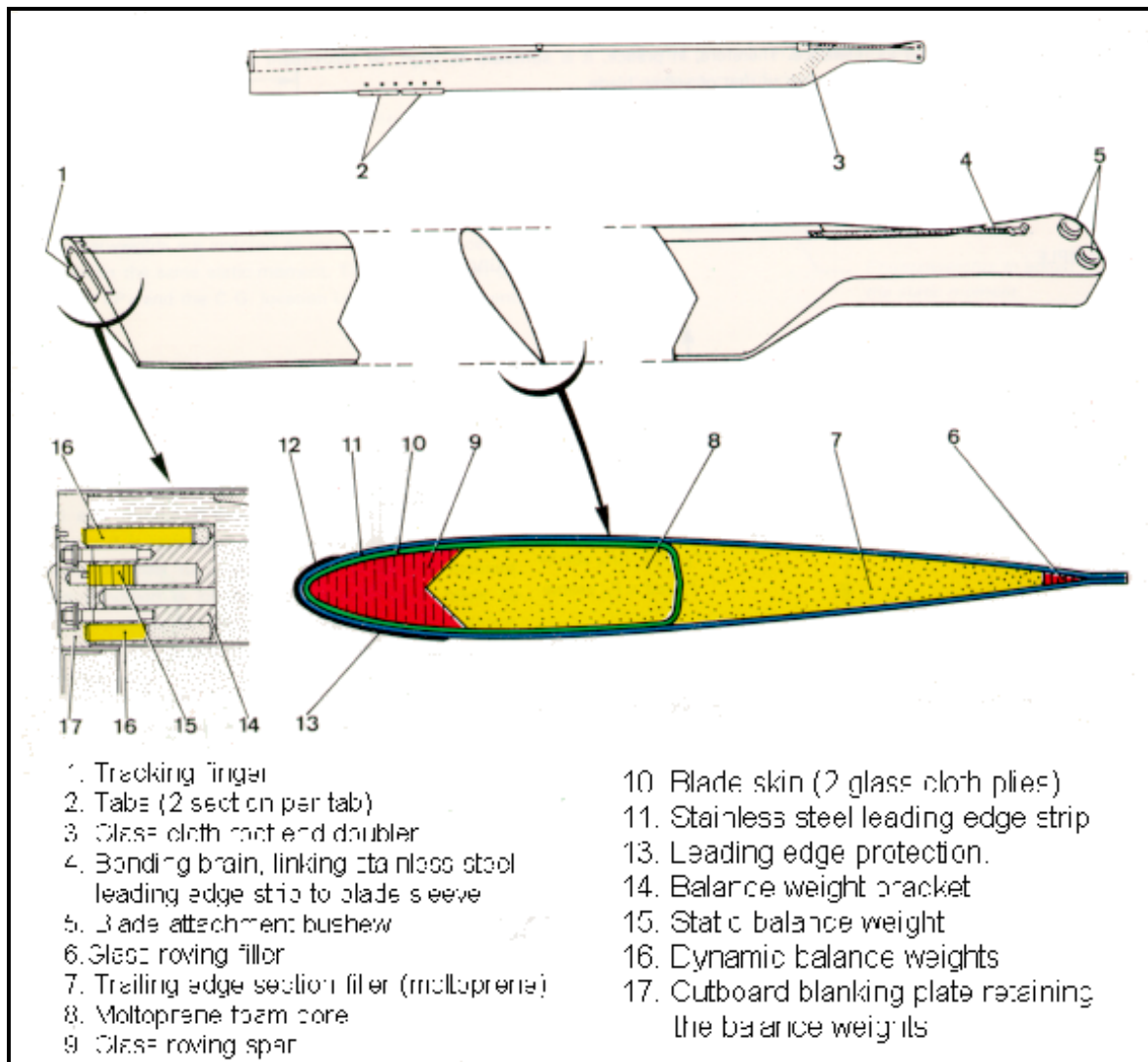
Κάποιες άλλες προϋποθέτουν επιστροφή του πτερυγίου στον κατασκευαστή για επιδιόρθωσή του. Εξάλλου αρκετές εταιρείες κατασκευής πτερυγίων διαθέτουν και τμήμα δανεισμού από όπου μπορεί ο ενδιαφερόμενος πελάτης να δανειστεί πτέρυγα μέχρις ότου αποπερατωθούν οι επισκευές στην δική του.

### 3.4.3. Πολυεστερικές ή συνθετικές πτέρυγες στροφείου.

Ένα άλλο υλικό κατάλληλο για την κατασκευή πτερυγίων είναι και ο πολυεστέρας. Η σύλληψη της ιδέας για πολυεστερικές πτέρυγες στροφείου ξεκινά κατά τα μέσα του 1950 με τέσσερις εταιρείες να συνεργάζονται για αυτό το σκοπό. Αυτές ήταν οι Parsons, Aerospatiale, Boelkow και Boieng-Vertol. Αν και τελικά ενεπλάκησαν στις εξελίξεις και άλλες εταιρείες, αυτές οι τέσσερις ήταν οι υπεύθυνες του σχεδιασμού και της έρευνας. Το είδος αυτό της πτέρυγας, με όποιες τυχόν τροποποιήσεις, θα βρίσκεται στο προσκήνιο για πολλά ακόμη χρόνια.

Τα πτερύγια αυτά κατασκευάζονται από διάφορα υλικά και καλύπτονται με πολυεστέρα. Έχουν δοκιμαστεί και εξακολουθούν να δοκιμάζονται διάφοροι τύποι πολυεστερικών κατασκευών. Σήμερα μόνο δύο από αυτούς τους τύπους χρησιμοποιούνται σε ελικόπτερα παραγωγής. Είναι η πολυεστερική πτέρυγα με πολυεστερική δοκό και η αντίστοιχη με μεταλλική δοκό.

Μια τυπική πτέρυγα με πολυεστερική δοκό παρουσιάζεται στο σχ. 3.40.

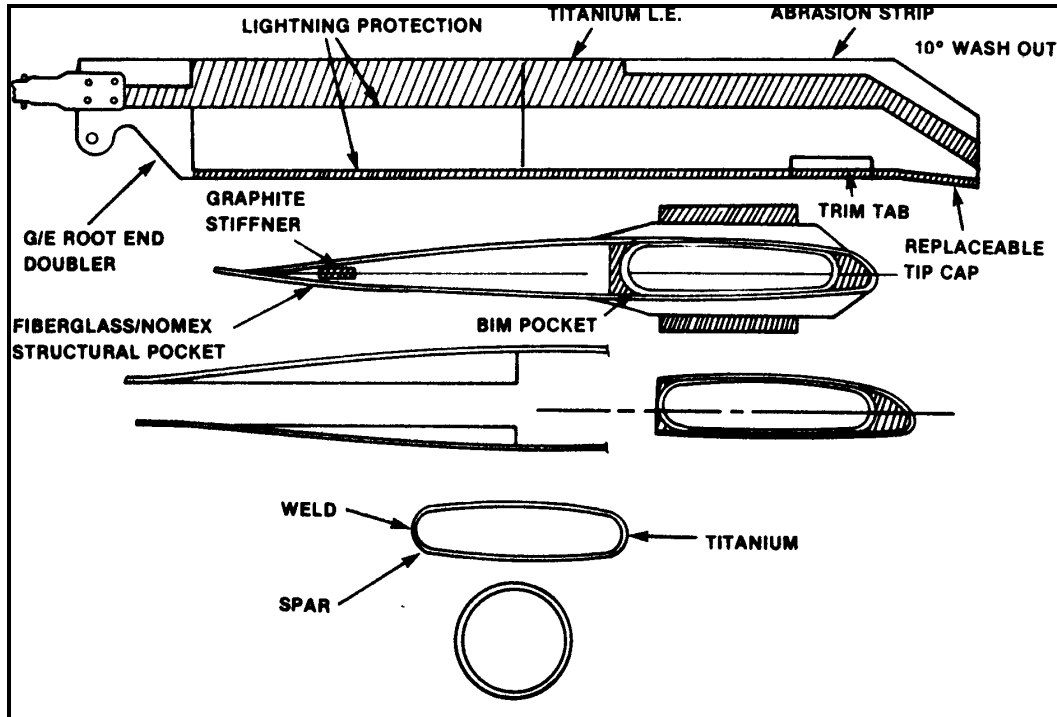


Σχ. 3. 40 Βασικά υλικά και τρόπος κατασκευής πολυεστερικής πτέρυγας ελικοπτήρου.

Χρησιμοποιεί μια προ-επεξεργασμένη κύρια δοκό. Η δοκός κατασκευάζεται από τυλιγμένα μεταξύ τους φύλλα υαλοβάμβακα σε λωρίδες. Το υλικό αυτό εμποτίζεται με εποξική ρετσίνα (1). Το υπόλοιπο σώμα αποτελείται από λωρίδες υαλοβάμβακα (2) τυλιγμένες γύρω από ένα αφρώδες πυρήνα (3). Η επικάλυψη της πτέρυγας δημιουργείται από εμποτισμένο σε πολυεστέρα υαλοβάμβακα (4). Επιπλέον, προστίθενται και μεταλλικές πλάκες για τη διαμόρφωση της ρίζας του πτερυγίου (9). Στο χείλος εκφυγής υπάρχει ένας ακόμη αφρώδης πυρήνας (5) τυλιγμένος με λωρίδες υαλοβάμβακα (6). Το χείλος προσβολής της πτέρυγας προστατεύεται από μια χαλύβδινη λωρίδα που καλύπτει όλο το μήκος της πτέρυγας (7). Για επιπρόσθετη προστασία τοποθετείται και ένα στρώμα πολουρεθάνης (11) προς το χείλος προσβολής και καλύπτει ένα μικρό τμήμα πίσω από την χαλύβδινη λωρίδα. Τέλος τα βάρη ζυγοστάθμισης τοποθετούνται στο ακροπτερυγίο, σε ειδική υποδοχή (12).

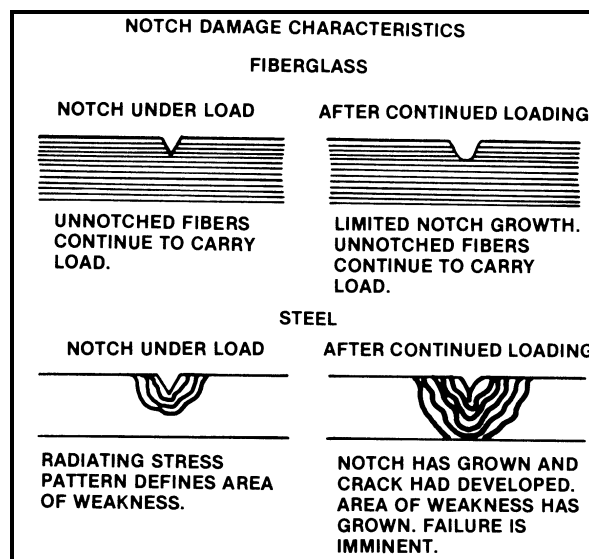
Σε αυτή την πολυεστερική κατασκευή μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πλήθος άλλων υλικών όπως, επικάλυψη από ανθρακονήματα, επικάλυψη από Kevlar, χείλος προσβολής από τιτάνιο και κυψελοειδή γεμίσματα του εσωτερικού της πτέρυγας αντί τον αφρώδη πυρήνα. Το είδος των χρησιμοποιούμενων υλικών εξαρτάται από τον

κατασκευαστή, αλλά κυρίως από τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της πτέρυγας. Οι συνθετικές πτέρυγες δεν πρέπει να συγχέονται με τις πολυεστερικές, καθώς οι συνθετικές χρησιμοποιούν μεταλλική δοκό ενώ ο πολυεστέρας ή άλλα συνθετικά υλικά καλύπτουν την υπόλοιπη επιφάνεια της πτέρυγας (σχ. 3.41).



Σχ. 3. 41 Κατασκευή πτέρυγας S-76 ελικοπτερου.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα της πολυεστερικής κατασκευής έναντι της μεταλλικής. Το κύριο είναι η χρονική λειτουργία του πτερυγίου. Από όλες τις ενδείξεις που έχουμε, το πτερύγιο από πολυεστέρα δεν έχει περιορισμένη ζωή, όπως έχει το μεταλλικό πτερύγιο. Επιπλέον, το πολυεστερικό πτερύγιο είναι λιγότερο τρωτό σε βλάβες εγχοπών (σχ. 3.42) λόγω των περιτυλιγμένων ινών του.



Σχ. 3. 42 Σύγκριση εγχοπών μεταλλικής και πολυεστερικής πτέρυγας



Η διάβρωση στον πολυεστέρα είναι ανύπαρκτη. Η συγκόλληση ή τα προβλήματα διαχωρισμού των φύλλων του πολυεστέρα μπορούν συχνά να επιδιορθωθούν επαλείφοντάς τα με εποξικά υλικά και η εργασία αυτή μπορεί να εκπληρωθεί ακόμη και στην πίστα. Για όλους αυτούς τους λόγους θα υπάρξει αναμφισβήτητα περισσότερος πολυεστέρας ή συνθετικό υλικό στα νέα ελικόπτερα που θα κυκλοφορήσουν από δω και μπρος.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΕΦΑΛΗΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ**

Η συντήρηση της κεφαλής του στροφείου κανονικά αναφέρεται στην λίπανσή του. Η κατάλληλη λίπανση της κεφαλής του στροφείου μπορεί να αποτρέψει την μεγάλη φόρτιση του στροφείου. Το γρασάρισμα της κεφαλής γίνεται με ένα πιστόλι γράσου χειρός και χρησιμοποιεί ειδικό γράσο από τον κατασκευαστή. Ωστόσο όταν το ελικόπτερο λειτουργεί κάτω από δύσκολες συνθήκες ή σε συγκεκριμένες περιοχές με σκόνη ή άμμο, συνίσταται πιο συχνό γρασάρισμα. Για παράδειγμα: Σε ένα αμμώδες περιβάλλον θα χρειάζονταν πολύ πιο συχνή λίπανση για να αφαιρείται η άμμος από τις περιοχές των τριβέων. Παρόλο που στις υγρές κεφαλές χρειάζεται λιγότερη συντήρηση και λίπανση, μπορεί να εμφανιστούν διαρροές. Τα περισσότερα συστήματα δικαιολογούν κάποια επιτρεπτή διαρροή, αλλά η επιπλέον διαρροή θα προκαλούσε ζημιά στους τριβείς.

Τυχόν διαρροή στην κεφαλή είναι αμέσως εμφανής και η διαδικασία για τον εντοπισμό διαρροών είναι ίδια όπως και σε οποιοδήποτε άλλο περιστρεφόμενο εξάρτημα. Η κεφαλή πρέπει να είναι απόλυτα καθαρή για να αποκαλυφτεί το χαρακτηριστικό σημείο της διαρροής. Τότε το ελικόπτερο πρέπει να λειτουργήσει για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα και μετά να επιθεωρηθεί ξανά το συγκεκριμένο σημείο. Αρκετά συχνά η επισκευή της διαρροής δεν μπορεί να ολοκληρωθεί στην πίστα. Είναι αρκετά φυσικό ωστόσο για την γρασαρισμένη κεφαλή να εκσφενδονίζει λίγο γράσο, ειδικά αμέσως μετά τη συντήρηση. Τα πλεονάσματα του γράσου και του λαδιού, πρέπει να αφαιρούνται έτσι ώστε να μην εμφανίζεται συσσώρευση. Αυτή η συσσώρευση δεν θα έκανε μόνο την επιφανειακή επιθεώρηση δύσκολη αλλά θα συγκρατούσε υγρασία και βρωμιά τα οποία θα ήταν επιβλαβής για την κεφαλή.

Οι επιθεωρήσεις στις κεφαλές του στροφείου είναι κάτω από συνηθισμένες συνθήκες μόνο οπτικές. Τα χαλαρά εξαρτήματα, τέτοια όπως οι άκρες των ράβδων, βοηθούν στην πιο γρήγορη φθορά της κεφαλής. Τέλος, η αίσθηση της ελευθερίας κινήσεων των εξαρτημάτων και η πιθανότητα εμφάνισης ρωγμών δεν πρέπει να παραλειφθούν από τα κριτήρια της σωστής επιθεώρησης.

Ορισμένες κεφαλές, μπορεί να χρειάζονται περιοδικές επιθεωρήσεις. Οι επιθεωρήσεις αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν επιθεώρηση με διεισδυτικά υγρά, μερική αποσυναρμολόγηση και περιστροφή των τριβέων, κλπ. Αυτά θα μπορούσαν να γίνουν είτε σε κάποια χρονικά διαστήματα που το ελικόπτερο είναι σε επισκευή, είτε σαν αποτέλεσμα διορθωτικών ενεργειών (Airworthiness Directives).

Η κεφαλή του στροφείου είναι μία υψηλά φορτισμένη μονάδα και συνήθως έχει πολλά εξαρτήματα με ημερομηνία λήξεως (time changes) και υποχρεωτικά αντικαταστάσιμα εξαρτήματα. Ο συνεχής έλεγχος των μητρώων (logbooks), των χρονοδιαγραμμάτων αντικατάστασης/διαγραφής και των αρχείων που είναι κύρια σε κάθε επιθεώρηση, είναι μία χρονοβόρα διαδικασία αλλά απόλυτα επιβεβλημένη.

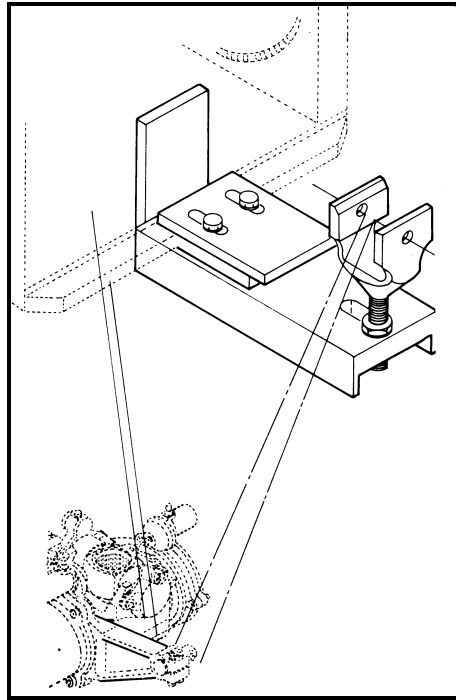
Μερικοί κατασκευαστές επιτρέπουν οι κύριες επιθεωρήσεις και επισκευές να γίνονται από τους ιδιοκτήτες του ελικοπτέρου, ενώ άλλοι έχουν δημιουργήσει προγράμματα ανταλλαγών εξαρτημάτων ή έχουν εξουσιοδοτήσει συγκεκριμένους σταθμούς επισκευής που κάνουν εργασίες αυτού του είδους.

Ειδική επιθεώρηση του συστήματος του στροφείου θα χρειαστεί όταν προκύψουν συγκεκριμένες ενδείξεις όπως, υπερστροφία, ξαφνικό σταμάτημα του στροφείου, ή βαριές προσγειώσεις. Οι επιθεωρήσεις ποικίλουν ανάλογα με την σχεδίαση της κεφαλής και τις απαιτήσεις του κατασκευαστή. Εξαρτώμενη από τις καταστάσεις, η επιθεώρηση που απαιτείται μπορεί να είναι μόνο οπτική, ενώ σε άλλες περιπτώσεις ίσως χρειαστεί μια ολοκληρωμένη αποσυναρμολόγηση του συστήματος ή ακόμη και αντικατάσταση του στροφείου. Οι διάφορες εκδόσεις και έντυπα των κατασκευαστών καλύπτουν αυτές τις ειδικές επιθεωρήσεις με μεγάλη λεπτομέρεια.

Η διαδικασία αφαίρεσης και εγκατάστασης του στροφείου διαφέρει από σχεδίαση σε σχεδίαση. Μερικές κεφαλές στροφείου μπορούν να αφαιρούνται με τα πτερύγια εγκατεστημένα, ενώ άλλες χρειάζονται πρώτα αφαίρεση των πτερυγίων για να αφαιρεθούν στην συνέχεια οι κεφαλές. Αυτό συνήθως εξαρτάται από το μέγεθος του στροφείου και από τον εξοπλισμό που είναι διαθέσιμος.

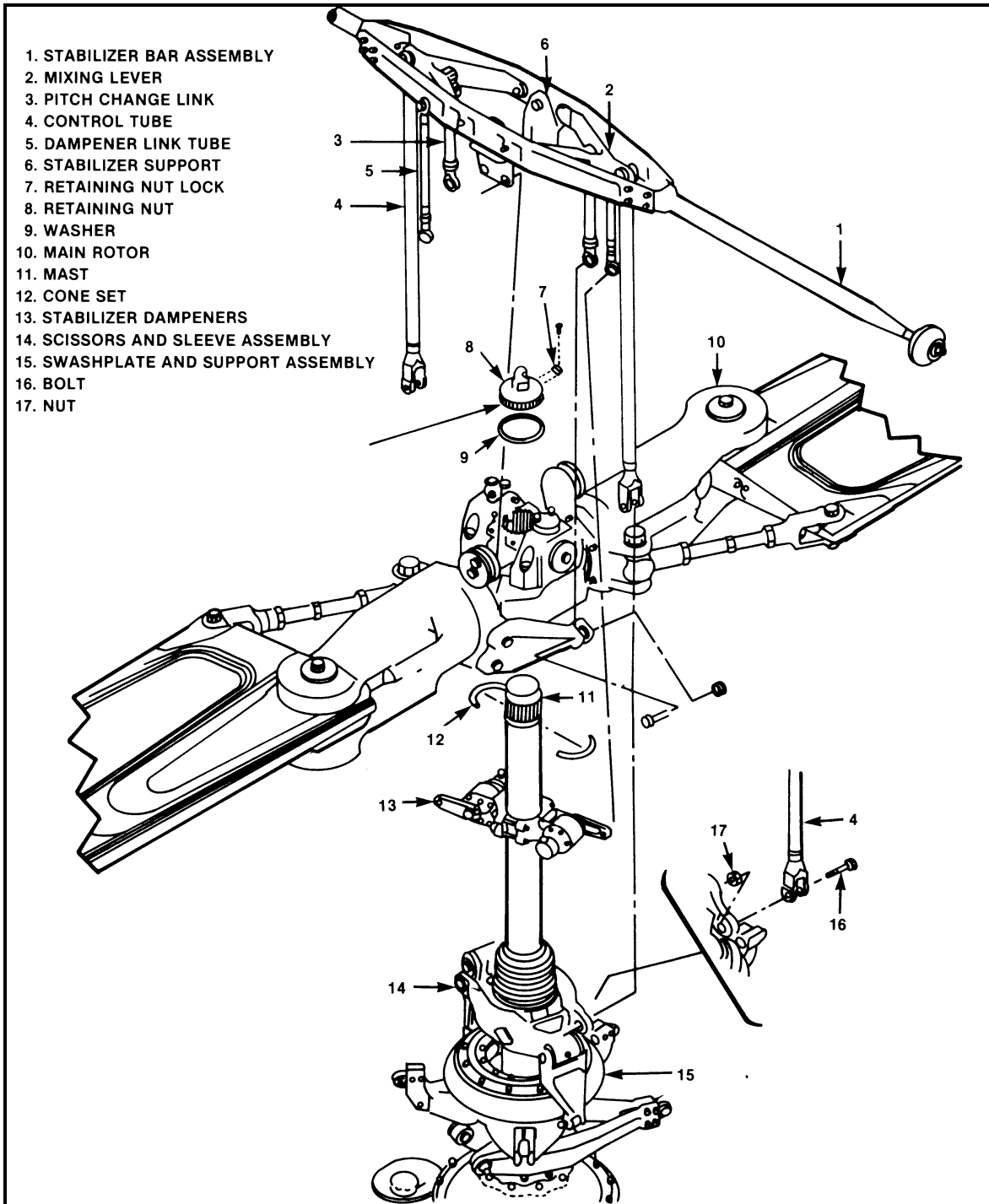
Το πρώτο βήμα που πρέπει να κάνουμε, κατά την αποσυναρμολόγηση ενός συστήματος στροφείου, είναι να αποσυνδέσουμε όλες τις ράβδους ελέγχου πτήσεως που συνδέονται στην κεφαλή του στροφείου. Οι ράβδοι αυτοί συνήθως συνδέονται με κοχλίες απλούς ή κοχλίες μηδενικών ανοχών (close tolerance bolts).

Συχνά, όταν αφαιρούνται οι ράβδοι ελέγχου βήματος, είναι αναγκαία η χρήση ειδικών συγκρατητικών μηχανισμών, για να εμποδίζουν τα πτερύγια να κινούνται σε ακραίες γωνίες, κάτι που θα δημιουργούσε πιθανή ζημιά στην κεφαλή του στροφείου. Ζημιές από μια τέτοια περίπτωση θα μπορούσαν να εμφανιστούν στους ιμάντες εφελκυσμού-στρέψης, στις σταθεροποιητικές ράβδους, ή στο συγκρότημα των ιμάντων. Το (σχ. 4.1) παρουσιάζει ένα μηχανισμό συγκράτησης αλλαγής βήματος πτερυγίου.



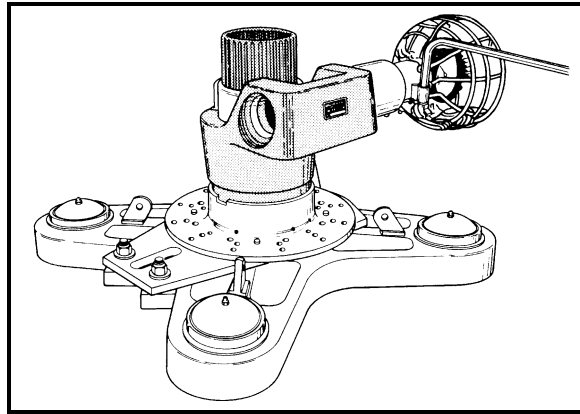
Σχ. 4.1 Βραχίονας που προστατεύει τους μάντες εφελκυσμού-στρέψης από ζημιές κατά την διαδικασία αφαίρεσης-τοποθέτησης.

Μετά την αφαίρεση των συνδέσεων των ράβδων ελέγχου πτήσεως υπάρχει περίπτωση, αναλόγως του τύπου του ελικοπτέρου, να χρειάζονται αφαίρεση και άλλα εξαρτήματα, όπως οι σταθεροποιητικές ράβδοι, οι δεξαμενές των αποσβεστήρων κραδασμών, και κάποιοι ίσως άξονες (σχ. 4.2).



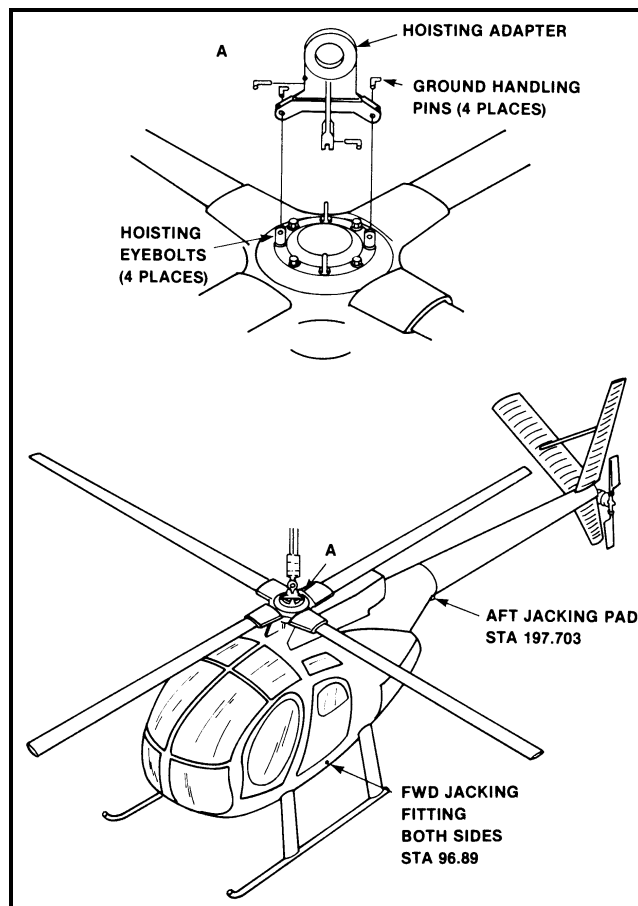
Σχ. 4.2 Τυπική σειρά αφαίρεσης κεφαλής ημιαρθρωτού στροφέιου.

Το ειδικό περικόγλιο του ιστού που συγκρατεί την κεφαλή στον ιστό χρειάζεται ειδικό κλειδί για να αφαιρεθεί ή να τοποθετηθεί. Η δε ροπή συσφίξεως του είναι μεγάλη και ίσως χρειάζεται ειδικό υδραυλικό κλειδί ή κλειδί πολλαπλασιασμού (Sweeny wrench) (σχ. 4.3).



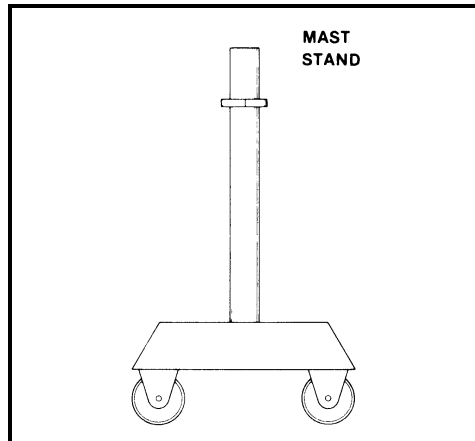
Σχ. 4.3 Ειδικό κλειδί αφαίρεσης κεφαλής

Αφού αφαιρεθεί το περικόχλιο του ιστού, η κεφαλή μπορεί να αφαιρεθεί με την χρήση ειδικών μηχανισμών ανύψωσης της (ιμάντες ή οφθαλμοκοχλία) (σχ. 4.4).



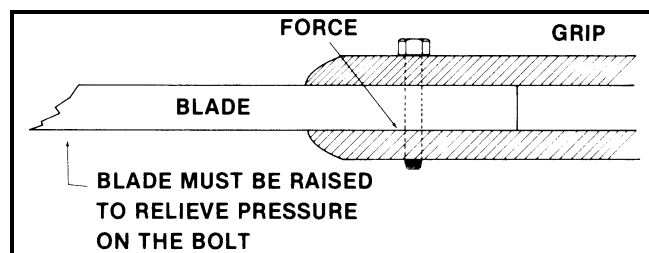
Σχ. 4.4 Οφθαλμοκοχλίας ανύψωσης κεφαλής στροφειού.

Στροφεία που αφαιρούνται μαζί με τα πτερύγια χρειάζονται και ειδική βάση για να "πατήσει" επάνω της το σύστημα (σχ. 4.5).



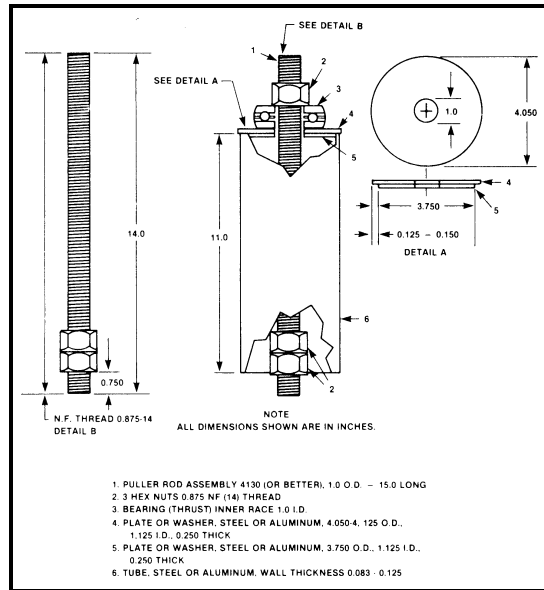
Σχ. 4.5 Βάση τοποθέτησης αφαιρεθέντος πτερυγίου.

Λόγω του ότι υπάρχουν διαφορετικά είδη κεφαλών στροφείου αλλά και διαφορετικοί τύποι πτερύγων, υπάρχουν και διαφορετικά συστήματα ασφάλισης των πτερύγων στην κεφαλή του στροφείου. Μια από τις μεθόδους αυτές είναι η χρήση συγκρατητικού κοχλία στο συγκρότημα της λαβίδας. Πριν από την αποσυναρμολόγηση ενός τέτοιου συστήματος, η πτέρυγα πρέπει να ασφαλιστεί στην οριζόντια θέση για να αποτρέψουμε την σφήνωση της λαβίδας στην πτέρυγα. Αν γίνει προσπάθεια να αφαιρεθεί η πτέρυγα χωρίς πρώτα να έχει στηριχθεί κατάλληλα, τότε είναι πιθανό να δημιουργηθεί και «πληγή» μεταξύ της λαβίδας και του κοχλία. Έτσι η οπή θα διευρυνθεί και θα καταστρέψει την πλοημότητα της λαβίδας. Ζημιά στον συγκρατητικό κοχλία, στην οπή της πτέρυγας, στους τριβείς του δίχαλου της λαβίδας, μπορεί ακόμη να συμβεί και λόγω υπερβολικής φόρτισης της πτέρυγας κατά την αφαίρεσή της. Η αφαίρεση του κοχλία σύνδεσης πτέρυγας-κεφαλής είναι κρίσιμη και απαιτεί λογική πίεση (σχ. 4.6).



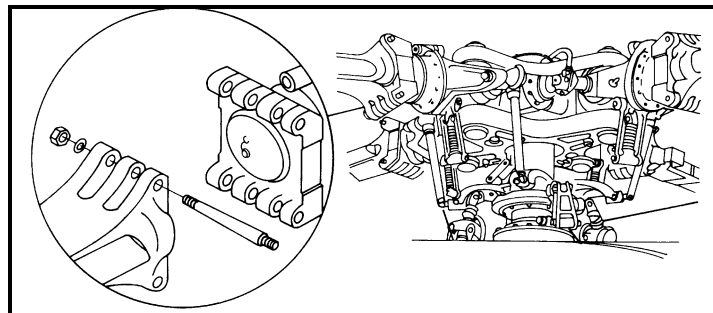
Σχ. 4.6 Ανύψωση πτερυγίου για αφαίρεσή του.

Μερικές πτέρυγες χρειάζονται ειδικό εξολκέα για την αφαίρεση του κοχλία αυτού (σχ. 4.7).



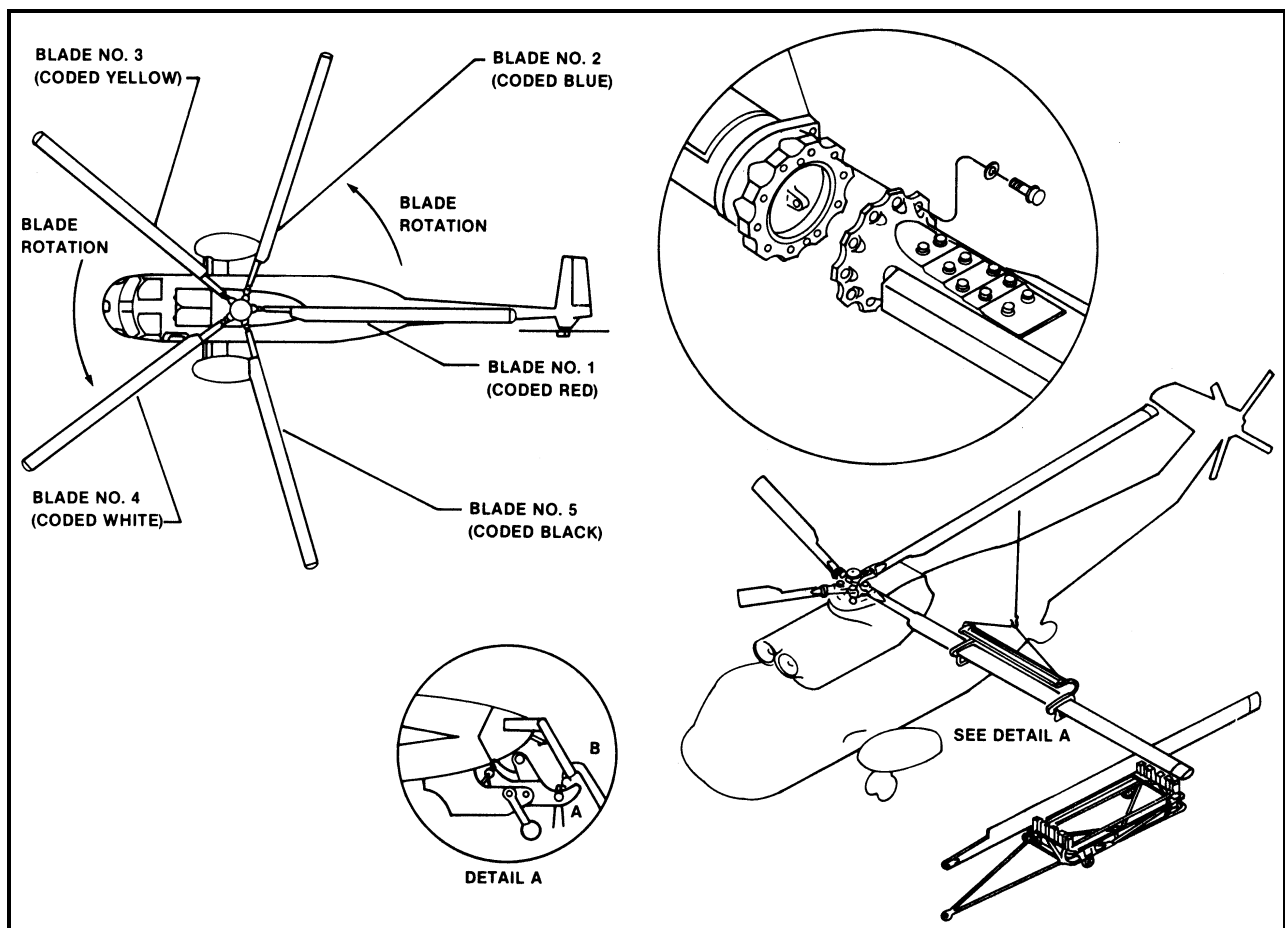
Σχ. 4.7 Ειδικό εργαλείο αφαίρεσης ασφαλιστικού κοχλία πτέρυγας ελικοπτέρου.

Άλλες πτέρυγες ασφαρίζονται με ασφαλιστικό πείρο (σχ. 4.8) που επίσης χρειάζεται ειδικό εξολκέα για την αφαίρεσή του.



Σχ. 4.8 Μέθοδος ασφάλισης πτέρυγας με ασφαλιστικό πείρο.

Μια άλλη μέθοδος ασφάλισης είναι με κοχλίες που τοποθετούνται σε περιμετρική διάταξη (σχ. 4.9).



Σχ. 4.9 Μέθοδοι σύνδεσης, αφαίρεσης και αποθήκευσης πτερύγων ελικοπτέρου S-76.

Ανεξάρτητα όμως από τη μέθοδο ασφάλισης, η πτέρυγα πρέπει πάντα να στηρίζεται στην ευθεία και οριζόντια θέση για να αποφύγουμε ζημιές στα σημεία σύνδεσής με την κεφαλή του στροφείου.

Όταν γίνεται προσπάθεια αφαίρεσης των πτερύγων ενώ το στροφείο είναι ακόμη εγκατεστημένο στο ελικόπτερο, η στήριξη των πτερύγων αποκτά ακόμη μεγαλύτερη σημασία λόγω του μεγάλου ύψους που βρίσκεται αλλά και της έκτασης της τυχόν ζημιάς. Γιαυτό το λόγο οι πτέρυγες συνήθως αφαιρούνται από το πίσω μέρος του ελικοπτέρου. Φυσικά και εδώ χρειάζεται στήριξη η πτέρυγα που αφαιρείται αλλά και οι εναπομείναντες.

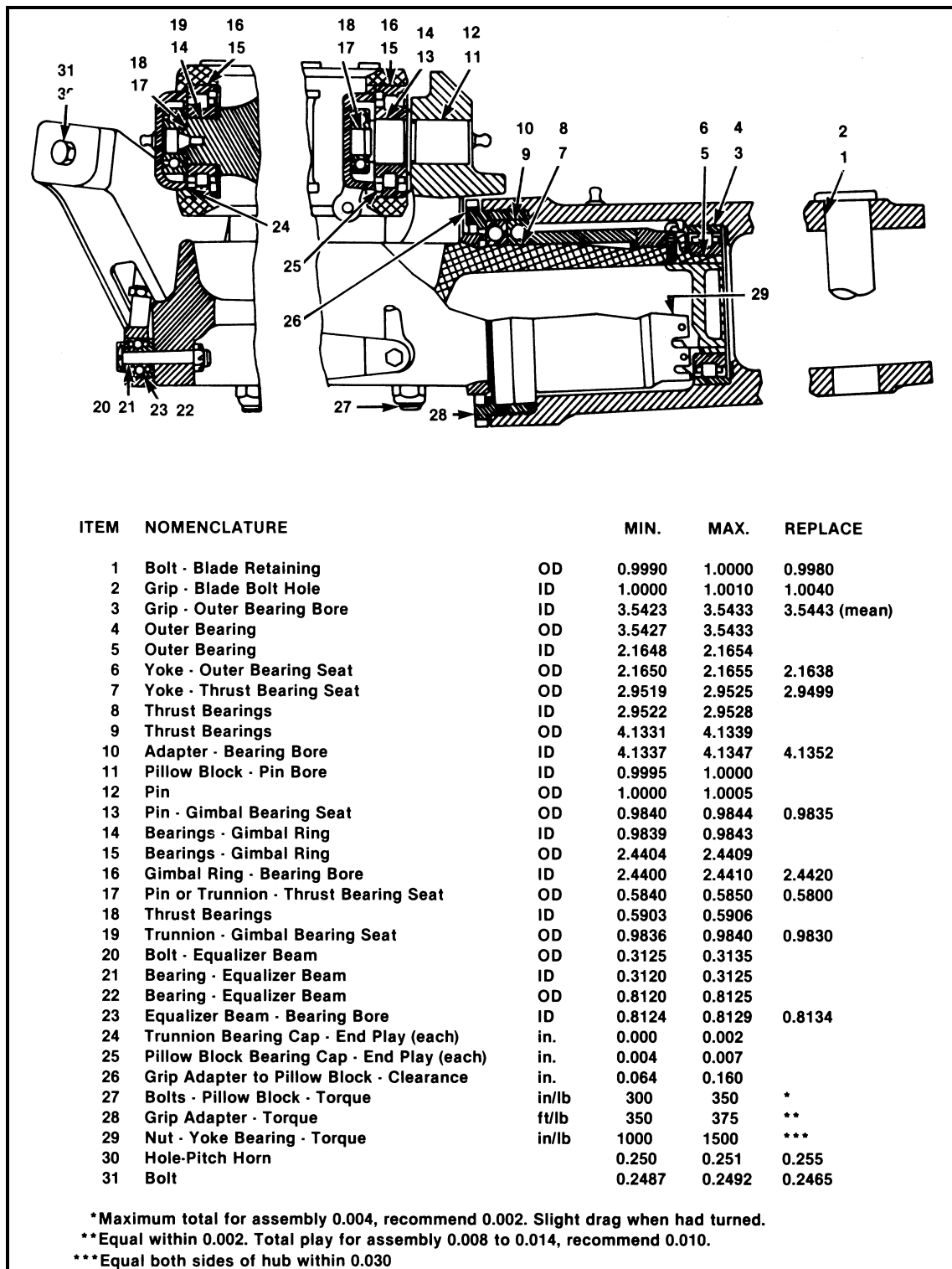
Αφού αφαιρεθούν οι πτέρυγες, αποθηκεύονται σε ειδικές βάσεις πτερύγων (blade racks), που τις προστατεύουν από περαιτέρω φθορές. Αλλά και οι κεφαλές των στροφείων έχουν ειδικές βάσεις αποθήκευσής τους.

Ξεκινώντας την επιθεώρηση της κεφαλής εξακριβώστε ποια από τα εξαρτήματα της κεφαλής έχουν συγκεκριμένο όριο λειτουργίας και βεβαιωθείτε ότι δεν το έχουν ξεπεράσει. Εξαρτήματα που βρίσκονται στο χρονικό όριο λειτουργίας τους αντικαθίστανται χωρίς καμιά επιθεώρηση.

Στην συνέχεια αποσυναρμολογούμε τη κεφαλή για περαιτέρω επιθεώρηση. Αυτή η διαδικασία απαιτεί την χρήση ειδικών εργαλείων. Μετά την αποσυναρμολόγηση, τα εξαρτήματα καθαρίζονται προσεκτικά και εξετάζονται οι διαστάσεις τους. Συχνά οι



ανοχές αυτών των εξαρτημάτων μετρώνται σε δέκατα του χιλιοστού της ίντσας, και φυσικά χρειαζόμαστε μικρόμετρα αυτής της δυνατότητας. Κάποιες τυπικές μετρήσεις διαστάσεως των εξαρτημάτων μιας κεφαλής παρουσιάζονται στο σχήμα 4.10.

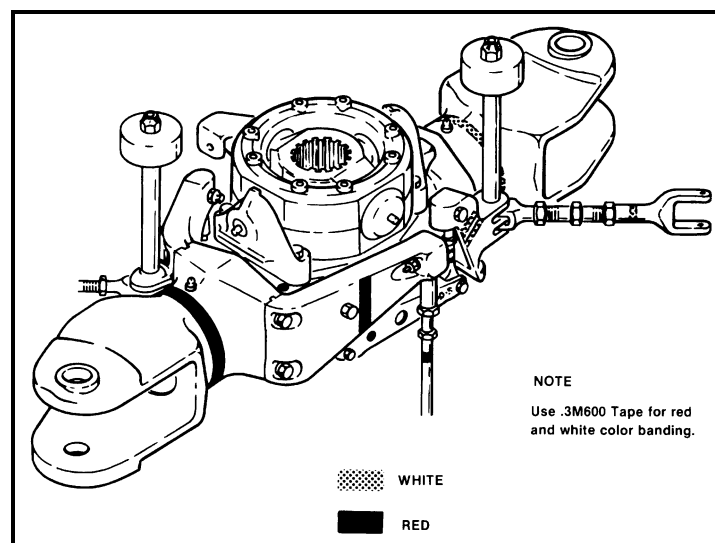


Σχ. 4.10 Τυπικός πίνακας ελέγχου ανοχών σε διαδικασία γενικής επισκευής.

Μετά από αυτές τις μετρήσεις τα εξαρτήματα χωρίζονται σε σιδηρούχα, τα οποία και υποβάλλονται σε μαγνητικό έλεγχο για ρωγμές και σε μη σιδηρούχα, τα οποία

υποβάλλονται σε άλλου είδους ελέγχους (δυναμεύματα, υπέρηχοι, ακτίνες, κλπ) για εντοπισμό τυχόν ρωγμών. Πληροφορίες για τις διαδικασίες ελέγχου των εξαρτημάτων αυτών βρίσκονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής του ελικοπτέρου. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι κάποια εξαρτήματα ίσως χρειάζονται και κάποια ελαφρά επιδιόρθωση, π.χ. αλλαγή τριβέων, αφαίρεση εγκοπών και εκδορών, αλλαγή ακτινών, κλπ. Στο τέλος το εξάρτημα ξαναελέγχεται και είναι έτοιμο για επανεγκατάσταση. Οι κατασκευαστές δεν επιτρέπουν βάψιμο ή επίστρωση του εξαρτήματος στο υπόστεγο λόγω της παρουσίας υγρασίας που τυχόν θα το διάβρωση. Αν παρόλα αυτά η επίστρωση του εξαρτήματος κρίνεται απαραίτητη τότε πρέπει να ακολουθηθούν προσεκτικά οι οδηγίες του κατασκευαστή.

Τώρα τα εξαρτήματα είναι έτοιμα για επανεγκατάσταση. Η διευθέτηση κάποιων εξαρτημάτων όπως είναι οι τριβείς γίνεται με τις οδηγίες του ιδιοκτήτη του ελικοπτέρου. Μερικοί ιδιοκτήτες δεν χρησιμοποιούν τέτοια εξαρτήματα για δεύτερη φορά, κάποιοι άλλοι όμως τα χρησιμοποιούν. Η διαδικασία συναρμολόγησης των εξαρτημάτων είναι πολύ κρίσιμη καθώς παίζει σπουδαίο ρόλο και στο χρόνο που θα μεσολαβήσει μέχρι την επόμενη γενική επισκευή. Γιαυτό το λόγο η τοποθέτηση των εξαρτημάτων και οι τελικές μετρήσεις πρέπει να γίνονται με ακρίβεια και σχολαστικότητα. Όταν η κεφαλή συναρμολογηθεί πλήρως, στα διάφορα εξαρτήματα της τοποθετούμε χρωματιστή ταινία αναγνώρισης, καθώς εδώ δεν έχουμε δεξιό και αριστερό τμήμα. (σχ. 4.11)



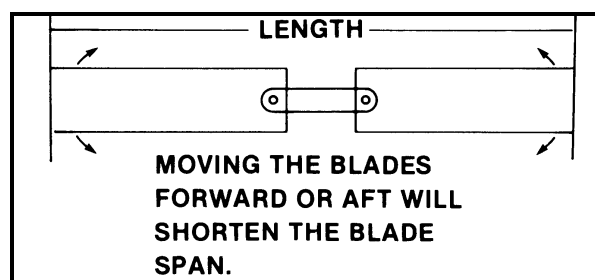
Σχ. 4.11 Τυπική κωδικοποίηση πτερύγων με χρώματα.

Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την τοποθέτηση των πτερύγων του στροφέιου αφού προηγουμένως πάρουμε τα ίδια μέτρα ασφαλείας που λάβαμε και κατά την αποσυναρμολόγηση τους.

## 4.1 ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΠΤΕΡΥΓΑΣ

Η ευθυγράμμιση της πτέρυγας είναι απαραίτητη στα ημιαρθρωτά στροφεία. Η διαδικασία αυτή πολλές φορές αναφέρεται και σαν εγκάρσια ζυγοστάθμιση (chordwise balance) αλλά ο χαρακτηρισμός αυτός είναι μάλλον ατυχής. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει κίνηση των πτερυγίων ως προς τον άξονα παλινδρόμησης, ο οποίος διατηρείται σταθερός με βραχίονες οπισθέλκουσας ή ασφαλιστικούς πείρους (ανάλογα με το σχεδιασμό της κεφαλής). Η κίνηση αυτή γίνεται για να θέσουμε τις πτέρυγες στην ακριβή τους θέση σε σχέση με την πλήμνη του στροφείου.

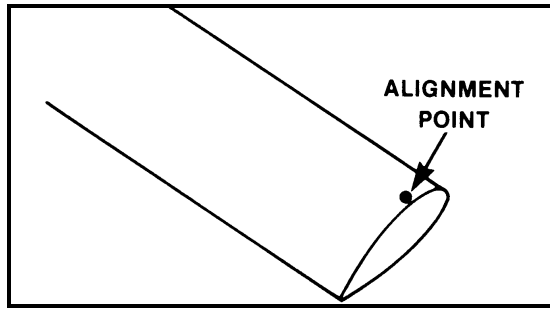
Η σχέση αυτή θέτει το κέντρο βάρους σε συσχετισμό με το κέντρο πίεσεως. Εάν αυτή η σχέση είναι λανθασμένη, δεν θα υπάρχει ευστάθεια στα πτερύγια. Γι' αυτό τον λόγο, η σωστή ευθυγράμμιση είναι κρίσιμη. Η χρήση μίας απρόσεκτης διαδικασίας ή ανακρίβειας θα έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια της ευστάθειας ολόκληρου του ελικοπτέρου. Πρέπει πάντα να θυμάστε ότι τα πτερύγια δεν πρέπει να κινούνται εμπρός από το σημείο ευθυγράμμισης. Εάν επιβάλλεται να επιτευχθεί επίσης και στατική ζυγοστάθμιση κατά μήκος του εκπετάσματος, όπως συχνά απαιτείται, η ευθυγράμμιση μπορεί να επηρεάσει την ζυγοστάθμιση κατά μήκος του εκπετάσματος, αλλάζοντας έτσι τη σχέση του βάρους και βραχίονα (σχ. 4.12).



Σχ. 4.12 Ευθυγράμμιση πτέρυγας.

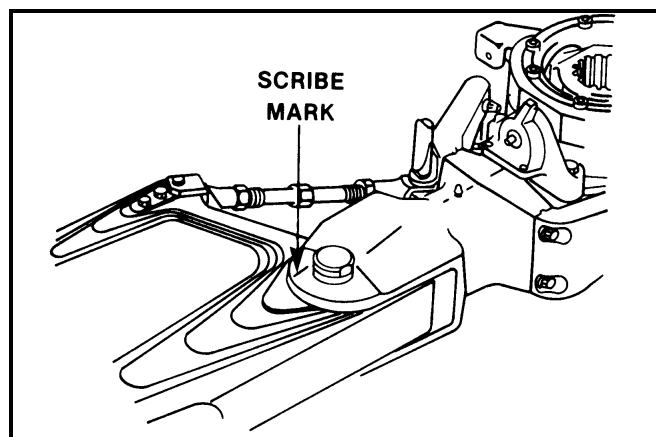
Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για την ευθυγράμμιση είναι σημαδεμένα πάνω στο πτερύγιο από τον κατασκευαστή. Στα ξύλινα πτερύγια αυτό το σημάδι έχει την μορφή ενός μικρού ήλου (καρφίδα), που δηλώνει το κέντρο πίεσης. Πρέπει να προσέχουμε ιδιαίτερα όταν εργαζόμαστε σε αυτό τον τύπο πτερυγίων, γιατί υπάρχει και άλλος όμοιος ήλος σε κάθε πτερύγιο. Ο δεύτερος ήλος χρησιμεύει στο να ελέγχεται το κέντρο βάρους μετά από κάθε επιδιόρθωση. Ο άξονας του κέντρου πίεσεως (C/P) είναι πάντα εξωτερικά από τον άξονα του κέντρου βάρους (C/G).

Στα μεταλλικά πτερύγια υπάρχει μόνο ένας ήλος και είναι για την ευθυγράμμιση. Τον ήλο αυτό τον βρίσκουμε πολύ κοντά στο ακροπτερύγιο (σχ. 4.13).



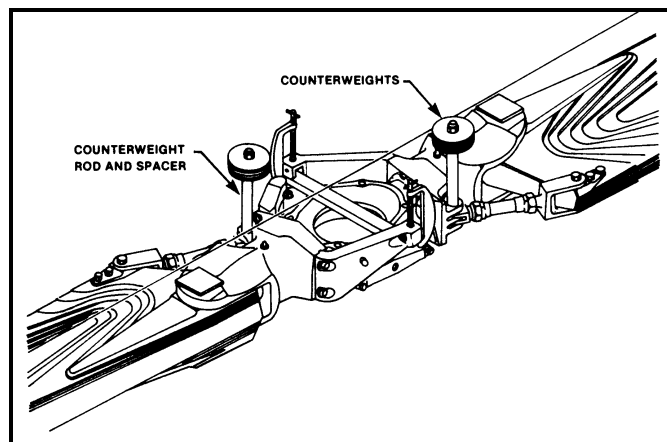
Σχ. 4.13 Σημάδι ευθυγράμμισης πτέρυγας

Επιπρόσθετα σημάδια μπορεί να τοποθετηθούν στις λαβές της κεφαλής του στροφείου για τον έλεγχο ευθυγράμμισης της σύνδεσης του πτερυγίου με την κεφαλή. Αυτά τα σημάδια, εάν υπάρχουν, είναι σε μορφή χαρακιάς (σχ. 4.14).



Σχ. 4.14 Τυπικά σημάδια ευθυγράμμισης στροφείου.

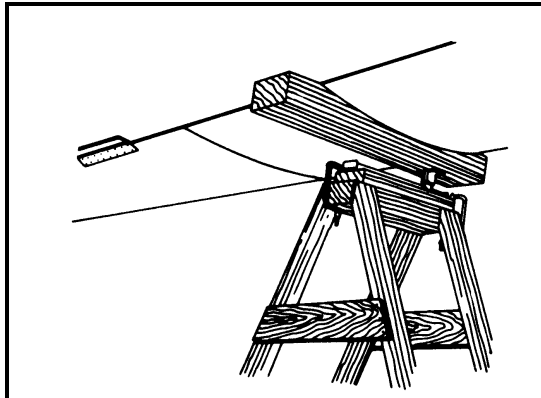
Ανεξαρτήτως της μεθόδου με την οποία τα σημεία είναι τοποθετημένα πάνω στις λαβές, η γωνία της λαβής πρέπει να είναι σωστά διευθετημένη, για να είναι ασφαλής η εξακρίβωση της στοίχισης. Γι' αυτό τον λόγο οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν ποικίλες μεθόδους για να κρατούν την γωνία του πτερυγίου στη θέση της (σχ. 4.15).



Σχ. 4.15 Μέθοδος ευθυγράμμισης με ταινία και καθρέφτη.

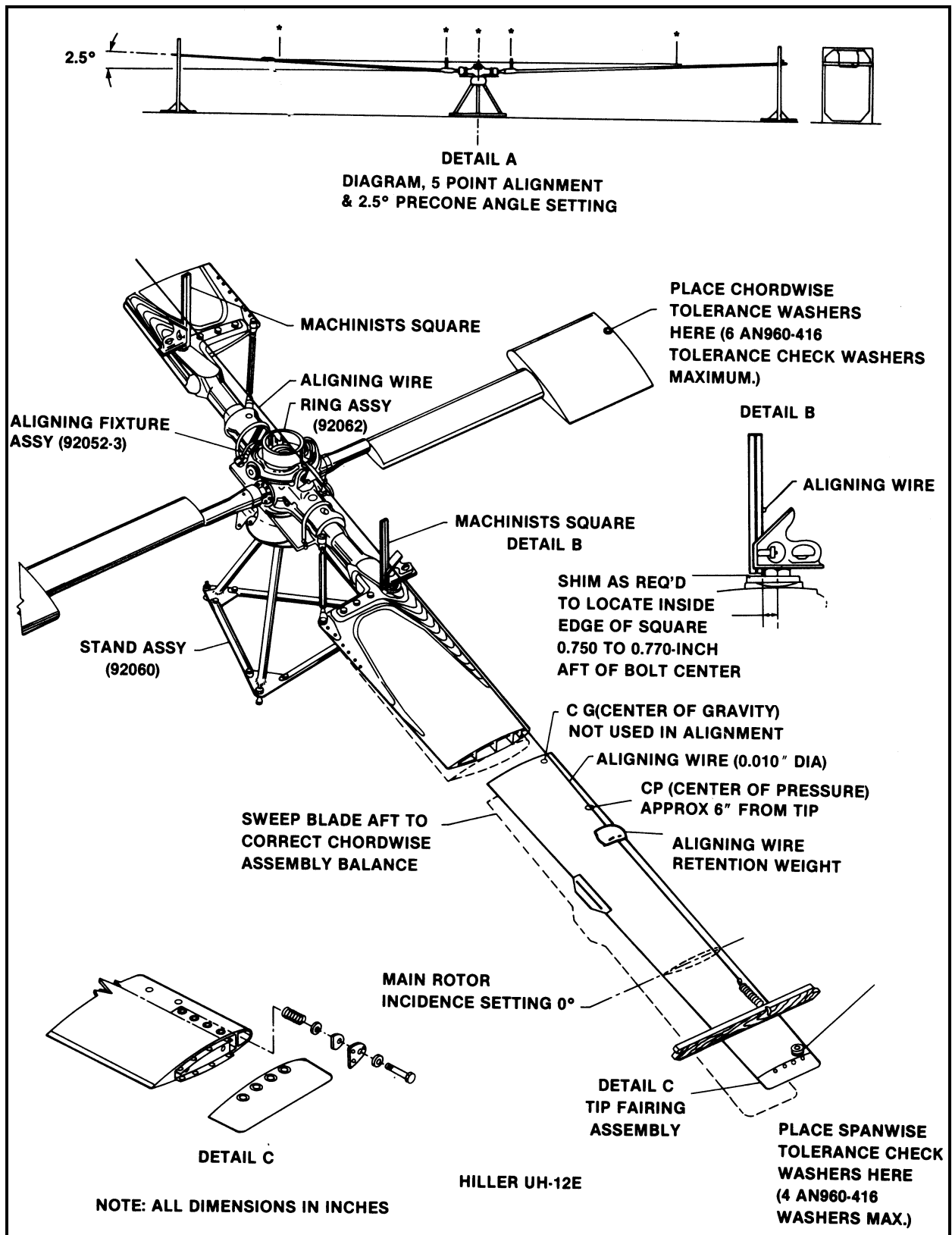
Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ευθυγράμμισης τα πτερύγια τοποθετούνται σε προκαθορισμένη γωνία κώνωσης και συνήθως ενισχύονται προς το ακροπτερύγιο με

έναν κυλινδρικό μηχανισμό, έτσι ώστε τα πτερύγια να μπορούν να κινηθούν ελεύθερα στον άξονα παλινδρόμησης καθώς ρυθμίζεται ο βραχίονας οπισθέλκουσας (σχ. 4.16).



Σχ. 4.16 Τοποθέτηση κυλινδρικού μηχανισμού για ελευθερία κίνησης της πτέρυγας.

Αφού εντοπιστούν τα αναφερόμενα σημάδια, ρυθμίζεται η γωνία των λαβίδων σύσφιξης και η προκαθορισμένη γωνία κώνωσης των πτερύγιων. Κατόπιν τοποθετείται μία λωρίδα ταινίας από το σημείο της ευθυγράμμισης του ενός πτερυγίου στο σημείο ευθυγράμμισης του άλλου πτερυγίου. Αυτή η λωρίδα μπορεί να κολληθεί ή να κρατηθεί με κάποια άλλη μέθοδο ώστε να είναι τεντωμένη. Και άλλες μέθοδοι όπως, η ορθογώνιαση ή η χρήση καθρεφτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δείξουν το σημείο ευθυγράμμισης στα σημεία σύσφιξης (grip) (σχ. 4.17).

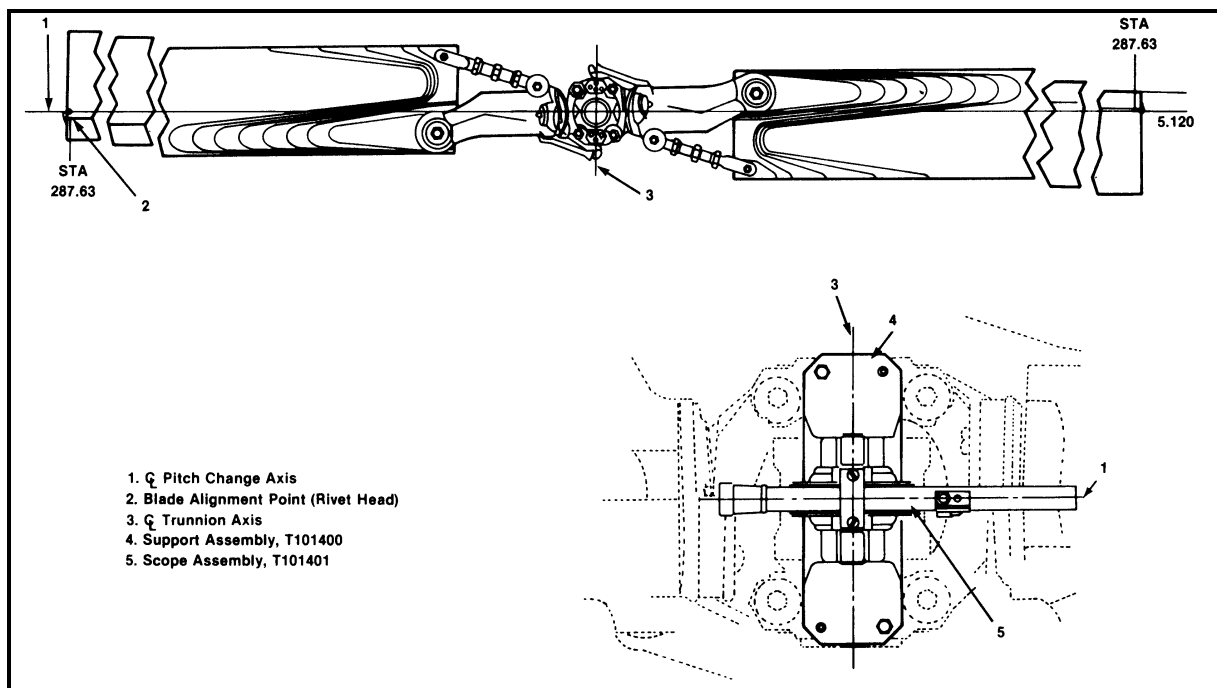


Σχ. 4.17 Διαδικασία ευθυγράμμισης πτέρυγας ελικοπτήρου Hiller 12 με τη μέθοδο ορθογώνιασης.

Το επόμενο βήμα στην διαδικασία της ευθυγράμμισης είναι η ρύθμιση των βραχιόνων οπισθέλκουσας έτσι ώστε η λωρίδα να περνάει από τα αναφερόμενα σημεία και στα δύο σημεία σύσφιξης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μετακίνηση ενός από τους

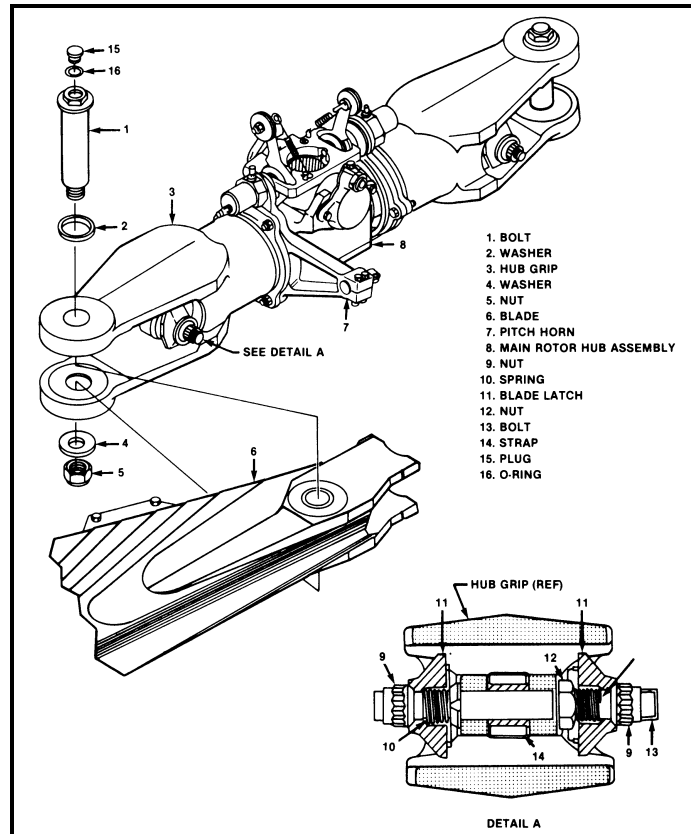
βραχίονες οπισθέλκουσας θα επηρεάσει την σχέση των δύο αναφερόμενων σημείων. Η στοίχιση πρέπει να ξαναελεγχθεί αφού γίνει η τελική σύσφιξη των βραχιόνων οπισθέλκουσας.

Μια μικρή απόκλιση από αυτή την διαδικασία πραγματοποιείται στα μεγάλα ημιαρθρωτά στροφεία. Σε αυτά τα στροφεία, ρυθμίζεται η γωνία σύσφιξης στις λαβίδες και τα πτερύγια τίθενται σε προκαθορισμένη γωνία κώνωσης, όπως και προηγούμενα. Στην θέση της λωρίδας όμως τοποθετείται ένα σκόπευτρο σε μια ειδική υποδοχή που είναι τοποθετημένη στο ζυγό του στροφείου. Τα σημεία ευθυγράμμισης στοιχίζονται μέσα από το σκόπευτρο με τον ήλο ευθυγράμμισης του κάθε πτερυγίου προς κάθε κατεύθυνση. Αυτό το σύστημα εξαλείφει κάθε λάθος το οποίο μπορεί να παρουσιαζόταν λόγω της τοποθέτησης της λωρίδας κατά μήκος ενός τόσο μεγάλου εκπετάσματος (σχ. 4.18).



Σχ. 4.18 Μέθοδος χρήσης σκοπεύτρου για ευθυγράμμιση μεγάλων ημιαρθρωτών στροφείων.

Ακόμη μία μέθοδος ευθυγράμμισης χρησιμοποιείται στο ελικόπτερο Jet Ranger της Bell. Αυτό το ελικόπτερο δεν έχει βραχίονες οπισθέλκουσας, έτσι οι διάφορες ρυθμίσεις γίνονται πάνω στον ασφαλιστικό σύρτη του πτερυγίου (σχ. 4.19).



Σχ. 4.19 Μέθοδος ευθυγράμμισης με ασφαλιστικούς σύρτες (Bell 206)

Η ευθυγράμμιση των πτερυγίων απαιτείται κάθε φορά που τα κύρια εξαρτήματα της κεφαλής ή των πτερυγίων αντικαθίστανται, ή κατά τη διάρκεια της κύριας επιθεώρησης και αποσυναρμολόγησης του στροφείου. Η ευθυγράμμιση του πτερυγίου μερικές φορές αναφέρεται και σαν ζυγοστάθμιση κατά μήκος του εκπετάσματος (εγκάρσια ζυγοστάθμιση - Chordwise balance). Είναι αρκετά πιθανό τα πτερύγια να χρειάζονται επιπρόσθετη ρύθμιση κατά τη διάρκεια της στατικής ζυγοστάθμισης και αρχικής προθέρμανσης (run-up), για να διορθωθεί η δυναμική αποζυγοστάθμιση κατά μήκος του εκπετάσματος σε μία διαδικασία που αναφέρεται σαν "σάρωση πτερυγίου" (blade sweeping - γρήγορη κυκλική κίνηση).

## 4.2 ΣΤΑΤΙΚΗ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ

Το σύστημα του κύριου στροφείου, όπως και οποιοδήποτε άλλο περιστρεφόμενο εξάρτημα, χρειάζεται ζυγοστάθμιση. Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται στατικά και δυναμικά έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή και χωρίς προβλήματα λειτουργία του ελικοπτερου. Από την στιγμή που το στροφείο μπορεί να επηρεαστεί από δονήσεις είτε κατά μήκος της χορδής, είτε κατά μήκος του εκπετάσματος, είναι απαραίτητο να ζυγοσταθμίσουμε το στροφείο και ως προς τις δύο διευθύνσεις. Παρόλο που η στατική ζυγοστάθμιση σε καμία περίπτωση δεν εξασφαλίζει τη δυναμική ζυγοστάθμιση, η επίτευξη της πρώτης θα εξουδετερώσει προβλήματα που τυχόν θα προέκυπταν αν η δυναμική ζυγοστάθμιση γινόταν πρώτη. Με ένα αντικείμενο τόσο μεγάλο όπως η κύρια



κεφαλή του στροφείου, αν δεν επιτευχθεί στατική ζυγοστάθμιση προτού την εκκίνηση του ελικοπτέρου (run up), το αποτέλεσμα θα ήταν σχεδόν καταστροφικό.

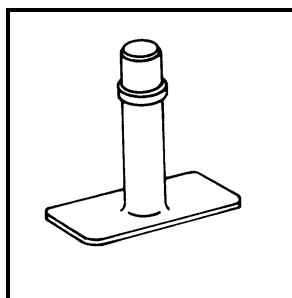
Η φροντίδα και η ακρίβεια με την οποία γίνεται η διαδικασία της ζυγοστάθμισης έχει άμεση σχέση με την συντήρηση που θα χρειαστεί στο μέλλον το στροφέιο.

Εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας στις σχεδιάσεις στροφείων, η στατική ζυγοστάθμιση του συστήματος του κυρίου στροφείου γίνεται αρκετά πολύπλοκη. Καμία διαδικασία δεν μπορεί να είναι κοινή για όλα τα συστήματα.

Σε μερικά συστήματα στροφείου, η κεφαλή ζυγοσταθμίζεται ξεχωριστά από τα πτερύγια και έπειτα όλο το σύστημα ζυγοσταθμίζεται σαν μια ενιαία μονάδα. Σε άλλες περιπτώσεις, η κεφαλή και τα πτερύγια ζυγοσταθμίζονται σαν μία μονάδα. Ο καθοριστικός παράγοντας, για το πια μέθοδος θα πρέπει να ακολουθηθεί, ενδεικνύεται από το μέγεθος της κεφαλής και την πολυπλοκότητα της κατασκευής. Οι μεγάλες, πιο πολύπλοκες κεφαλές, συνήθως ζυγοσταθμίζονται ξεχωριστά, ενώ μικρές και λιγότερο πολύπλοκες κεφαλές συνήθως ζυγοσταθμίζονται σαν μία μονάδα. Η διαδικασία της ζυγοστάθμισης, ανεξάρτητα από την μέθοδο που χρησιμοποιείται, περιλαμβάνει ζυγοστάθμιση κατά μήκος του εκπετάσματος και ζυγοστάθμιση κατά μήκος της χορδής. Η ζυγοστάθμιση κατά μήκος της χορδής, όπως φαίνεται και από το όνομα, είναι η ζυγοστάθμιση στην διεύθυνση της χορδής της πτέρυγας ενώ η ζυγοστάθμιση κατά μήκος του εκπετάσματος είναι κατά την διεύθυνση του εγκάρσιου άξονα της πτέρυγας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όπου η κεφαλή και οι πτέρυγες είναι ζυγοσταθμισμένες σε μία μονάδα, η ζυγοστάθμιση που γίνεται κατά μήκος της χορδής θα πρέπει να έχει προηγηθεί της ζυγοστάθμισης κατά μήκος της του εκπετάσματος, γιατί η πρώτη θα επηρεάσει την δεύτερη.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τις διάφορες μεθόδους ζυγοσταθμίσεως εξαρτάται από την κατασκευάστρια εταιρία του ελικοπτέρου.

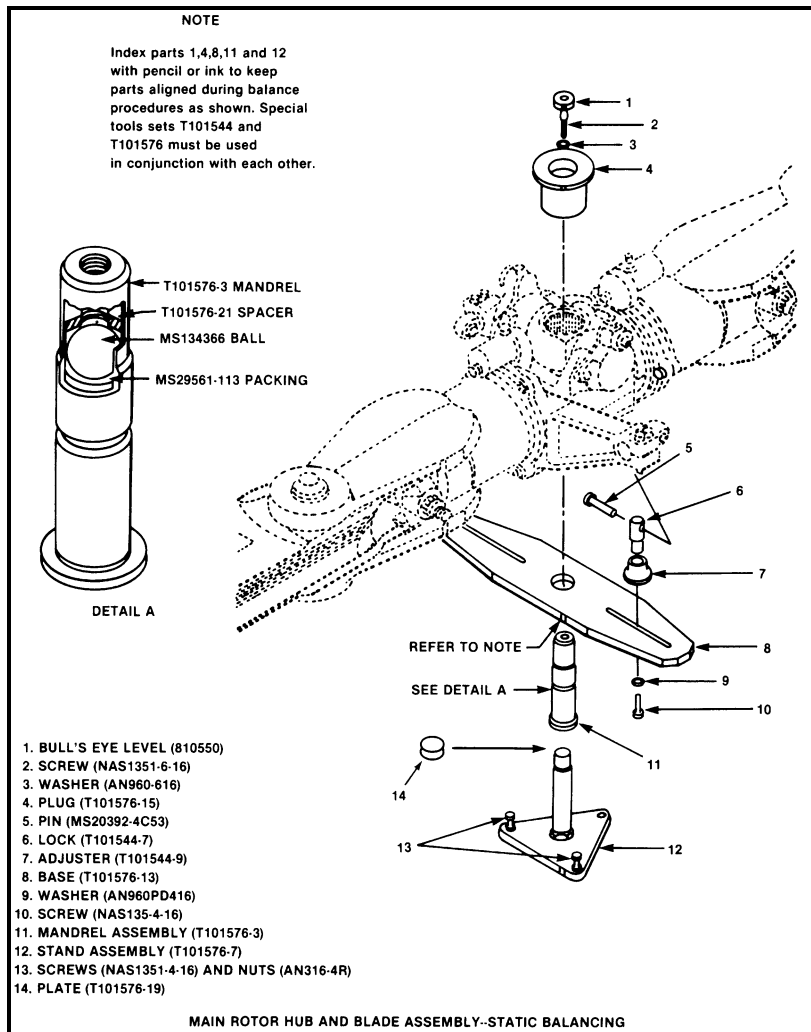
Συνήθως αυτός ο εξοπλισμός σχεδιάζεται για να χρησιμοποιηθεί σε μία συγκεκριμένη κεφαλή, πάνω στην οποία τοποθετούνται τα εξαρτήματα του στροφείου (σχ. 4.20).



Σχ. 4.20 Έδρανο ζυγοστάθμισης.

Ένα σύστημα που χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένο τύπο στροφείου, αποτελείται από μια ειδική βάση πλάκας κενή με μία θέση στο κέντρο. Ακουμπισμένη στη θέση αυτή βρίσκεται μία σφαίρα (μπάλα) από ατσάλι η οποία βρίσκεται στο κέντρο ενός εμβολέα. Αυτός ο εμβολέας ολισθαίνει στην βάση της πλάκας και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον βραχίονα αλλαγής βήματος για να συγκρατούν την κλίση (γωνία) της έλικας. Μετά ο εμβολέας περνάει μέσα από ένα δίχλαλο που στηρίζει την κεφαλή του

στροφείου. Έτσι τοποθετείται το συγκρότημα της κεφαλής του στροφείου στην επιφάνεια ενός σφαιρικού τριβέα, επιτρέποντας στην κεφαλή να κινείται προς όλες τις κατευθύνσεις. (σχ. 4.21).



Σχ. 4.21 Τυπικό ειδικό έδρανο ζυγοστάθμισης στροφείου.

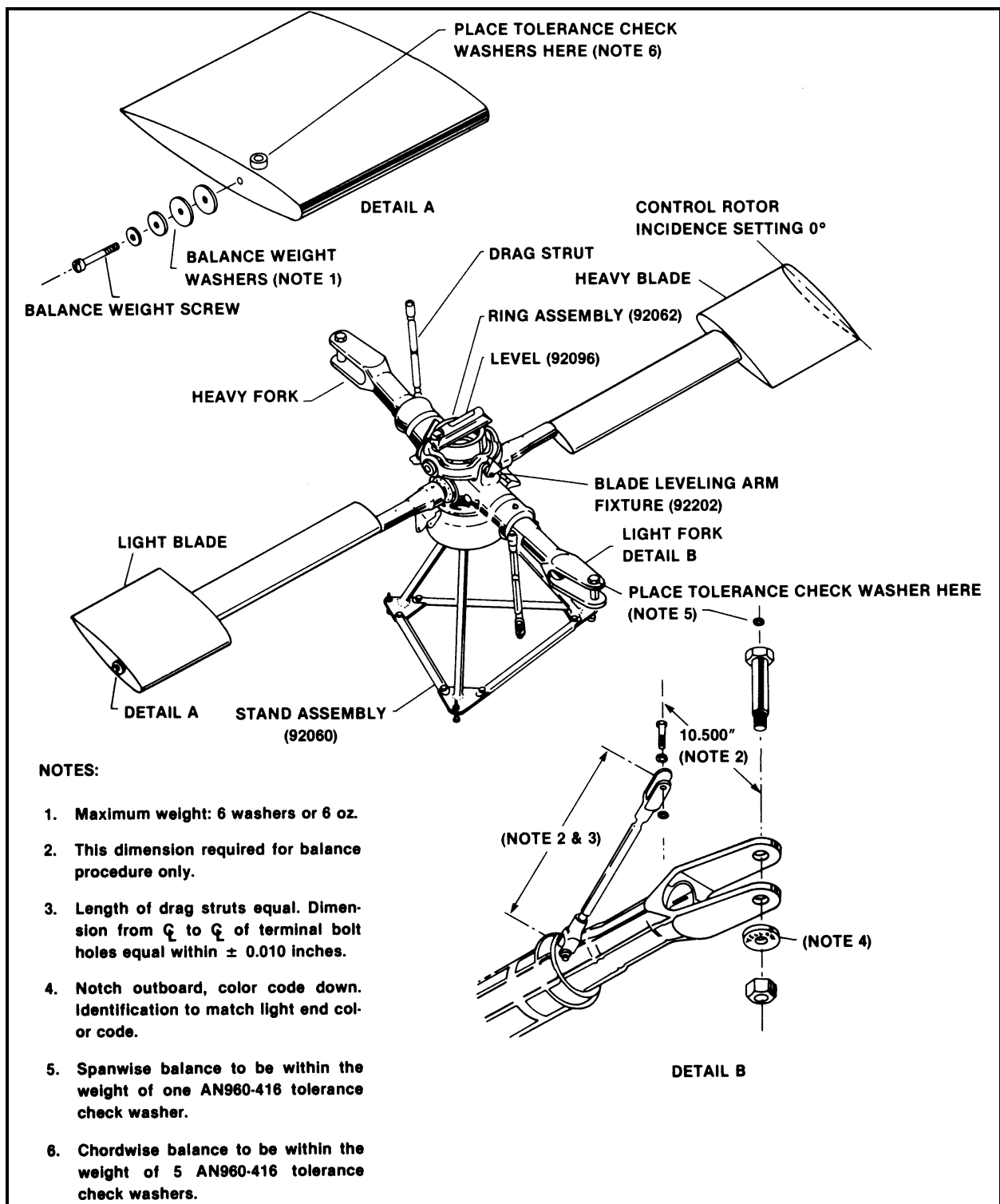
Ανεξαρτήτως του συστήματος που χρησιμοποιείται, η διαδικασία της ζυγοστάθμισης έχει σαν σκοπό την επίτευξη της οριζόντιας θέσης του στροφείου. Για αυτό τον λόγο όλη η εργασία της ζυγοσταθμίσεως πρέπει να γίνεται κάτω από ιδανικές συνθήκες. Αυτό περιλαμβάνει καθαρό εξοπλισμό και χώρο εργασίας χωρίς ρεύματα αέρα. Η ζυγοστάθμιση συνήθως γίνεται σε ξεχωριστό χώρο, ή όταν πρέπει να γίνει μέσα σε μία περιοχή του υπόστεγου, τα στροφεία τοποθετούνται μέσα σε κουτί (περίφραξη).

Μερικές κεφαλές στροφείου απαιτούν συντήρηση πριν από την ζυγοστάθμιση. Συνήθως οι υγρές κεφαλές γεμίζονται με την σωστή ποσότητα λαδιού σε όλες τις δεξαμενές τους, ενώ οι στεγνές κεφαλές συνήθως ζυγοσταθμίζονται πριν το γρασάρισμα τους. Αυτό γίνεται εξαιτίας της δυσκολίας καθορισμού της ποσότητας του γράσου που τοποθετείται σε κάθε σημείο της κεφαλής. Μια άνιση ποσότητα γράσου θα οδηγούσε σε μία μη ζυγοσταθμισμένη κατάσταση η οποία θα αυτοδιορθώνονταν κατά την λειτουργία

του ελικοπτέρου. Σε όλες τις περιπτώσεις η συντήρηση των κεφαλών πριν τη ζυγοστάθμιση, πρέπει να ακολουθεί τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Εάν η κεφαλή πρόκειται να ζυγοσταθμισθεί σαν μία ανεξάρτητη μονάδα λόγω του μεγέθους και της πολυπλοκότητας της, θα δικαιολογούσε ίσως πρόσθεση επιπλέον βάρους στις περιοχές που υποδεικνύονται από τον κατασκευαστή για να επιτευχθεί μία κατάσταση ισορροπίας. Βέβαια, η μη ζυγοσταθμισμένη κατάσταση σχετίζεται άμεσα με τα εξαρτήματα και τις ανοχές, που αποτελούν την κεφαλή του στροφείου. Σε αυτή την περίπτωση, η ζυγοστάθμιση συχνά επιτυγχάνεται αλλά με την πρόσθεση του βάρους που απαιτείται ενώ ταυτόχρονα παρατηρείτε το αποτέλεσμα, είτε με τον ενδεικτικό ζυγοσταθμίσεως είτε με τον χωροβατη, που τοποθετείται σε ένα προκαθορισμένο σημείο στην κεφαλή του στροφείου. Είτε ζυγοστάθμιση κατά μήκος της χορδής πραγματοποιηθεί πρώτα, είτε κατά μήκος του εκπετάσματος, είναι το ίδιο πράγμα καθώς η μία δεν θα επηρεάζει την άλλη σε αυτό τουλάχιστον το σημείο.

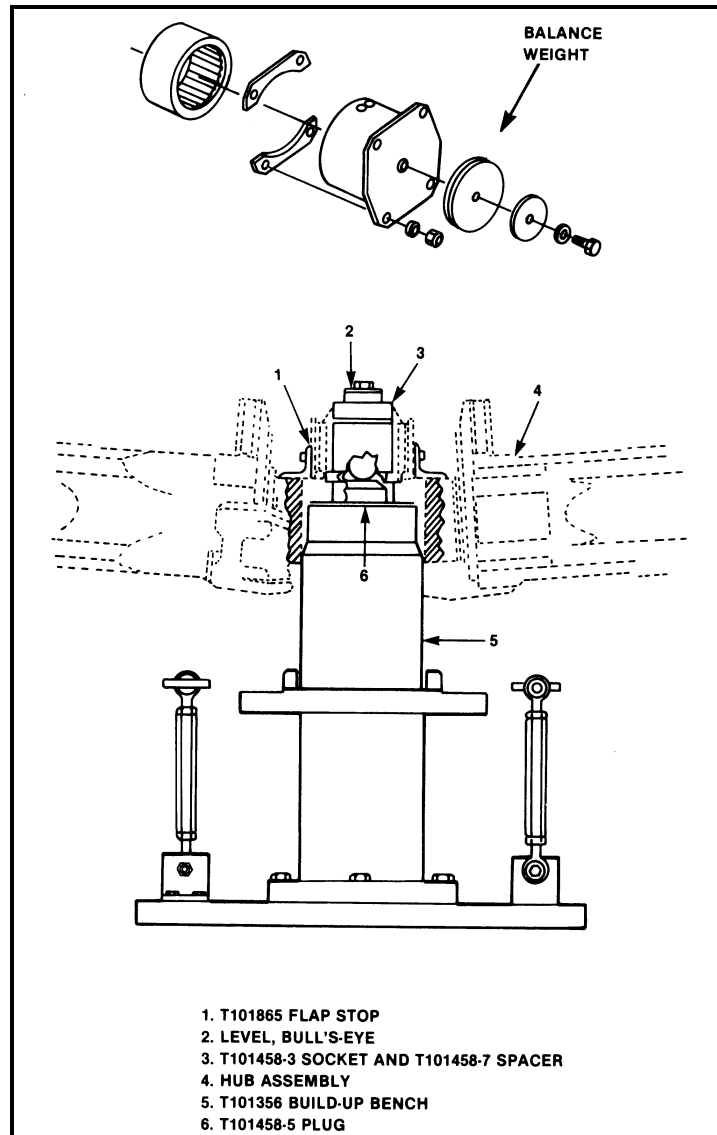
Το σχήμα 4.22 μας δείχνει μία τυπική διαδικασία ζυγοστάθμισης κεφαλής στην οποία το βάρος προστίθεται στην κεφαλή έτσι ώστε να διατηρηθεί μία ζυγοσταθμισμένη κατάσταση.



Σχ. 4.22 Ζυγοστάθμιση στροφέιου ανεξάρτητα από τα πτερύγια του.

Σε αυτή την διαδικασία, το βάρος με μορφή ειδικής ροδέλας, έχει προστεθεί στη λαβίδα του συγκρατητικού κοχλία έτσι ώστε να επιτύχουμε ζυγοστάθμιση κατά μήκος του εκπετάσματος. Ροδέλες-βάρος προστίθενται και στο πτερύγιο για να επιτύχουν ζυγοστάθμιση κατά μήκος της χορδής.

Μία παρόμοια διαδικασία ζυγοστάθμισης παρουσιάζεται στο σχήμα 4.23.



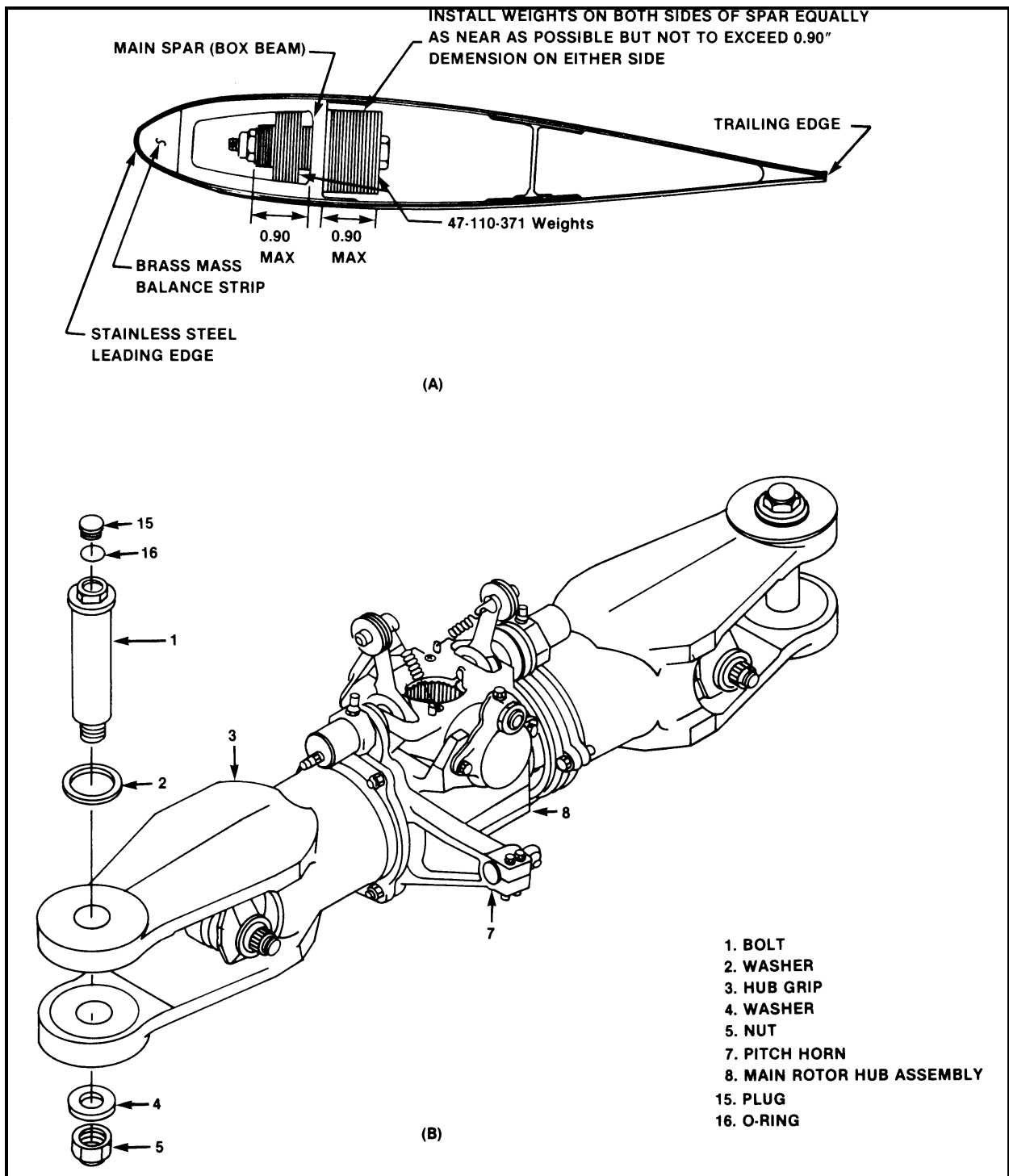
Σχ. 4.23 Τοποθέτηση βαρών στο συγκρότημα στήριξης των περυγών για επίτευξη εγκάρσιας ζυγοστάθμισης.

Σε αυτή την περίπτωση οι ροδέλες προσκολλούνται στην εξωτερική επιφάνεια του ενισχυμένου συγκροτήματος στήριξης των περυγών για να επιτευχθεί η ζυγοστάθμιση κατά μήκος της χορδής και βάρος από μολύβι στο εσωτερικό του συγκρατητικού κοχλίου του περυγίου έτσι ώστε να διατηρηθεί η ζυγοστάθμιση κατά το εκπέτασμα.

Από την στιγμή που η κεφαλή είναι στατικά ζυγοσταθμισμένη, τα περύγια τοποθετούνται στην κεφαλή του στροφείου και επαναζυγοσταθμίζονται όλα μαζί σαν μία μονάδα. Αυτό επιτυγχάνεται με παρόμοιο τρόπο όπως και η στατική ζυγοστάθμιση της κεφαλής. Σε στροφεία ημιστερεού τύπου τα περύγια μετακινούνται προς τα πίσω για να επιτευχθεί η ζυγοστάθμιση κατά μήκος της χορδής, κονταίνοντας τους βραχίονες οπισθέλκουσας. Στο στροφείο ημιαρθρωτού τύπου η ζυγοστάθμιση κατά μήκος της

χορδής πρέπει να επιτευχθεί πρώτα γιατί το δραστικό μήκος του βραχίονα επηρεάζεται από την κίνηση της πτέρυγας.

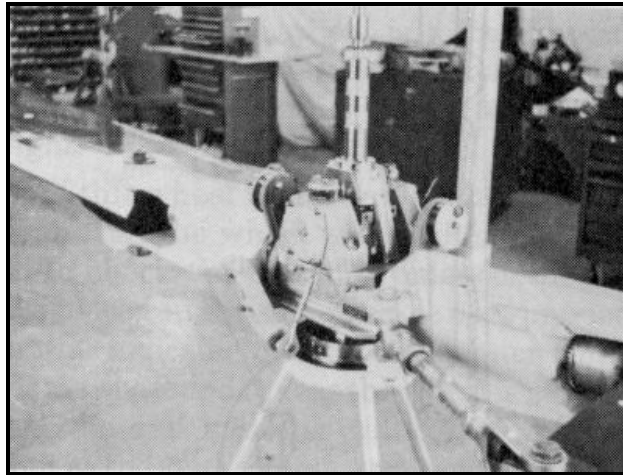
Η ζυγοστάθμιση κατά μήκος του εκπετάσματος επιτυγχάνεται με έναν από τους δύο πιο κάτω τρόπους. Το βάρος τοποθετείται ή σε ειδική θήκη στο ακροπτερύγιο ή στο σταθερό κοίλο σημείο των ασφαλιστικών κοχλιών της πτέρυγας (σχ. 4.24).



Σχ. 4.24 Τοποθέτηση βαρών στο ακροπτερύγιο ή στους συγκρατητικούς κοχλίες για ζυγοστάθμιση κατά μήκος της χορδής.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ** : Η πρόσθεση ή αφαίρεση βάρους σε άλλο σημείο, που δεν είναι εγκεκριμένο από τον κατασκευαστή, είναι επικίνδυνη. Παρόλο που μπορεί να βρεθεί ότι έχει προστεθεί βάρος σε αυτές τις μη εγκεκριμένες περιοχές, αυτά τα βάρη έχουν προστεθεί από τον κατασκευαστή, είτε σαν αντίβαρα, είτε για να πετύχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτά της πτέρυγας-μοντέλο και δεν πρέπει να πειραχθούν.

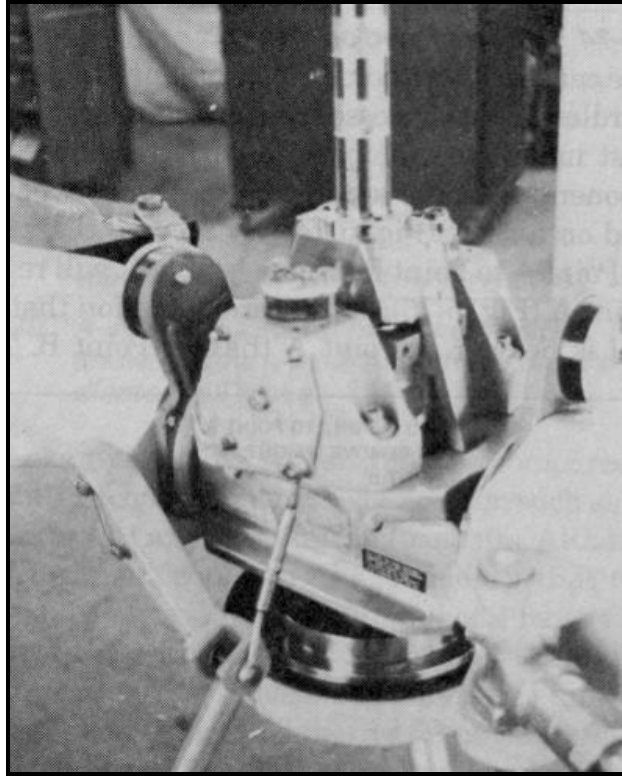
Σε συστήματα στροφείου στα οποία η κεφαλή και τα πτερύγια είναι στατικά ζυγοσταθμισμένα σαν μία μονάδα, χρησιμοποιείται σχεδόν η ίδια διαδικασία όπως όταν η κεφαλή ζυγοσταθμίζεται ξεχωριστά (σχ. 4.25).



Σχ. 4.25 Ενιαία ζυγοστάθμιση κεφαλής και στροφείου.

Η κεφαλή και οι πτέρυγες τοποθετούνται σε βάθρο ζυγοστάθμισης και το βάρος προστίθεται στο κατάλληλο σημείο για να επιτευχθεί η ζυγοστάθμιση. Σε αυτή την συγκεκριμένη διαδικασία, η ζυγοστάθμιση κατά μήκος της χορδής επιτυγχάνεται με κίνηση των πτερυγίων προς τα πίσω και παρατηρώντας τον χωροβάτη που είναι τοποθετημένος στο διπλοζυγό της πλήμνης. Η διαμήκης ζυγοστάθμιση ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση του χωροβάτη στο διπλοζυγό και προσθέτοντας βάρος στον ειδικό θύλακα του ακροπτερυγίου.

Η εικόνα 4.26 δείχνει ακόμα ένα παράδειγμα χρήσης του διεθνή ζυγοσταθμιστή (universal balance).

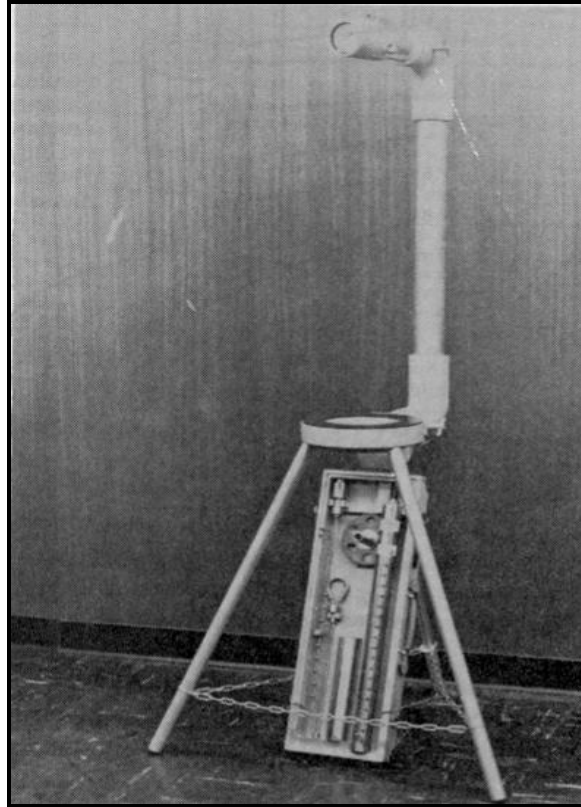


Σχ. 4.26 Ζυγοστάθμιση στροφείου σε Universal balancer

Τα πτερύγια ζυγοσταθμίζονται κατά μήκος της χορδής με μετακίνηση των πτερυγίων προς τα πίσω και με ρύθμιση των ασφαλιστικών πείρων (latch pins). Το βάρος για τη ζυγοστάθμιση κατά μήκος του εκπετάσματος προστίθεται στους κοίλους συγκρατητικούς κοχλίες του πτερυγίου.

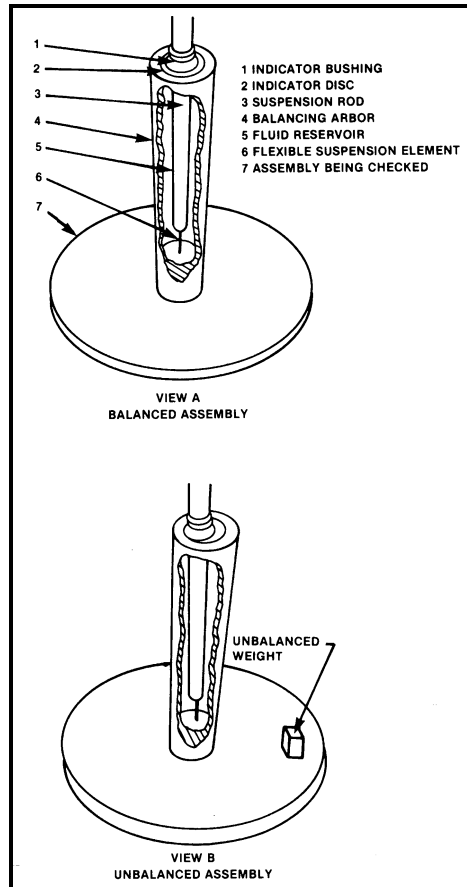
Προς το παρόν υπάρχει ένας μόνο κατασκευαστής διεθνούς τύπου ζυγοσταθμιστικού εξοπλισμού. Πολλές διαφορετικές κεφαλές και συστήματα στροφείων μπορούν να ζυγοσταθμιστούν με τον ίδιο βασικό εξοπλισμό χρησιμοποιώντας μία σειρά από προσαρμογείς (adapters). Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται για να ζυγοσταθμίζει όχι μόνο το κύριο στροφείο αλλά επίσης και ουραία στροφεία, έλικες, αλλά και μία μεγάλη ποικιλία από περιστρεφόμενα εξαρτήματα (σχ. 4.27).





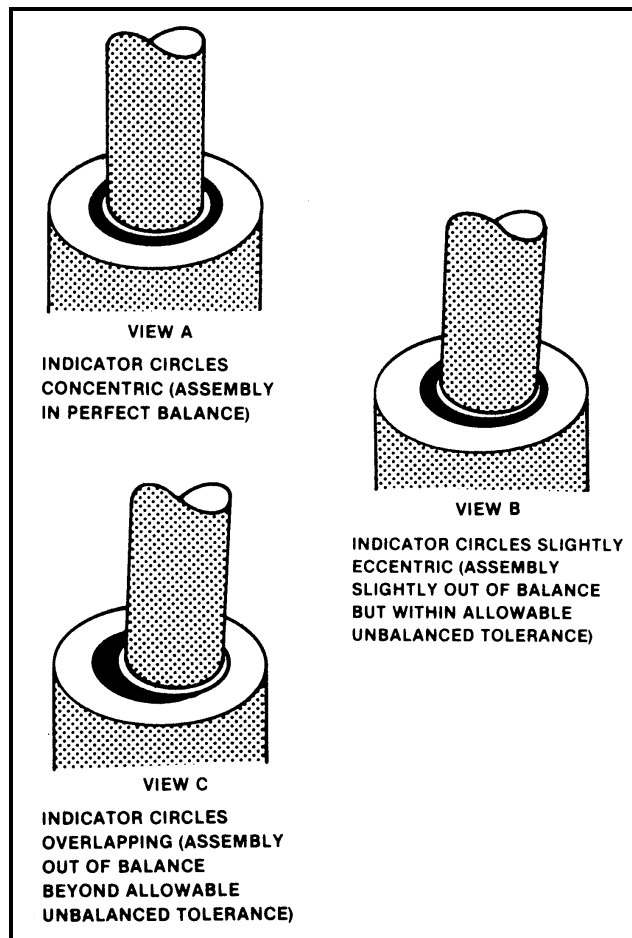
Σχ. 4.27 Τυπικός universal balancer

Η βάση αυτού του εξοπλισμού είναι ένας περιορισμένος άξονας (arbor) πάνω στον οποίο μπορούν να τοποθετηθούν τα κύρια στροφεία ή άλλα παρελκόμενα, όπου μαζί με ειδικούς προσαρμογείς προσαρμόζουν την κεφαλή στον άξονα και ρυθμίζουν την ευαισθησία τους (σχ. 4.28).



Σχ. 4.28 Άξονας arbor σε universal balancer.

Ο άξονας από μόνος του είναι κοίλος (hollow) και περιορίζεται από ένα εύκαμπτο εξάρτημα που είναι τοποθετημένο στο κέντρο του άξονα και γεμίζεται με λάδι. Το λάδι ενεργεί σαν μία συσκευή απόσβεσης κραδασμών για να καθυστερεί τις κινήσεις του άξονα. Προσκολλημένος στην κορυφή του εύκαμπτου εξαρτήματος είναι ένας ενδείκτης πάνω σε αντιτριβικό δακτύλιο. Καθώς ο άξονας μετακινείται από μία ασταθή κατάσταση, το αναρτημένο εξάρτημα και ο ενδείκτης τριβέα θα παραμείνουν στη θέση τους, προσκολλημένοι στον άξονα. Στη περιοχή του ενδείκτη με τον αντιτριβικό δακτύλιο βρίσκεται ο δίσκος του ενδείκτη. Η σχέση του δακτυλίου και του δίσκου δείχνει αν υπάρχει κατάσταση ισορροπίας ή όχι. Αν το αντικείμενο είναι ζυγοσταθμισμένο, η σχέση του δίσκου και του τριβέα θα είναι ευθυγραμμισμένη. Αν το αντικείμενο είναι ελαφρά μη ζυγοσταθμισμένο, η σχέση του δίσκου και του τριβέα θα είναι ελαφρώς εκκεντρική. Αν ο δίσκος και ο τριβέας επικαλύπτονται (overlap), το εξάρτημα έχει ξεπεράσει τις επιτρεπτές ανοχές του (σχ. 4.29).



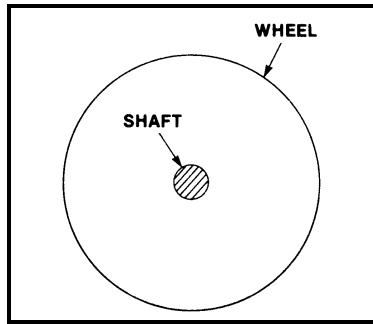
Σχ. 4.29 Διάφορες ενδείξεις ζυγοστάθμισης του άξονα arbor.

Ο συγκεκριμένος τύπος εξοπλισμού για ξεχωριστά συστήματα στροφείου ποικίλει σε σχεδίαση και σε ευαισθησία. Αυτό είναι όχι μόνο λόγω των διαφορών σχεδίασης των κεφαλών, αλλά και για την διαφορά σε ευαισθησία των κεφαλών στις δονήσεις.

### 4.3 ΔΟΝΗΣΕΙΣ (VIBRATION)

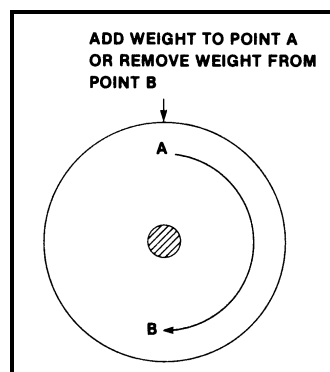
Κανένας άλλος παράγοντας δεν συμβάλει τόσο πολύ στη γενική φθορά (deterioration) των παρελκομένων όπως οι παρατεταμένες δονήσεις.

Η αιτία των δονήσεων είναι μία μη ζυγοσταθμισμένη κατάσταση. Ανεξαρτήτως της διαδικασίας που χρησιμοποιείται κατά την κατασκευή, είναι σχεδόν αδύνατο να επιτευχθεί μια τέλεια ζυγοστάθμιση του εξαρτήματος. Έστω ότι ένας συμπαγής τροχός τοποθετείται σε έναν άξονα (σχ. 4.30).



Σχ. 4.30 Τροχός πάνω σε άξονα

Μετακινώντας τον τροχό από το σημείο Α στο σημείο Β και αφήνοντας τον υπάρχει περίπτωση να επιστρέψει στο σημείο Α (σχ. 4.31).

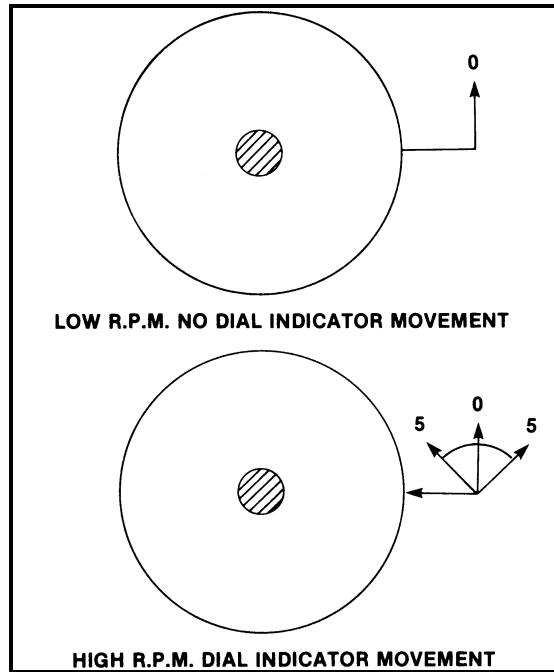


Σχ. 4.31 Εύρεση βαρύτερου σημείου

Αυτό είναι μία ένδειξη ότι ο τροχός είναι βαρύτερος στο σημείο Α από το σημείο Β και μπορεί να γίνει στατικά ισορροπημένος αν τοποθετήσουμε βάρος στο σημείο Α ή αφαιρέσουμε βάρος από το σημείο Β.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Συνήθως όταν ο τροχός πρόκειται να εκτεθεί σε υψηλές στροφές ανά λεπτό (rpm) και σε φυγοκεντρικές δυνάμεις, προτιμότερο είναι να αφαιρέσουμε υλικό παρά να προσθέσουμε.

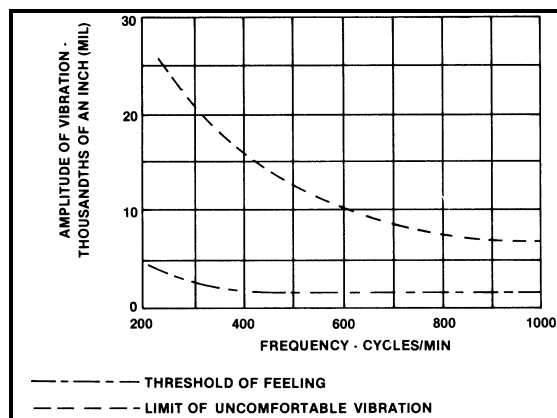
Παρόλο που αυτός ο τροχός θα είναι στατικά ζυγοσταθμισμένος, δεν σημαίνει ότι θα είναι και δυναμικά ζυγοσταθμισμένος. Για τον έλεγχο της δυναμικής ζυγοστάθμισης, ο τροχός μπορεί να τοποθετηθεί στον ίδιο άξονα όπως προηγουμένως, μαζί με έναν ενδείκτη τοποθετημένο στην εξωτερική στεφάνη του τροχού (σχ. 4.32).



Σχ. 4.32 Α. Δεν υπάρχει ένδειξη στις χαμηλές στροφές Β. Υπάρχει ένδειξη στις υψηλές στροφές.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι καθώς ο τροχός κινείται σε χαμηλές στροφές, ο ενδείκτης θα παραμείνει στη θέση "0", αλλά καθώς οι στροφές θα αυξάνονται, θα παρατηρηθεί κίνηση στον ενδείκτη. Αυτή η κίνηση δείχνει μία δυναμική αστάθεια και είναι γνωστή "μετατόπιση" (displacement) ή σαν εύρος (amplitude). Ο ρυθμός κατά τον οποίο δημιουργείται αυτή η ταλάντωση του δείκτη είναι γνωστή σαν «συχνότητα».

Το παράδειγμα του τροχού μπορεί να συγκριθεί με κάθε περιστρεφόμενο παρελκόμενο του ελικοπτέρου, όπως το κύριο στροφέιο, το ουραίο στροφέιο, ανεμιστήρες ψύξεως, ή άξονες. Παρόλο που μερικές δονήσεις βρίσκονται σε μία συχνότητα που δεν μπορούν να γίνουν αισθητές από το ανθρώπινο σώμα, οι πιο πολλές δονήσεις στο ελικόπτερο, εκτός από αυτές του στροβιλοκινητήρα, μπορούν να γίνουν αισθητές. Σε πολλές περιπτώσεις μπορούν όχι μόνο να γίνουν αισθητές αλλά μπορούμε να διακρίνουμε την περιοχή στην οποία δημιουργούνται. Το εύρος, όπως και η συχνότητα, έχουν όρια στην ανθρώπινη δυνατότητα να διαχωρίσει τις δονήσεις. Παρόλο αυτά, είναι δυνατόν να διακρίνουμε τις πιο επιζήμιες δονήσεις (σχ. 4.33).



Σχ. 4.33 Σημείο αίσθησης δονήσεων από τον άνθρωπο.

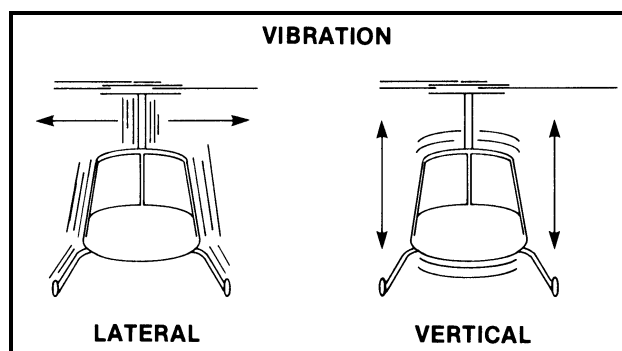
Συχνά αυτές οι δονήσεις γίνονται αισθητές διαμέσου στατικών ή μη περιστρεφόμενων παρελκομένων, όπως τα ποδοστήρια ελέγχου διευθύνσεως, η πλάτη του καθίσματος, ή ακόμα και το ίδιο το κάθισμα του χειριστή. Αν και αυτά τα εξαρτήματα δεν είναι οι πηγές των δονήσεως, αποτελούν πάντα μία καλή πηγή για καθορισμό του περιστρεφόμενου εξαρτήματος που προκαλεί τις δονήσεις.

Ακόμα μία πηγή δονήσεων, την οποία το προσωπικό συντήρησης πρέπει να γνωρίζει, είναι το γεγονός ότι όλα τα περιστρεφόμενα παρελκόμενα έχουν μία φυσική συχνότητα στην οποία είναι εύθικτα στις δονήσεις. Κατά την σχεδίαση των παρελκομένων, αυτές οι περιοχές αποφεύγονται, ή αλλιώς τα παρελκόμενα επανασχεδιάζονται. Σε μερικές περιπτώσεις, όταν η περιοχή αυτή είναι αναπόφευκτη, δημιουργείται μία διαβιβαστική ακτίνα έτσι ώστε το παρελκόμενο να μην είναι συνεχώς σε λειτουργία σ' αυτή την ταχύτητα, αλλά απλά μόνο και μόνο να περνάει διαμέσου αυτής έτσι ώστε να φτάσει την ταχύτητα λειτουργίας του. Τέτοιες περιοχές παρουσιάζονται στο εγχειρίδιο λειτουργιών (operation manual) και συχνά είναι σημαδεμένες στο στροφόμετρο (tachometer) με ένα κόκκινο τόξο που είναι τοποθετημένο στο όργανο στη περιοχή ένδειξης των στροφών.

Οι δονήσεις στα ελικόπτερα είναι συχνά κατανεμημένες σε τρεις κύριες κατηγορίες (α) χαμηλής συχνότητας, (β) μέσης συχνότητας και (γ) υψηλής συχνότητας.

#### 4.3.1. Δονήσεις Χαμηλής Συχνότητας (Low Frequency Vibrations).

Οι χαμηλής συχνότητας δονήσεις κυμαίνονται από 0 έως 500 rpm και εκφράζονται σε κύκλους ανά λεπτό. Αυτός ο ρυθμός δονήσεων συνήθως προέρχεται από το κύριο στροφέιο, το οποίο περιστρέφεται σε εύρος από 300 έως 500 rpm. Η 1:1 δόνηση είναι μάλλον η πιο συχνή και η πιο εύκολη στο να εντοπιστεί. Μπορεί να παρομοιασθεί σαν ένα χτύπημα (beat). Ένα χτύπημα για κάθε περιστροφή του στροφέιου. Αυτό το χτύπημα μπορεί να είναι είτε οριζόντιο είτε κάθετο (σχ. 4.34).



Σχ. 4.34 Εγκάρσιες και κάθετες δονήσεις.

Οι κάθετες δονήσεις σχετίζονται με το ίχνος του στροφέιου, ενώ οι οριζόντιες δονήσεις σχετίζονται με μία μη ζυγοσταθμισμένη κατάσταση.

Είναι επίσης δυνατόν να παρατηρηθούν και άλλες δονήσεις, όπως η 2:1 ή 3:1, κλπ, που να εξαρτώνται από το σύστημα στροφέιου του ελικοπτέρου. Παρόλο που οι 1:1 και οι 2:1 δονήσεις είναι εύκολα αναγνωρίσιμες, οι πολλαπλές δονήσεις δεν είναι. Οι

δονήσεις του κύριου στροφείου μπορούν να προκληθούν από τα πολυάριθμα παρελκόμενα (features) του κυρίως στροφείου, όπως από τους αποσβεστήρες (dampeners), την διαμήκη και εγκάρσια αστάθεια των πτερύγων, τους βραχίονες παλινδρόμησης και από φθαρμένα εξαρτήματα της κεφαλής.

#### **4.3.2. Δονήσεις Μέσης Συχνότητας. (Medium Frequency Vibrations)**

Οι δονήσεις μέσης συχνότητας είναι στην περιοχή των 500 έως 2000 rpm. Αυτό το μεγάλο φάσμα στροφών είναι δύσκολο να διακριθεί σαν μέση συχνότητα. Ένα πολλαπλό χτύπημα προερχόμενο από το κύριο στροφείο θα μπορούσε να μπει σε αυτή την κατηγορία, όπως επίσης και ένα πολλαπλό χτύπημα του ανεμιστήρας ψύξεως. Γι' αυτό το λόγο οι μέσης συχνότητας δονήσεις μπορούν να είναι οτιδήποτε, από ένα μη διακρινόμενο χτύπημα μέχρι ένα βούισμα (buzz). Παρόλο που οι δονήσεις μέσης συχνότητας υπάρχουν και στη θεωρία και στην πράξη, είναι πολύ δύσκολο να αναγνωριστεί μία δόνηση στην μέση συχνότητα. Σαν αποτέλεσμα αυτού, οι πιο πολλές δονήσεις αναγνωρίζονται σαν δονήσεις χαμηλής ή υψηλής συχνότητας, με τις χαμηλής συχνότητας να έχουν ευδιάκριτο ρυθμό, ενώ οι υψηλής έναν δυσδιάκριτο χτύπο καταλήγοντας σε βούισμα.

#### **4.3.3. Δονήσεις Υψηλής Συχνότητας (High Frequency Vibrations)**

Οι δονήσεις υψηλής συχνότητας κυμαίνονται από τις 2000 rpm και άνω. Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, είναι δυσδιάκριτες, κάτι σαν βούισμα και μερικές φορές γίνονται αισθητές σαν τρέμουλο (tingling). Αυτός ο τύπος δονήσεων συχνά γίνεται αισθητός σε στατικά παρελκόμενα όπως τα ποδοστήρια διευθύνσεως. Οι τρεις γενικές περιοχές δονήσεων υψηλής συχνότητας είναι το ουραίο στροφείο, ο κινητήρας και τα συστήματα αξόνων του κινητήρα.

Όλα τα ελικόπτερα είναι επιρρεπή στις δονήσεις εξαιτίας του μεγάλου αριθμού περιστρεφόμενων παρελκομένων. Για αυτό το λόγο, είναι πάρα πολύ σημαντικό να κρατηθούν οι δονήσεις στο ελάχιστο, αλλιώς οι φθορές θα αυξηθούν. Οι φθορές αυτές θα επιδράσουν όχι μόνο στο χρόνο καλής λειτουργίας των περιστρεφόμενων παρελκομένων, αλλά επίσης στην κόπωση των στατικών παρελκομένων τα οποία συμπάσχουν με τα περιστρεφόμενα παρελκόμενα.

Πρέπει να παρατηρηθεί ότι αυτές οι φθορές δεν ακολουθούν μία γραμμική αναλογία στην ταχύτητα των φθορών, αλλά για την ακρίβεια ενεργούν με πολλαπλάσιο ρυθμό. Για παράδειγμα, αν η φθορά σε ένα συγκεκριμένο τριβέα ήταν ένα χιλιοστό της ίντσας σε 500 ώρες πτήσης, ίσως χρειαστεί λιγότερο από 50 ώρες για να επιτευχθεί η φθορά του επόμενου χιλιοστού της ίντσας. Στις επόμενες 500 ώρες, μπορεί να προκύψουν φθορές της τάξεως των 20 με 30 χιλιοστών της ίντσας. Αν οι επιτρέψουμε να συνεχιστούν αυτές οι δονήσεις, κάθε επιπλέον φθορά ενός χιλιοστού της ίντσας θα επιτυγχάνεται σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Αφού κάθε παρελκόμενο είναι προσκολλημένο στο άλλο, θα αυξηθεί και η φθορά των συνορευόμενων παρελκομένων. Μπορεί κάποιος να δει εύκολα ότι αυτή η κλιμάκωση θα επηρεάσει ολόκληρο το σύστημα και ακόμα μπορεί να περάσει σε ένα άλλο μέσω της μεταφερόμενης δόνησης. Τέτοια προβλήματα μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλό κόστος συντήρησης, στην

αντικατάσταση εξαρτημάτων και σε υψηλά εργατικά έξοδα, τα οποία συχνά είναι η διαφορά μεταξύ κέρδους ή ζημιάς για μια εταιρεία.

#### **4.4 ΕΥΡΕΣΗ ΊΧΝΟΥΣ - ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ (TRACKING)**

Η ανίχνευση είναι μία διαδικασία που χρησιμοποιείται για να ελέγχουμε ότι όλα τα πτερύγια κινούνται μέσα στο ίδιο μονοπάτι (ίχνος) του ακροπερυγίου του αεροσκάφους.

Αν ένα πτερύγιο είναι έξω από το ίχνος, το ελικόπτερο θα έχει μία 1:1 κάθετη δόνηση. Προβλήματα ανίχνευσης μπορούν να δημιουργηθούν σε όλους τους τύπους στροφείων. Συνήθως το ελικόπτερο χρειάζεται έλεγχο ίχνους όταν τα πτερύγια, οι κεφαλές, τα παρελκόμενα του βήματος της κεφαλής ή οι μηχανισμοί αλλαγής βήματος αντικαθίστανται. Κατά τη διάρκεια της πρώτης εκκίνησης η ανίχνευση πρέπει να είναι πάντα η πρώτη επιθεώρηση που γίνεται μετά από αλλαγή ή επισκευή κεφαλών ή πτερυγίων. Θα είναι αδύνατο να επιδιορθωθούν μη ζυγοσταθμισμένες καταστάσεις προτού επιτευχθεί σωστό ίχνος. Συχνά μία έξω από το ίχνος (out-of-tack) κατάσταση θα έχει μεγάλες εγκάρσιες δονήσεις.

Υπάρχει ένας αριθμός από μεθόδους που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν το ίχνος στα ελικόπτερα. Αυτές ποικίλουν ανάλογα με τους κατασκευαστές αλλά και το σύστημα που είναι πιο κατάλληλο για τη σχεδίαση του στροφείου.

Μερικές από αυτές τις μεθόδους είναι :

- α. Η Μέθοδος του Καλαμιού (Stick Method)
- β. Η Μέθοδος της Σημαίας (Flag Method)
- γ. Η Μέθοδος της Αντανάκλασης Φωτός (Light Reflector Method)
- δ. Η Μέθοδος Προανίχνευσης (Pre-track Method)
- ε. Η Ηλεκτρονική ή η Μέθοδος Strobe ( Electronic or Strobe Method)
- στ. Ζυγοσταθμιστικά Πτερύγια (Trim Tabs).
- ζ. Διασταύρωση Πτέρυγας ή Ανοδική Πτέρυγας (Blade Crossover or Climbing Blade).

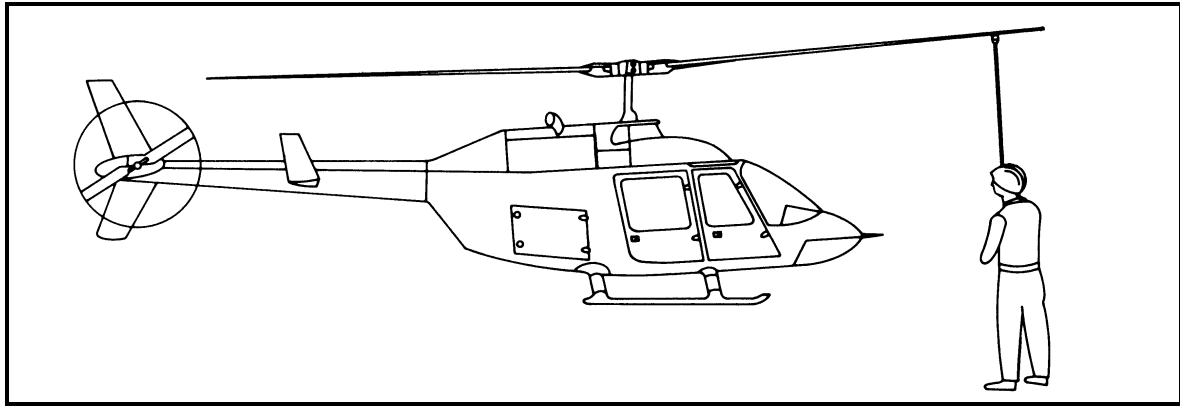
Ανεξαρτήτως με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, όλες οι διεργασίες ανίχνευσης ξεκινούν από τον έλεγχο ίχνους στο έδαφος. Σε μερικές περιπτώσεις ίσως χρειαστεί να γίνει μία χαμηλόστροφη ανίχνευση καθώς και μία υψηλόστροφη.

Σε πολλά από τα ελικόπτερα που είναι σήμερα σε χρήση λόγω του σχεδιασμού του στροφείου τους απαιτείται και ανίχνευση εν πτήση. Αυτή η διαδικασία απαιτεί μία ανίχνευση σε θέση αιώρησης (hover track) και ανίχνευση σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων, όπως καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Ανεξαρτήτως της μεθόδου, όλες οι ανιχνεύσεις πρέπει να γίνουν σε σχεδόν ασθενή άνεμο, με το ελικόπτερο να βλέπει αντίθετα από τον αέρα.

##### **4.4.1. Η Μέθοδος του Καλαμιού (Stick Method)**

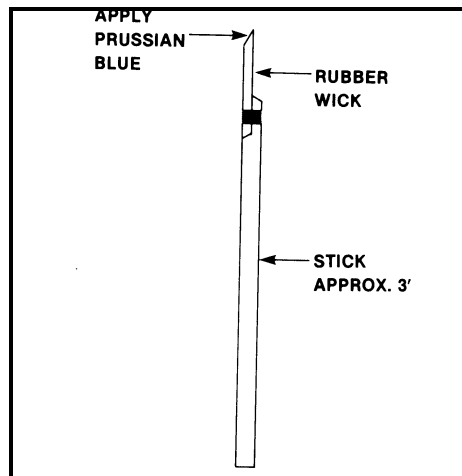
Η πρώτη μέθοδος που θα συζητηθεί είναι η μέθοδος του καλαμιού (σχ. 4.35).





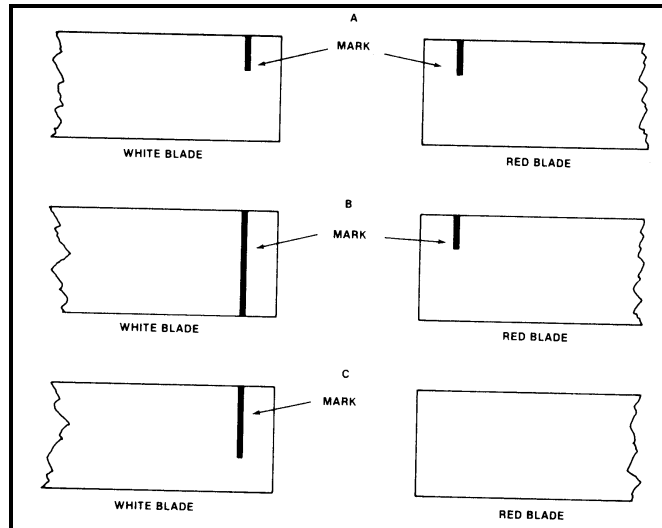
Σχ. 4.35 Μέθοδος ελέγχου ίχνους με καλάμι

Αυτό το σύστημα είναι μόνο για έλεγχο του ίχνους στο έδαφος. Ένα ελαστικό, 2 έως 4 ιντσών τοποθετείται πάνω σε ένα καλάμι ανάλογου μήκους ώστε να ακουμπάει το στροφέιο (σχ. 4.36).



Σχ. 4.36 Τυπικό καλάμι ελέγχου ίχνους.

Η αιχμηρή άκρη του ελαστικού αλείφεται από κάποιο υλικό όπως το Prussian blue. Με το ελικόπτερο να λειτουργεί σε συγκεκριμένες στροφές, το ελαστικό που είναι προσκολλημένο στο καλάμι έρχεται σε επαφή με τα κινούμενα πτερύγια του στροφέιου. Όταν επιτευχθεί η επαφή, το καλάμι απομακρύνεται. Το προσωπικό εδάφους πρέπει να έχει συγκεκριμένη ασφαλή θέση στο έδαφος και ειδικά λόγω της προπορευόμενης πτέρυγας του στροφέιου, για να αποτραπούν τυχόν τραυματισμοί, αν το καλάμι είναι τοποθετημένο πολύ ψηλά. Μετά το σβήσιμο του κινητήρα, τα πτερύγια ελέγχονται ως προς το σημάδι που άφησε η αιχμηρή άκρη (σχ. 4.37).

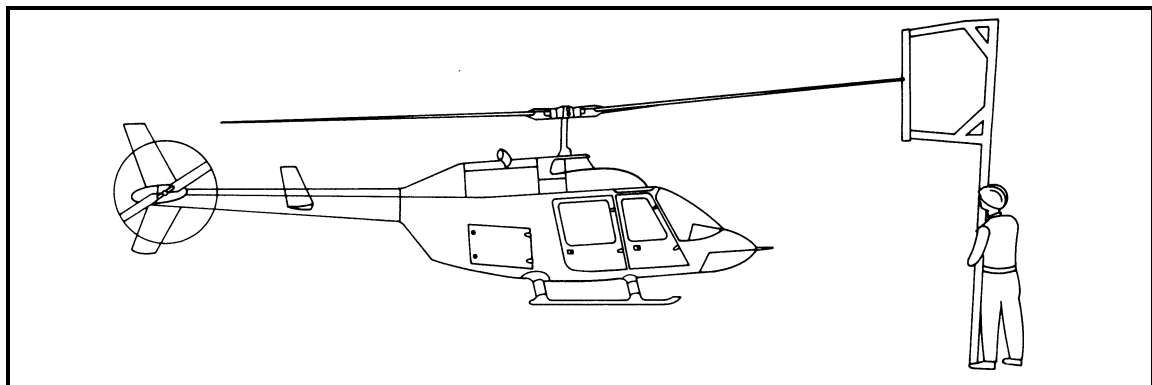


Σχ. 4.37 Σημάδια πάνω στις πτέρυγες με τη μέθοδο του καλαμιού

Αν και τα δύο πτερύγια είναι σημαδεμένα με την ίδια ποσότητα υγρού, τότε τα πτερύγια έχουν το ίδιο ίχνος (σχ. 4.37 A). Αν το ένα πτερύγιο φέρει βαρύτερο σημάδι, το πτερύγιο με το ελαφρύτερο σημάδι θα πρέπει να χαμηλωθεί. Σε πολλές περιπτώσεις μόνο το ένα πτερύγιο θα σημαδευτεί (σχ. 4.37C). Αυτό σημαίνει ότι μόνο το ένα πτερύγιο ήταν αρκετά χαμηλά για να σημαδευτεί και έτσι τα πτερύγια πρέπει να ανυψωθούν ή να χαμηλωθούν μέχρις ότου όλα τα πτερύγια να είναι στο ίδιο ίχνος περιστροφής. Το μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι η διαδικασία ίσως χρειαστεί να επαναληφθεί αρκετές φορές πριν μπορέσουμε να ρυθμίσουμε το ίχνος, καθώς αν εμφανιστεί μόνο το ένα σημάδι, δεν είναι δυνατόν να καθορίσουμε την ακριβή διαφορά ίχνους του άλλου πτερυγίου.

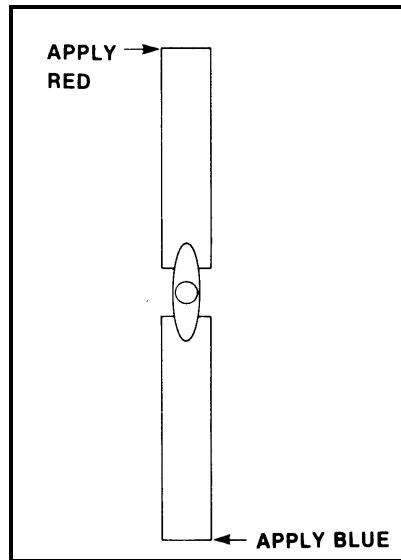
#### 4.4.2. Η Μέθοδος της Σημαίας (Flag Method).

Η μέθοδος της σημαίας, όπως και η μέθοδος του καλαμιού, μπορεί να γίνει μόνο για ανίχνευση στο έδαφος. Η σημαία αποτελείται από ένα πλαίσιο τέτοιου ύψους ώστε να προσαρμόζεται στο επίπεδο περιστροφής του στροφείου του ελικοπτήρου (σχ. 4.38).



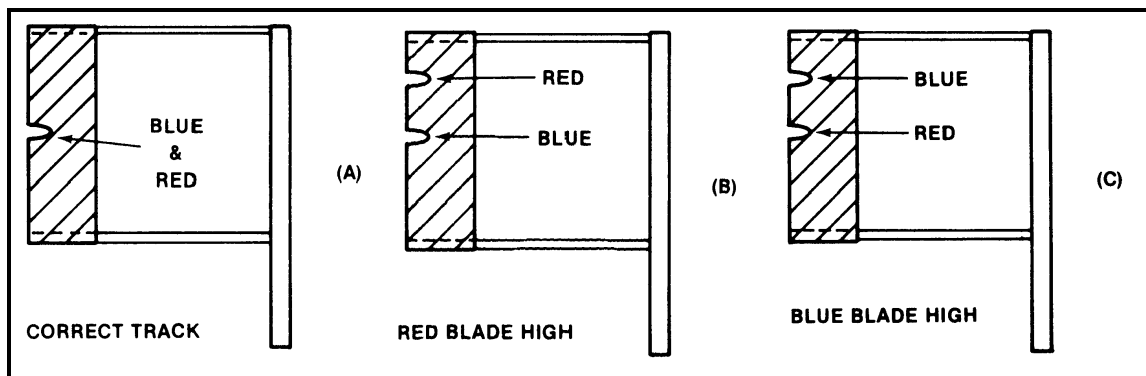
Σχ. 4.38 Έλεγχος ίχνους με την μέθοδο της σημαίας.

Η σημαία είναι καλυμμένη με ύφασμα, και με μία ταινία στην εξωτερική της άκρη. Χρώματα όπως το Prussian blue ή χρώμα με βάση το νερό (waterbase) τοποθετείται στα ακροπτερύγια, με διαφορετικό φυσικά χρώμα σε κάθε ακροπτερύγιο (σχ. 4.39).



Σχ. 4.39 Σημάδεμα στα πτερύγια.

Το ελικόπτερο λειτουργεί στις προεπιλεγμένες από τον κατασκευαστή στροφές, και η σημαία τοποθετείται αργά στη πορεία περιστροφής των ακροπτερυγίων του στροφέιου. Το κάθε πτερύγιο θα αφήσει σημάδια στην εξωτερική άκρη της σημαίας με το αντίστοιχο χρώμα (σχ. 4.40).

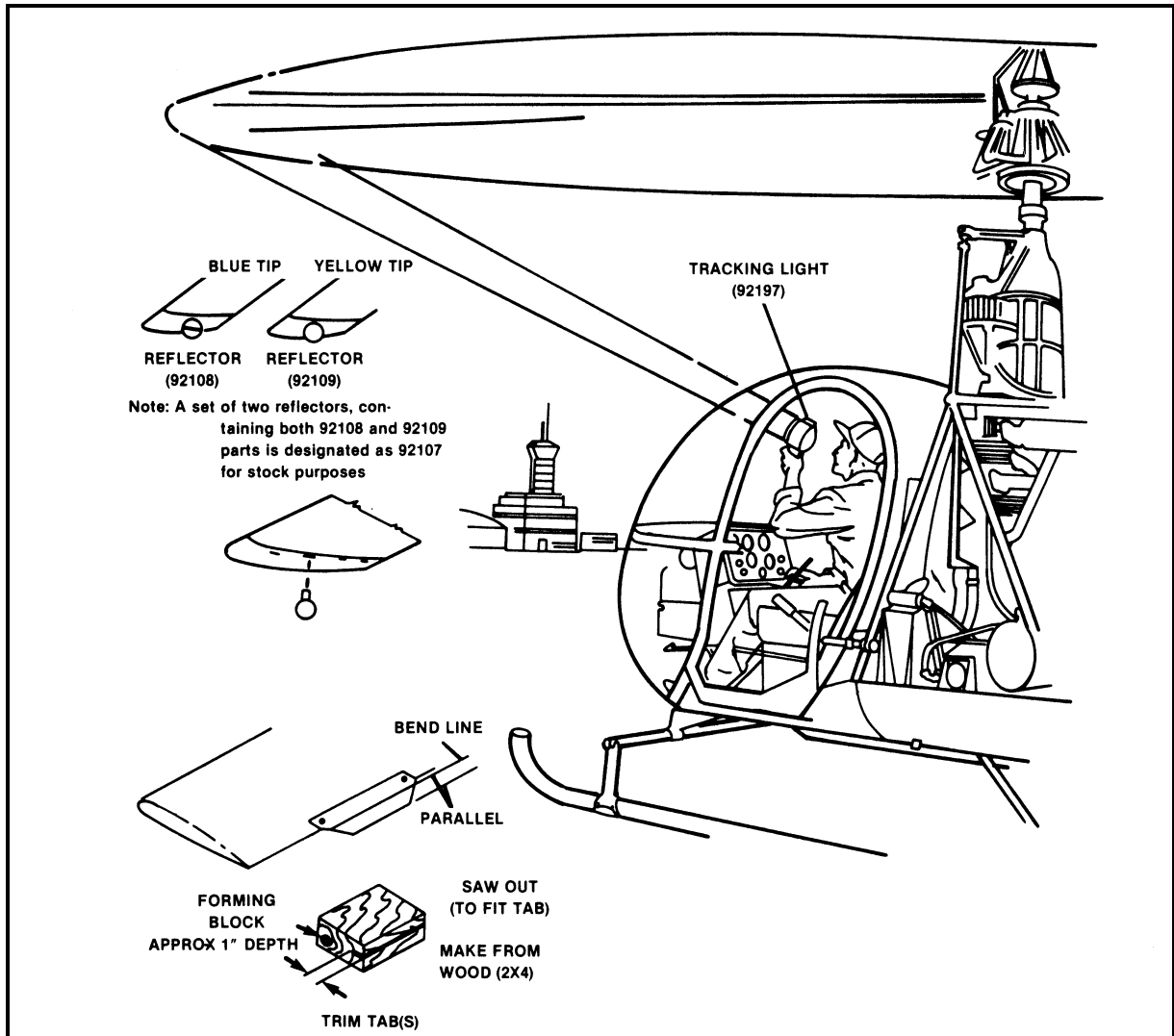


Σχ. 4.40 Τυπικά σημάδια στην σημαία μετά από διαδικασία ανίχνευσης.

Στο σχήμα 4.40Α, μόνο μία εγκοπή φαίνεται, δείχνοντας έτσι ότι και οι δύο πτέρυγες περιστρέφονται στο ίδιο επίπεδο περιστροφής και δεν χρειάζονται καμία ρύθμιση. Στο σχήμα 4.40Β φαίνεται ότι η κόκκινη πτέρυγα είναι ψηλότερα από την μπλε πτέρυγα, δείχνοντας έτσι ότι η κόκκινη πτέρυγα θα πρέπει να χαμηλώσει ή ότι η μπλε πτέρυγα θα πρέπει να υψωθεί. Το αντίθετο συμβαίνει στο σχήμα 4.40C και οι ρυθμίσεις πρέπει να γίνουν με τον αντίθετο τρόπο. Αυτή η μέθοδος έχει πλεονεκτήματα έναντι της μεθόδου του καλαμιού στο ότι η διαφορά απόστασης του ίχνους του ακροπτερυγίου φαίνεται ξεκάθαρα στη σημαία και μπορεί εύκολα να γίνει η ανάλογη ρύθμιση.

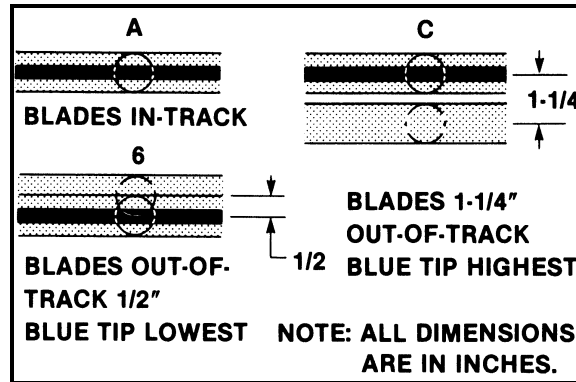
### 4.4.3. Η Μέθοδος της Ανακλάσεως του Φωτός (Light Reflector Method)

Η μέθοδος της ανακλάσεως του φωτός μπορεί να πραγματοποιηθεί στο έδαφος ή στον αέρα. Αυτή η μέθοδος έχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα γιατί οι πτέρυγες δεν ανιχνεύονται το ίδιο ξεκάθαρα στο έδαφος όπως όταν το ελικόπτερο είναι εν πτήση. Τοποθετούνται λοιπόν ανακλαστήρες στα ακροπτερύγια του ελικοπτήρου βλέποντας την εσωτερική πλευρά και προς την καλύπτρα. Ένας από αυτούς τους ανακλαστήρες είναι απλός, ενώ ο άλλος έχει μια ταινία κολλημένη ακριβώς στη μέση του (σχ. 4.41).



Σχ. 4.41 Μέθοδος ανίχνευσης με ανάκλαση φωτός σε ελικόπτερο Hiller 12.

Ένας προβολέας χειρός που λειτουργεί με μπαταρία τοποθετείται στην καμπίνα. Το ελικόπτερο αιωρείται στις προκαθορισμένες στροφές και το φως δείχνει προς τους ανακλαστήρες, παρουσιάζοντας ανάλογα σχήματα (σχ. 4.42).

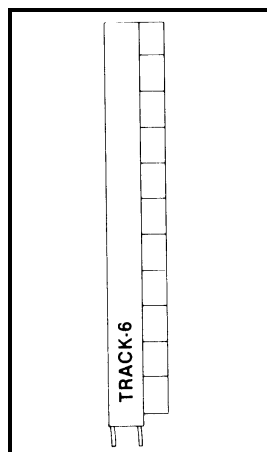


Σχ. 4.42 Παρουσίαση ειδώλων που φαίνονται στη μέθοδο ανάκλασης φωτός

Το σχήμα 4.42A αντιπροσωπεύει ένα σύστημα στροφείου με το ίδιο ποσοστό αντανάκλασης του φωτός και στις δύο πτέρυγες. Το σχήμα 4.42B δείχνει το επίπεδο αντανάκλασης της πτέρυγας με τον απλό ανακλαστήρα πολύ ψηλά, ενώ στο σχήμα 4.42C φαίνεται η σημαδεμένη με ταινία πτέρυγα πολύ ψηλά. Όπως αναφέρθηκε, αυτό το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπόστεγο αλλά και εν πτήση, που στη τελευταία περίπτωση οι πτέρυγες μπορούν να αντιδράσουν διαφορετικά. Το σύστημα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και σε τρίφυλλα στροφεία, μόνο που ο ανακλαστήρας με την ταινία θα πρέπει να μετακινηθεί από πτέρυγα σε πτέρυγα για να γίνουν, αν χρειάζεται, οι κατάλληλες ρυθμίσεις.

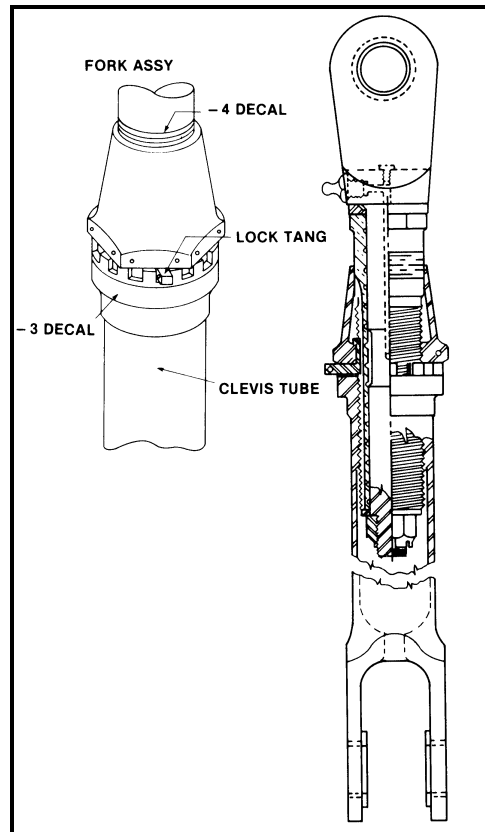
#### 4.4.4. Η Μέθοδος της Προανίχνευσης (Pretrack Method).

Ένας τουλάχιστον κατασκευαστής χρησιμοποιεί την μέθοδο της προανίχνευσης για έλεγχο του ίχνους των πτερυγίων του ελικοπτέρου του. Με αυτή την μέθοδο, η πτέρυγα συγκρίνεται με μία πρότυπο πτέρυγα στο εργοστάσιο και δοκιμάζεται σε έναν έλεγχο περιστροφής (spin test). Η ράβδος αλλαγής βήματος ρυθμίζεται σε αυτή την στιγμή έτσι ώστε η πτέρυγα να «πετάει» στο ίδιο επίπεδο περιστροφής με την πρότυπο πτέρυγα. Το ποσό της ρύθμισης καταγράφεται και σημαδεύεται στην ρίζα της πτέρυγας (σχ. 4.43).



Σχ. 4.43 Καταγραφή βαθμού ρύθμισης στην πτέρυγα

Οι ράβδοι αλλαγής βήματος στρέφονται σε ένα προκαθορισμένο μήκος και σταθεροποιούνται έτσι ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στις σημαδεμένες μετρήσεις (σχ. 4.44).



Σχ. 4.44 Μηχανισμός αλλαγή βήματος για την μέθοδο προανίχνευσης.

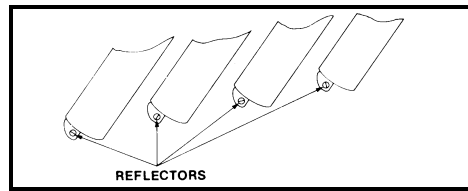
Όταν μία καινούργια πτέρυγα εγκαθίσταται, το σωστό μήκος τίθεται στην ράβδο αλλαγής βήματος και η πτέρυγα έχει αμέσως ανιχνευθεί, με την προϋπόθεση φυσικά ότι δεν υπάρχουν άλλα προβλήματα που να επηρεάζουν το ίχνος της.

Ένας άλλος κατασκευαστής χρησιμοποιεί ένα παρόμοιο σύστημα με την μέθοδο της προανίχνευσης. Στις πτέρυγες εκτελείται έλεγχος περιστροφής στο εργοστάσιο και σημαδεύονται. Σε αυτό το χρονικό διάστημα οι πτέρυγες σημαδεύονται στην ρίζα τους με το μήκος της ράβδου αλλαγής βήματος να αλλάζει από το κέντρο της. Σε αυτό το σύστημα, δεν είναι απαραίτητα άλλα σημάδια για την ρύθμιση της ράβδου αλλαγής βήματος έτσι ώστε να διατηρηθεί η σωστή γωνία προσβολής για την συγκεκριμένη πτέρυγα για να πετάξει στο σωστό ίχνος.

#### 4.4.5. Ηλεκτρονικό Σύστημα Strobe (Στροβοσκόπιο).

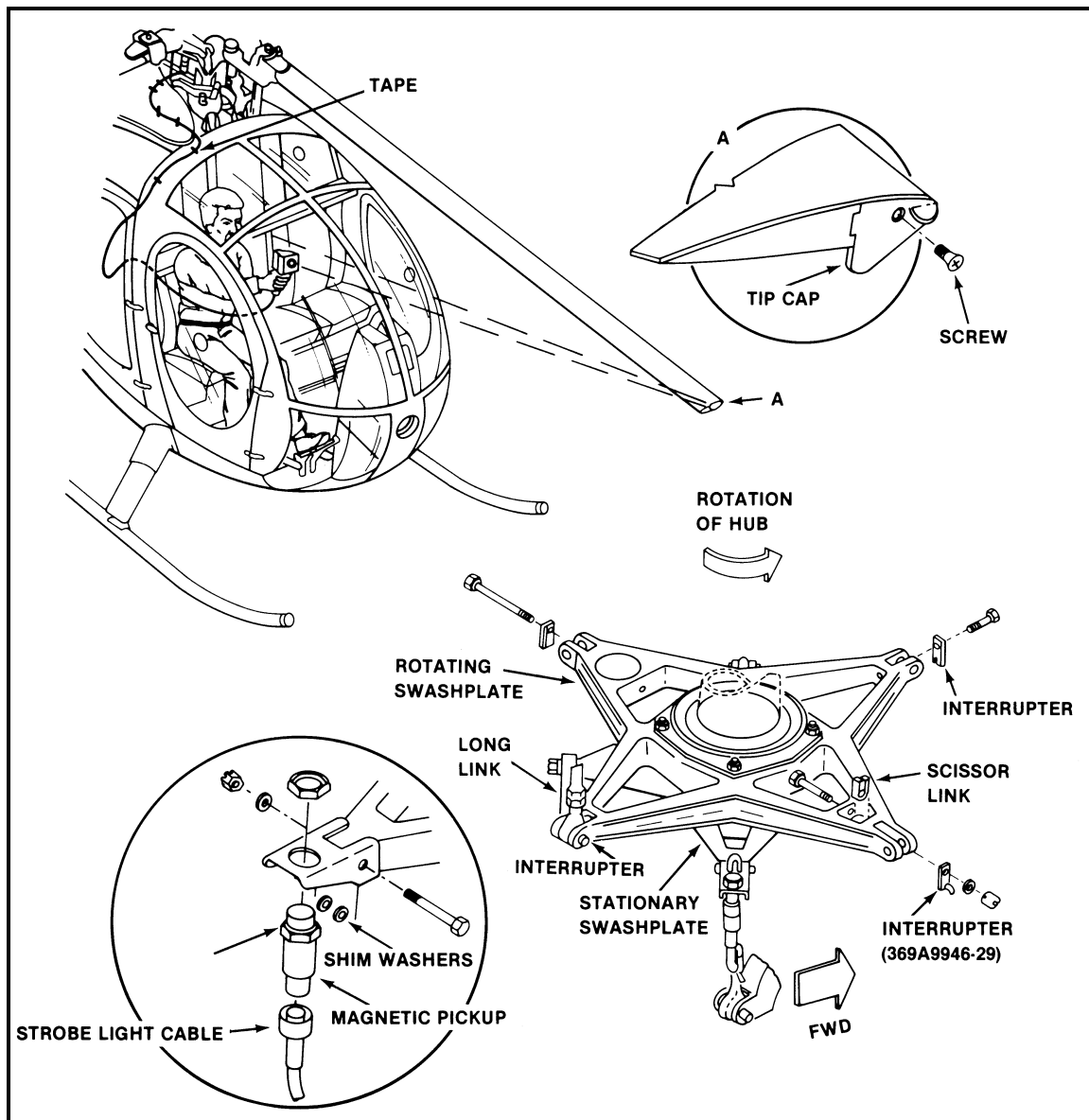
Το ηλεκτρονικό σύστημα Strobe, όπως και η μέθοδος της αντανάκλασης του φωτός, επιτρέπει την ανίχνευση όχι μόνο στο έδαφος, αλλά και στον αέρα (εν πτήση). Ανακλαστήρες τοποθετούνται στα ακροπτερύγια των πτερυγών, βλέποντας προς την

καμπίνα. Αυτοί οι ανακλαστήρες χρησιμοποιούν το σύστημα της ταινίας για να αναγνωρισθούν οι πτέρυγες (σχ. 4.45).



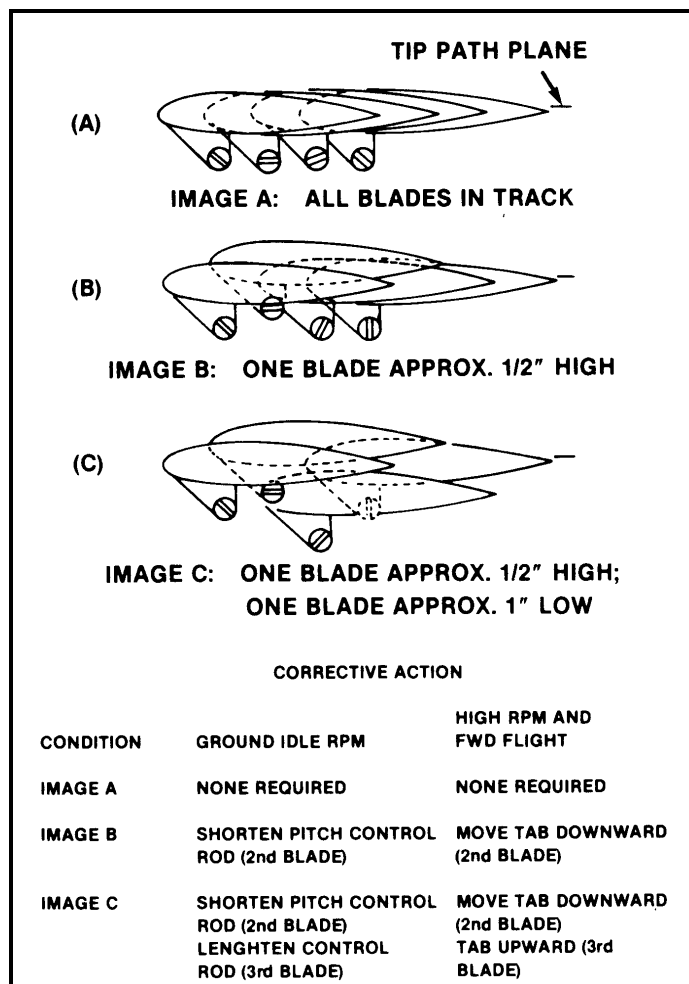
Σχ. 4.45 Ανακλαστήρες για το σύστημα Strobe.

Από την στιγμή που το μεγαλύτερο πρόβλημα στην ρύθμιση του ίχνους είναι η ανικανότητα να καθοριστεί η ακριβής θέση των πτερύγων κατά τη διάρκεια της περιστροφής, το φως του στροβοσκοπίου χρησιμοποιείται για να δούμε τους ανακλαστήρες. Αυτό το φως ενεργοποιείται με σκανδάλη μέσω ενός παρεμβολέα που τοποθετείται πάνω στην κεκλιμένη πλάκα (swashplate) (σχ. 4.46).



Σχ. 4.46 Τυπικός διακόπτης (interrupter) Strobe και μηχανισμός pickup.

Αυτή η συσκευή επιτρέπει στο φως να ανάβει κάθε φορά που η πτέρυγα διέρχεται από ένα προκαθορισμένο σημείο, δίνοντας την εντύπωση μίας ακίνητης πτέρυγας, με τους ανακλαστήρες να επικαλύπτουν ο ένας τον άλλο (σχ. 4.47).



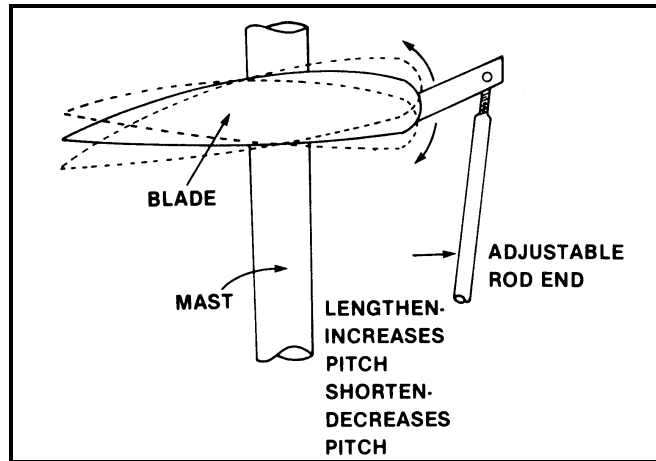
Σχ. 4.47 Είδωλα στο Strobe.

Στο σχήμα 4.47A, οι πτέρυγες είναι στο ίδιο ίχνος και καμία ρύθμιση δεν είναι αναγκαία, αλλά στο σχήμα 4.47B, η μία πτέρυγα είναι περίπου 1/2 της ίντσας ψηλότερα ενώ οι άλλες πτέρυγες είναι στο σωστό ίχνος. Στο σχήμα 4.47C φαίνεται ότι η μία πτέρυγα είναι 1/2 της ίντσας ψηλότερα, ενώ μία άλλη είναι 1 ίντσα χαμηλότερα. Οι άλλες δύο πτέρυγες είναι στο σωστό ίχνος.

Αυτή η διαδικασία για την ρύθμιση του ίχνους των πτερύγων ποικίλει αρκετά από το ένα ελικόπτερο στο άλλο. Γι' αυτό το λόγο, θα ήταν αδύνατον να συζητήσουμε μία κοινή διαδικασία για όλα τα ελικόπτερα, γι' αυτό θα καλυφτεί μόνο σε γενικές γραμμές.

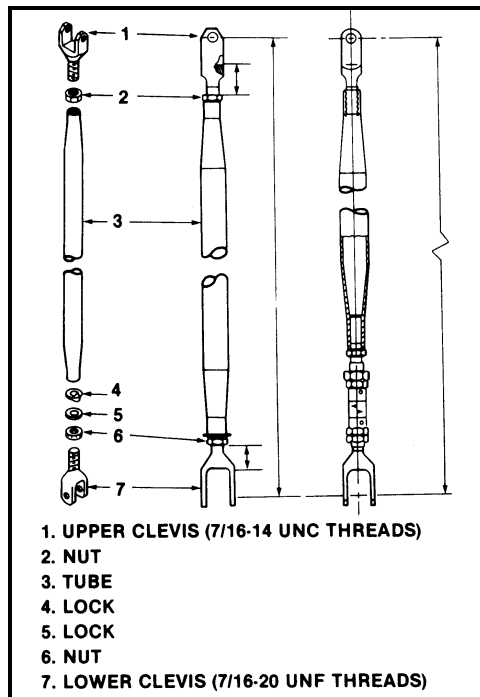
Η ανίχνευση στο έδαφος συχνά διορθώνεται με την αλλαγή της γωνίας προσβολής της κάθε πτέρυγας, μέσω της ράβδους αλλαγής βήματος (σχ. 4.48).





Σχ. 4.48 Ρύθμιση βραχίονα αλλαγής βήματος για διόρθωση της ανίχνευσης στο έδαφος

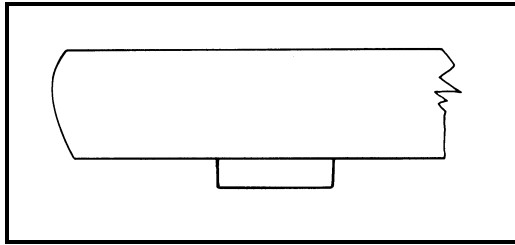
Αυτές οι ράβδοι επιμηκύνονται ή σμικρύνονται με την μετακίνηση των προσαρμογών στο τέλος της ράβδου, οι οποίες καθορίζουν για το αν η ράβδος θα υψωθεί ή θα χαμηλώσει. Σε μερικές περιπτώσεις, τοποθετούνται κοχλίες με διαφορετικά σπειρώματα σε κάθε άκρη της ράβδου, για να επιτρέψουν την ακριβή ρύθμιση του ίχνους (σχ. 4.49).



Σχ. 4.49 Σπειρώματα ράβδων αλλαγής βήματος.

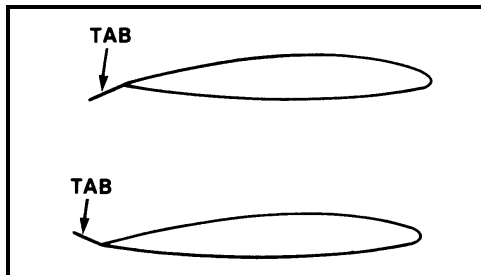
#### 4.4.6. Ζυγοσταθμιστικά Πτερύγια (Trim Tabs).

Μερικές πτέρυγες είναι εξοπλισμένες με σταθερά αντισταθμιστικά πτερύγια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την ανίχνευση στο έδαφος (σχ. 4.50).



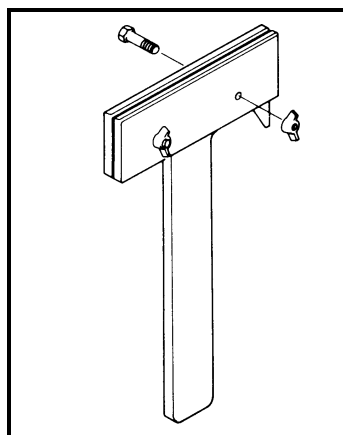
Σχ. 4.50 Αντισταθμιστικό πτερύγιο.

Αυτά τα πτερύγια είναι σταθερά προσαρμοσμένα στο χείλος εκφυγής της πτέρυγας και είναι ικανά να αλλάζουν την γωνία προσβολής της. Κάμπτοντας (δίνοντας κλίση) (σχ. 4.51) το πτερύγιο αυτό προς τα πάνω η πτέρυγα θα κινηθεί ανοδικά.



Σχ. 4.51 Διόρθωση ίχνους με το αντισταθμιστικό

Κάμπτοντας το πτερύγιο προς τα κάτω θα ωθήσει την πτέρυγα προς τα κάτω (σχ. 4.52).

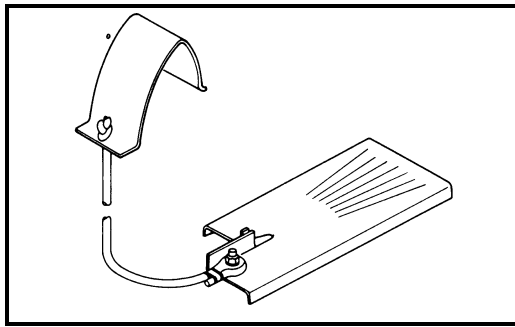


Σχ. 4.52 Ειδικό εργαλείο κάμψης αντισταθμιστικού.

Κατά τη διάρκεια όλων των καθιερωμένων διαδικασιών ανίχνευσης τα πτερύγια πρέπει να τοποθετηθούν στην ουδετέρα θέση. Αυτό θα επιτρέψει την ρύθμιση προς

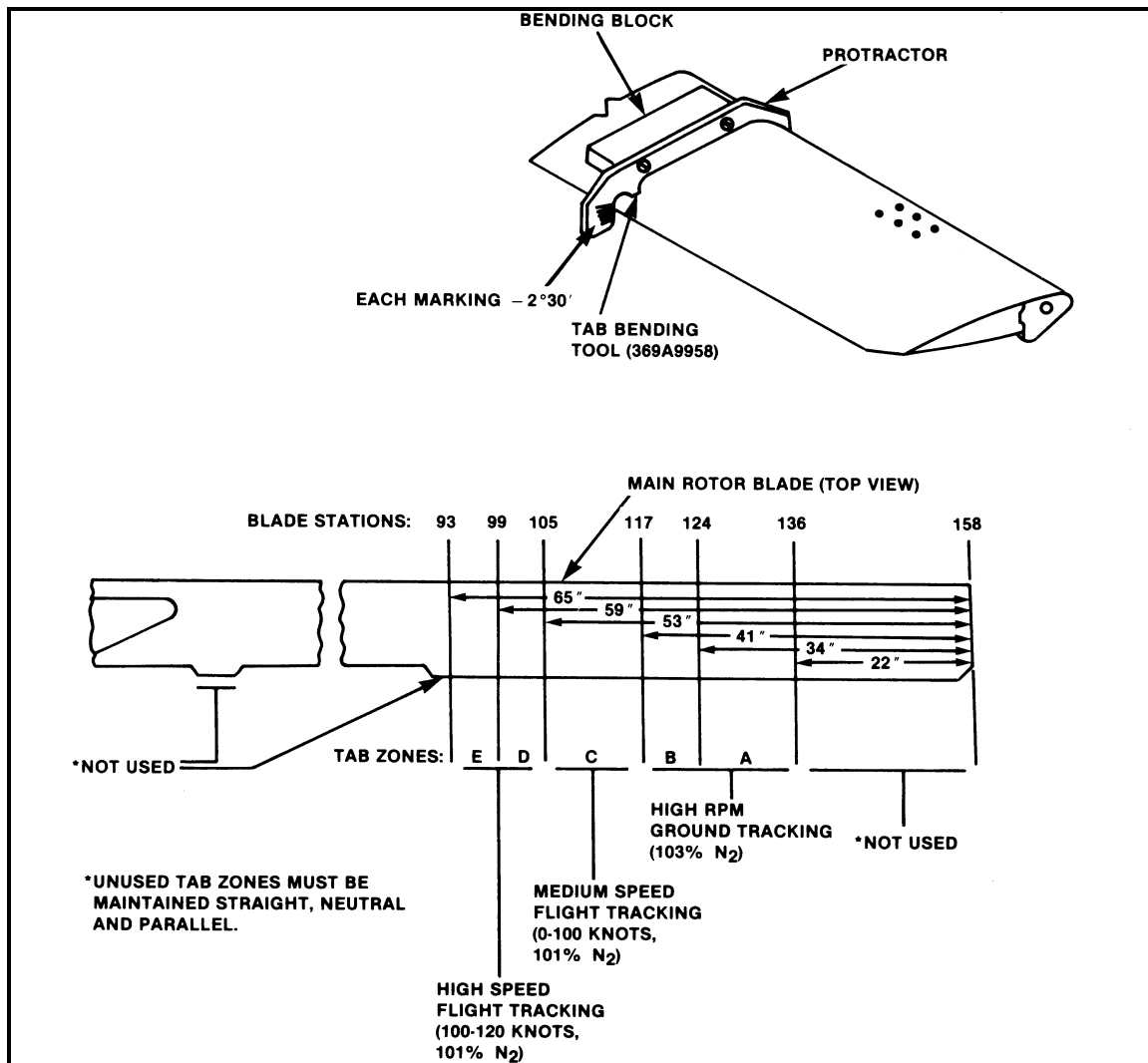
οποιαδήποτε κατεύθυνση, με ελάχιστη εκτροπή των πτερυγίων, η οποία ως γνωστόν θα δημιουργήσει και αυξημένη οπισθέλκουσα.

Το μέγεθος της κλίσης που μπορεί να καμφθεί ένα πτερύγιο είναι περιορισμένο από τον κατασκευαστή. Αν το πτερύγιο καμφθεί σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό, η θετική επίδραση του θα εξαλειφθεί λόγω της διατάραξης του οριακού στρώματος (ροής του αέρα). Γι' αυτό τον σκοπό δίδεται από τον κατασκευαστή μία συσκευή τύπου χωροβάτη (protractor type) (σχ. 4.53).



Σχ. 4.53 Ειδικός χωροβάτης για αντισταθμιστικά πτερύγια.

Σε μερικές περιπτώσεις δεν υπάρχουν αντισταθμιστικά πτερύγια και το χείλος εκφυγής της πτέρυγας απλά κάμπτεται σε ορισμένες προκαθορισμένες περιοχές για την συγκεκριμένη ταχύτητα κατά την οποία γίνεται έλεγχος του ίχνους (σχ. 4.54).



Σχ. 4.54 Το χείλος εκφυγής του πτερυγίου του Hughes 500 μπορεί να εκτρέπεται για διόρθωση του ίχνους.

#### 4.4.7. Διασταύρωση Πτέρυγας ή Ανοδική Πτέρυγας (Blade Crossover or Climbing Blade).

Κατά τη διάρκεια της ανίχνευσης εν πτήσει, μερικές φορές προκύπτει διασταύρωση πτέρυγας ή κατάσταση ανοδικής πτέρυγας. Αυτοί οι δύο όροι είναι συνώνυμοι και πολύ απλά σημαίνουν ότι παρόλο που οι πτέρυγες ανιχνεύθηκαν επιτυχώς στο έδαφος και στο υπόστεγο, δεν ανιχνεύονται το ίδιο επιτυχώς κατά τη διάρκεια της πτήσεως προς τα εμπρός. Η μια πτέρυγα παρουσιάζεται να πετάει ψηλότερα από την άλλη. Αυτό συμβαίνει λόγω της ελαστικότητας της συγκεκριμένης πτέρυγας. Το πρόβλημα αυτό είναι πιο συνηθισμένο στις ξύλινες πτέρυγες παρά στις μεταλλικές.

Αν κανένα άλλο σύστημα εκτός από την μέθοδο του καλαμιού και της σημαίας δεν είναι διαθέσιμο, είναι απαραίτητη μία ανίχνευση σε χαμηλή ταχύτητα. Το ελικόπτερο απλά κινείται με προκαθορισμένη ταχύτητα στο έδαφος και ελέγχεται το ίχνος του. Η χαμηλή πτέρυγα κατά τον έλεγχο του ίχνους στο έδαφος, είναι η υψηλή πτέρυγα κατά την πτήση. Θα χρειαστεί μία τουλάχιστον περιστροφή της λαβίδας

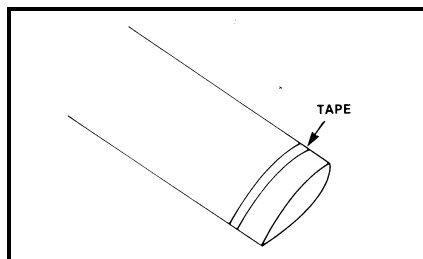
στήριξης της πτέρυγας (grip) έτσι ώστε το ελικόπτερο να πετάξει σε σωστό ίχνος σε εμπρόσθια πτήση).

Οι ρυθμίσεις του ίχνους, όπως και πολλές άλλες ρυθμίσεις που είναι διαθέσιμες στον μηχανικό, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με σωστή κρίση και δεν πρέπει να θεωρούνται σαν την μόνη θεραπεία για της χαμηλής συχνότητας κάθετες δονήσεις. Από την στιγμή που το σωστό ίχνος έχει επιτευχθεί και κανένα παρελκόμενο που μπορεί να επιδράσει πάνω στο ίχνος δεν έχει αντικατασταθεί, δεν υπάρχει ανάγκη για περιοδικές ρυθμίσεις του ίχνους. Αν παρόλα αυτά οι δονήσεις εξακολουθούν να υφίστανται, τα παρελκόμενα και τα χειριστήρια θα πρέπει να επιθεωρηθούν προσεκτικά για αστοχίες (βλάβες) και φθορές πριν επιχειρηθεί καμία νέα ρύθμιση του ίχνους.

#### **4.5 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΥΡΙΩΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ (SPANWISE DYNAMIC BALANCE OF MAIN ROTOR)**

Αφού το σύστημα του στροφείου έχει ζυγοσταθμισθεί στατικά και έχει εγκατασταθεί, μπορεί να χρειαστεί να το ζυγοσταθμίσουμε και δυναμικά. Καμία ενέργεια δεν πρέπει να γίνει στην δυναμική ζυγοστάθμιση χωρίς πρώτα να ελεγχθεί το ίχνος. Για το μεγαλύτερο μέρος, αν δεν είναι διαθέσιμος ηλεκτρονικός εξοπλισμός για την ζυγοστάθμιση, η διαδικασία είναι η μέθοδος της δοκιμής και λάθους (trial and error).

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται πιο συχνά για την εγκάρσια ζυγοστάθμιση είναι να τοποθετηθεί μία ταινία στις πτέρυγες και να αισθανθούμε τα αποτελέσματα του πρόσθετου βάρους που τοποθετήθηκε στην πτέρυγα από την ταινία. Συνήθως ο κατασκευαστής διευκρινίζει το πλάτος της ταινίας και τον αριθμό των περιτυλιγμάτων της για να είναι ανάλογα στο επιπρόσθετο βάρος που απαιτείται. Ακόμα και σε ένα δίφυλλο σύστημα κύριου στροφείου, μπορεί να απαιτηθεί ένας μεγάλος αριθμός από εκκινήσεις και σταματήματα του στροφείου πριν μειωθεί το επίπεδο δονήσεων στο επιθυμητό. Η τυπική διαδικασία είναι η τοποθέτηση δύο ή τριών περιτυλιγμάτων σημαδεμένης ταινίας πάνω στην πτέρυγα, κοντά στο ακροπτερύγιο (σχ. 4.55).



Σχ. 4.55 Τοποθέτηση ταινίας για εγκάρσια ζυγοστάθμιση.

Ύστερα, θέτουμε σε λειτουργία το ελικόπτερο και προσθέτουμε επιπλέον περιτυλιγμάτα ταινίας, αν χρειαστεί. Αν η δόνηση γίνει χειρότερη, αφαιρούμε την ταινία και την βάζουμε στην αντίθετη πτέρυγα. Όταν επιτευχθεί το ελάχιστο επίπεδο δονήσεων, το αντίστοιχο βάρος της ταινίας προστίθεται στην πτέρυγα, είτε στον θύλακα

του ακροπτερυγίου, είτε στους συγκρατητικούς κοχλίες της, όπως απαιτείται από τον κατασκευαστή.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, συχνά είναι δύσκολο να καθορίσουμε την διαφορά μεταξύ του προβλήματος που προέρχεται από την ζυγοστάθμιση κατά μήκος του εκπετάσματος ή κατά μήκος της χορδής. Δεν είναι ασυνήθιστο να υπάρχουν και τα δύο είδη δονήσεων, την ίδια στιγμή. Γι' αυτό τον λόγο, μπορεί να κριθεί απαραίτητο να γίνουν και άλλες διορθώσεις μετά την μείωση των δονήσεων κατά μήκος του εκπετάσματος. Δεν είναι επίσης ασυνήθιστο να εμφανιστεί μία νέα δόνηση όταν η προηγούμενη δόνηση εξαλειφθεί. Αυτό είναι συνηθισμένο γιατί μία χαμηλή δόνηση μπορεί να παραμένει κρυμμένη κάτω από την παρουσία μίας πολύ πιο ισχυρής δόνησης.

Σε κάθε περίπτωση, η εγκάρσια ζυγοστάθμιση πρέπει να ολοκληρωθεί, ειδικά όταν αντικαθίστανται κεφαλές και πτέρυγες. Όπως και όλες οι ρυθμίσεις στο ελικόπτερο, έτσι και η ζυγοστάθμιση πρέπει να γίνεται με σύνεση και δεν πρέπει να επιχειρείται σαν μοναδική θεραπεία για όλα τα προβλήματα δονήσεων.

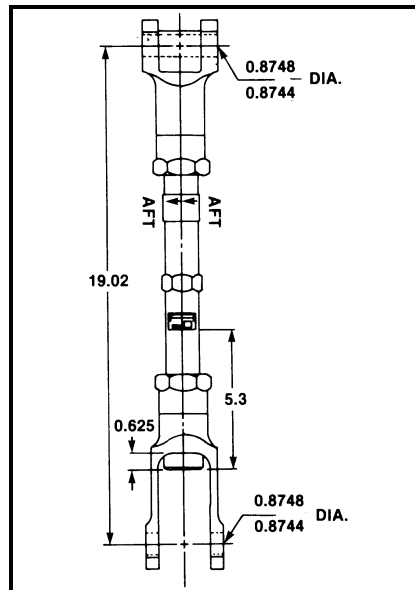
#### **4.6 BLADE SWEEPING (ΣΑΡΩΣΗ Ή ΟΠΙΣΘΟΚΛΙΣΗ ΠΤΕΡΥΓΑΣ)**

Το blade sweeping είναι μία διαδικασία που χρησιμοποιείται μετά την εγκατάσταση νέων πτερύγων, κεφαλής, ή κύριων παρελκομένων της κεφαλής. Αυτή η διαδικασία γίνεται μόνο σε ημιαρθρωτά συστήματα στροφείου και μόνο μετά τη διαδικασία ευθυγράμμισης της πτέρυγας. Το blade sweeping γίνεται για να επιτευχθεί η δυναμική ζυγοστάθμιση κατά μήκος της χορδής και δεν είναι πάντα απαραίτητο μετά την επίτευξη της στατικής ζυγοσταθμίσεως. Η ένδειξη απαίτησης για blade sweeping είναι παρόμοια με αυτήν της εγκάρσιας ζυγοστάθμισης. Μία 1:1 πλάγια δόνηση από το κύριο στροφείο είναι πάντα μία ένδειξη μίας μη ζυγοσταθμισμένης κατάστασης. Είναι όμως πολύ δύσκολο να καθοριστεί το αν αυτή η δόνηση είναι κατά μήκος της χορδής ή κατά μήκος του εκπετάσματος.

Οι κατασκευαστές αναφέρουν ότι αν η δόνηση γίνει μεγαλύτερη σε εύρος με μία αύξηση λειτουργίας του στροφείου (από χαμηλές σε υψηλές στροφές), το πρόβλημα είναι κατά μήκος του εκπετάσματος. Αν το εύρος της δόνησης παραμένει το ίδιο σε όλη την ακτίνα αύξησης των στροφών λειτουργίας, το πρόβλημα είναι κατά μήκος της χορδής. Αυτό μπορεί να γίνει ή να μην γίνει αντιληπτό από τον τεχνικό. Άλλες ενδείξεις μη ζυγοστάθμισης κατά μήκος της χορδής είναι ένα κλώτσημα του στροφείου κατά την πτήση και βαρύ συλλογικό χειριστήριο (collective). Είτε το ένα, είτε το άλλο, ή και τα δύο μαζί, μπορούν να δείξουν την ανάγκη για sweeping στις πτέρυγες.

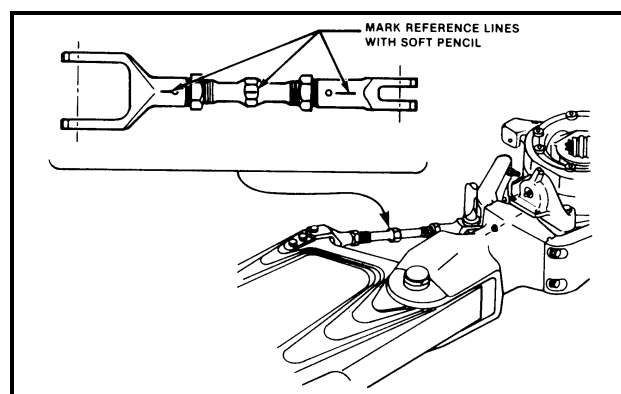
Η διαδικασία για sweeping των πτερύγων είναι αρκετά απλή και περιλαμβάνει την μετακίνηση της μίας ή και των δύο τμημάτων των πτερύγων προς τα πίσω ως προς τον άξονα παλινδρόμησης, ο οποίος παραμένει σταθερός μέσω του βραχίονα οπισθέλκουσας (drag brace) ή από συγκρατητικούς κοχλίες, ανάλογα από τον τύπο της κεφαλής του στροφείου, για να διατηρηθεί η ζυγοστάθμιση κατά μήκος της χορδής. Όταν επιτευχθεί η καθορισμένη ευθυγράμμιση, οι πτέρυγες μπορούν να μετακινηθούν μόνο προς τα πίσω χωρίς να επηρεάσουν την ευστάθεια του ελικοπτέρου. Γι' αυτό τον

λόγο, πολλοί βραχίονες οπισθέλκουσας σημάδεύονται με ένα βέλος για να προσδιορίζεται έτσι η εμπρόσθια κίνηση (σχ. 4.56).



Σχ. 4.56 Σημάδεμα ράβδου οπισθέλκουσας για ρυθμίσεις.

Αλλά εκτός από την ηλεκτρονική ζυγοστάθμιση, δεν υπάρχει σίγουρα κανένα σύστημα που να καθορίζει ποια πτέρυγα πρέπει να μετακινηθεί ή πόση μετακίνηση είναι απαραίτητη. Ίσως χρειαστεί παραπάνω από μία ρύθμιση έτσι ώστε να επιτευχθεί η σωστή ζυγοστάθμιση. Ίσως ακόμη χρειαστεί να επιστρέψει η μια πτέρυγα στην αρχική της θέση και να μετακινηθεί η απέναντι πτέρυγα. Γι' αυτό τον λόγο, είναι πάρα πολύ σημαντικό να σημάδευτή η αρχική ευθυγράμμιση πριν ξεκινήσουμε οποιαδήποτε διαδικασία (σχ. 4.57).



Σχ. 4.57 Οι βραχίονες οπισθέλκουσας πρέπει να σημάδεύονται πριν από τη διαδικασία ρύθμισης.

Οι μετατοπίσεις κατά τη διαδικασία του blade sweeping πρέπει να είναι μικρές καθώς η οποιαδήποτε αλλαγή στο βραχίονα οπισθέλκουσας πολλαπλασιάζεται αρκετές φορές στο ακροπτερύγιο.

## Η βασική διαδικασία για την ρύθμιση της ζυγοσταθμίσεως κατά μήκος της χορδής είναι η εξής :

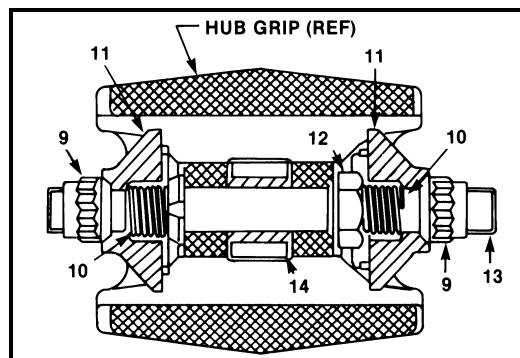
**Βήμα 1ο:** Σημαδεύετε το βραχίονα οπισθέλκουσας με ένα μαλακό μολύβι ή με έναν μαρκαδόρο.

**Βήμα 2ο:** Μικρύνετε το μήκος του βραχίονα οπισθέλκουσας χαλαρώνοντας τους ασφαλιστικούς κοχλίες και περιστρέφοντάς τον. Θυμηθείτε ότι μικραίνοντας το μήκος του βραχίονα οπισθέλκουσας, η πτέρυγα κινείται προς τα πίσω. Αυτή η ελάττωση του μήκους πρέπει να κρατηθεί σε μικρά επίπεδα. Η μετακίνηση αυτή στις πιο πολλές κεφαλές είναι εξαιρετικά περιορισμένη.

**Βήμα 3ο:** Ξανασφίξτε τους ασφαλιστικούς κοχλίες και λειτουργήστε το ελικόπτερο. Αν η δόνηση μειωθεί σε ένα αποδεκτό επίπεδο, δεν είναι απαραίτητη καμία περαιτέρω ρύθμιση. Αν η δόνηση χειροτερέψει, επιστρέψτε την πτέρυγα στην αρχική της θέση και επαναλάβετε το Βήμα 2 στην αντίθετη πτέρυγα. Αν η δόνηση ελαττωθεί, αλλά ακόμα δεν είναι αποδεκτή, επαναλάβετε την διαδικασία, χρησιμοποιώντας την μισή περιστροφή και στις δύο πτέρυγες, μέχρις ότου η δόνηση μειωθεί.

Η ίδια διαδικασία χρησιμοποιείται όταν υπάρχει μία μη σταθερή κατάσταση σε ένα ημιαρθρωτό σύστημα κεφαλής, δηλαδή όταν και οι δύο πτέρυγες έχουν μετακινηθεί πολύ προς τα μπροστά και η σχέση του κέντρου βάρους και του κέντρου πίεσεως είναι λανθασμένη. Αυτή η κατάσταση είναι επικίνδυνη και μπορεί να αναγνωριστεί από κλώτσημα του στροφείου κατά την εμπρόσθια πτήση. Για να διορθωθεί αυτή η κατάσταση, και οι δύο πτέρυγες πρέπει να μετακινηθούν προς τα πίσω στο ίδιο ποσοστό.

Ένα ημιαρθρωτό στροφείο ελικοπτέρου το οποίο δεν φέρει βραχίονες οπισθέλκουσας είναι το Bell 206 Jet Ranger. Αυτό το ελικόπτερο έχει ασφαλιστικούς κοχλίες (latch pins). Στην ρύθμιση του sweep της πτέρυγας σε αυτό το ελικόπτερο, χρησιμοποιούνται οι ίδιες βασικές αρχές με τα υπόλοιπα. Η πτέρυγα μπορεί να μετακινηθεί μόνο προς τα πίσω και ο ασφαλιστικός κοχλίας ρυθμίζεται όπως και οι βραχίονες οπισθέλκουσας. Αυτές οι ρυθμίσεις είναι πολύ ευαίσθητες και είναι της τάξεως της μετακίνησης κατά ένα σπείρωμα σε κοχλία δώδεκα σπειρών. Ένα σύνολο μετακίνησης τριών σπειρών είναι το ανώτερο που μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς να επανα-ευθυγραμμιστούν οι πτέρυγες (σχ. 4.58).



Σχ. 4.58 Ασφαλιστικός κοχλίας για sweep του Bell 206 Jet Ranger

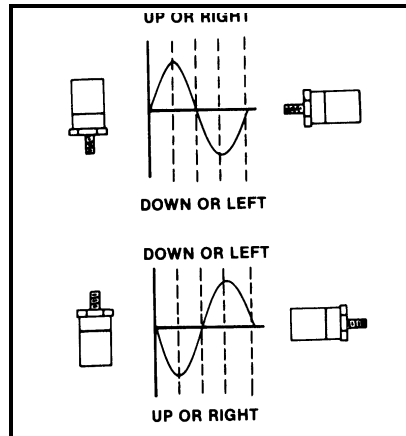


## 4.7 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ (ELECTRONIC BALANCING)

Η εξέλιξη στην ανάλυση των δονήσεων στο ελικόπτερο είναι η ηλεκτρονική ζυγοστάθμιση. Αυτός ο εξοπλισμός όχι μόνο έχει αφαιρέσει τη διαδικασία του να μαντέψεις για να λύσεις τα προβλήματα των δονήσεων, αλλά δίνει επίσης τη δυνατότητα στο προσωπικό συντήρησης να καθορίζει νέα χαμηλά επίπεδα δονήσεων που προηγουμένως ήταν δυνατόν να επιτευχθούν παρά μόνο κατά λάθος.

Η δόνηση γίνεται αισθητή μέσω της χρήσεως ενός επιταχυνσιόμετρου (accelerometer). Αυτή η συσκευή είναι πιεσοηλεκτρικού τύπου (piezoelectric), που σημαίνει ότι ο αισθητήρας είναι ένας σφαιρικός κρύσταλλος που παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα όταν συστέλλεται και διαστέλλεται. Οι κρύσταλλοι συμπιέζονται μεταξύ μίας βάσης και μίας εσωτερικής μάζας. Αυτή η συγκεκριμένη μάζα είναι φτιαγμένη από βολφράμιο (tungsten) και είναι πιο συμπαγής από το μολύβι. Όταν η άτρακτος δονείται, το επιταχυνσιόμετρο κινείται σαν μία μονάδα, προκαλώντας μετακίνηση στην μάζα έτσι ώστε να συμπιέσει τον κρύσταλλο, παράγοντας μία εναλλασσόμενη τάση σε κάθε κύμα δόνησης. Αυτό το σήμα φιλτράρεται ηλεκτρονικά για να εξουδετερώσει κάθε άλλη δόνηση που μπορεί να γίνει αισθητή, καθώς το επιταχυνσιόμετρο δεν μπορεί να ξεχωρίσει τις δονήσεις. Για παράδειγμα, αν έχουν εμφανιστεί δονήσεις στο κύριο στροφείο και το κύριο στροφείο λειτουργεί σε εύρος 325 rpm, θα ήταν επιθυμητό να εξουδετερώσουμε όλες τις δονήσεις που υπάρχουν στις άλλες περιοχές. Αυτό επιτυγχάνεται με το φιλτράρισμα όλων των δονήσεων που προέρχονται από τον κινητήρα, τους άξονες, και τους τριβείς που επίσης περιστρέφονται, αλλά δεν ενδιαφέρουν τον χειριστή που ψάχνει το επίπεδο δονήσεως μόνο του κυρίως στροφείου. Αφού ο παλμός φιλτραριστεί, μετατρέπεται σε ένδειξη που παρουσιάζει τη δόνηση σε Ίντσες Ανά Δευτερόλεπτο (IPS) μετατόπιση. Αυτή η μετακίνηση δείχνει την ένταση της δόνησης του κύριου στροφείου. Ο σκοπός τώρα είναι να μειώσουμε αυτή τη δόνηση στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο. Δεν είναι ασυνήθιστο να επιτυγχάνουμε επίπεδο .1 IPS ή και λιγότερο.

Για να καθορίσουμε το σημείο από το οποίο προέρχεται η δόνηση σε σχέση με το στροφείο, πρέπει να καθοριστεί η γωνία φάσης (phase angle) ή γωνία του ρολογιού. Αυτός ο καθορισμός θα μας δείξει και τα απαραίτητα βήματα για την μείωση του επιπέδου της δόνησης. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα σήμα που λαμβάνουμε από έναν μαγνητικό συλλέκτη (magnetic pick-up) παλμών και από το φιλτραρισμένο σήμα του επιταχυνσιόμετρου. Ο μαγνητικός συλλέκτης είναι τοποθετημένος στο σταθερό τμήμα της κεκλιμένης πλάκας (swashplate) και με τους διακόπτες (interrupters) τοποθετημένους στο περιστρεφόμενο τμήμα της. Σε κάθε περιστροφή του στροφείου, οι μαγνητικές γραμμές του συλλέκτη διαταράσσονται και έτσι προκύπτει ο παλμός (σχ. 4.59).



Σχ. 4.59 Παράλληλο επιταχυνσιόμετρο.

Μαζί με το φιλτραρισμένο σήμα του επιταχυνσιόμετρου, χρησιμοποιείται για να ανάψει ένα δακτύλιο αποτελούμενο από 24 φωτάκια στον τομέα ενδείξεων της συσκευής. Ο δακτύλιος με τα φωτάκια αντιπροσωπεύει ένα ρολόι, με διαβαθμίσεις ανά μισή ώρα, και με τις θέσεις 12 και 6 ώρα να βρίσκονται στην κορυφή και στον πάτο αντίστοιχα. Με την ένταση της δόνησης σε IPS και την γωνία του ρολογιού στους λαμπτήρες φάσης, η δόνηση εμφανίζεται γραφικά και έτσι μπορούν να καθοριστούν οι διορθωτικές ενέργειες.

Χρησιμοποιώντας την συσκευή που κατασκευάστηκε από την εταιρία Chadwick-Helmuth Co., Inc. (πλέον Honeywell), έχουν σχεδιαστεί πίνακες για συγκεκριμένους τύπους ελικοπτέρων. Ο συγκεκριμένος πίνακας 4.60 αντιπροσωπεύει το κύριο στροφείο ενός ημιαρθρωτού συστήματος στροφείου.

**BALANCE CHART #3730**  
**For WHIRLIGIG, Model 10**  
**MAIN ROTOR (Huey configuration)**

Date \_\_\_\_\_

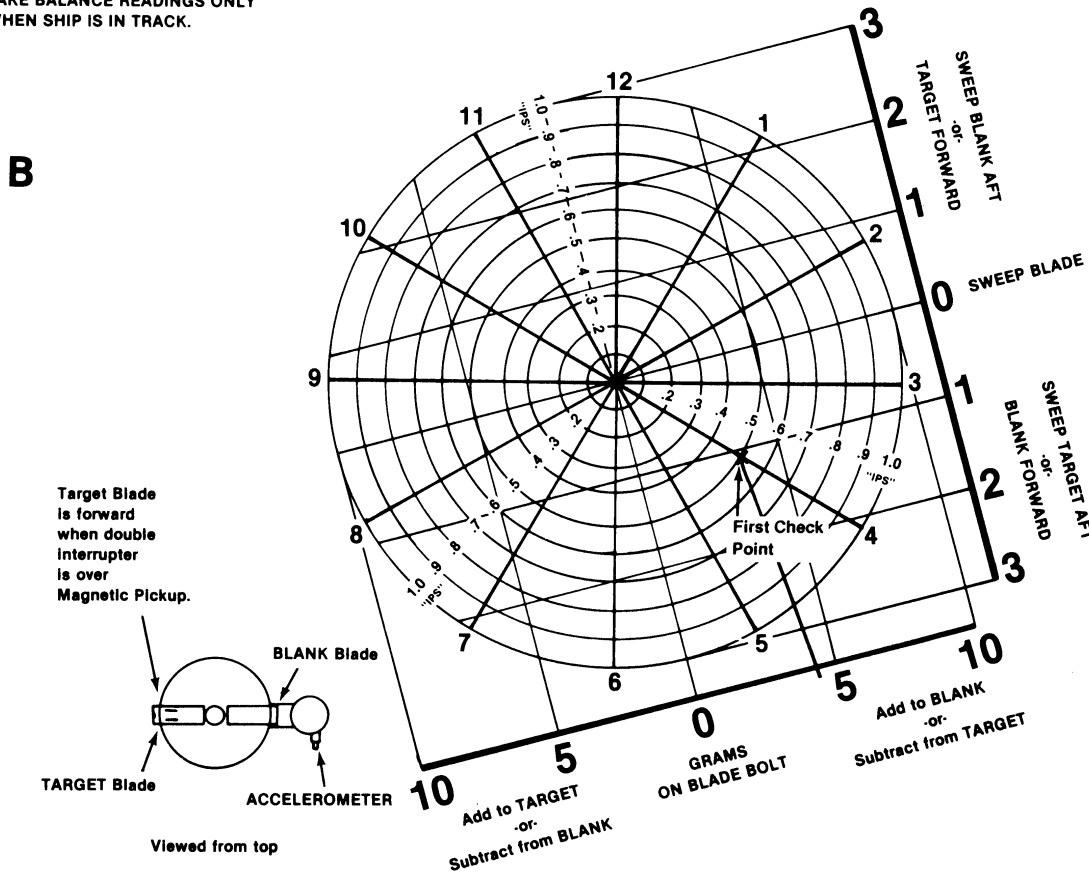
Serial No. \_\_\_\_\_

		1st Run	2nd Run	3rd Run	4th Run	5th Run
<b>A</b>	TRACK					
	Clock Angle					
	READINGS "IPS"					
<b>C</b>	MOVE	GRAMS ON TARGET BOLT				
		GRAMS ON BLANK BOLT				
		SWEEP TARGET BLADE AFT				
		SWEEP BLANK BLADE AFT				

NEVER SWEEP  
 BLADE FORWARD  
 OF SCOPED OR  
 STRUNG POSITION

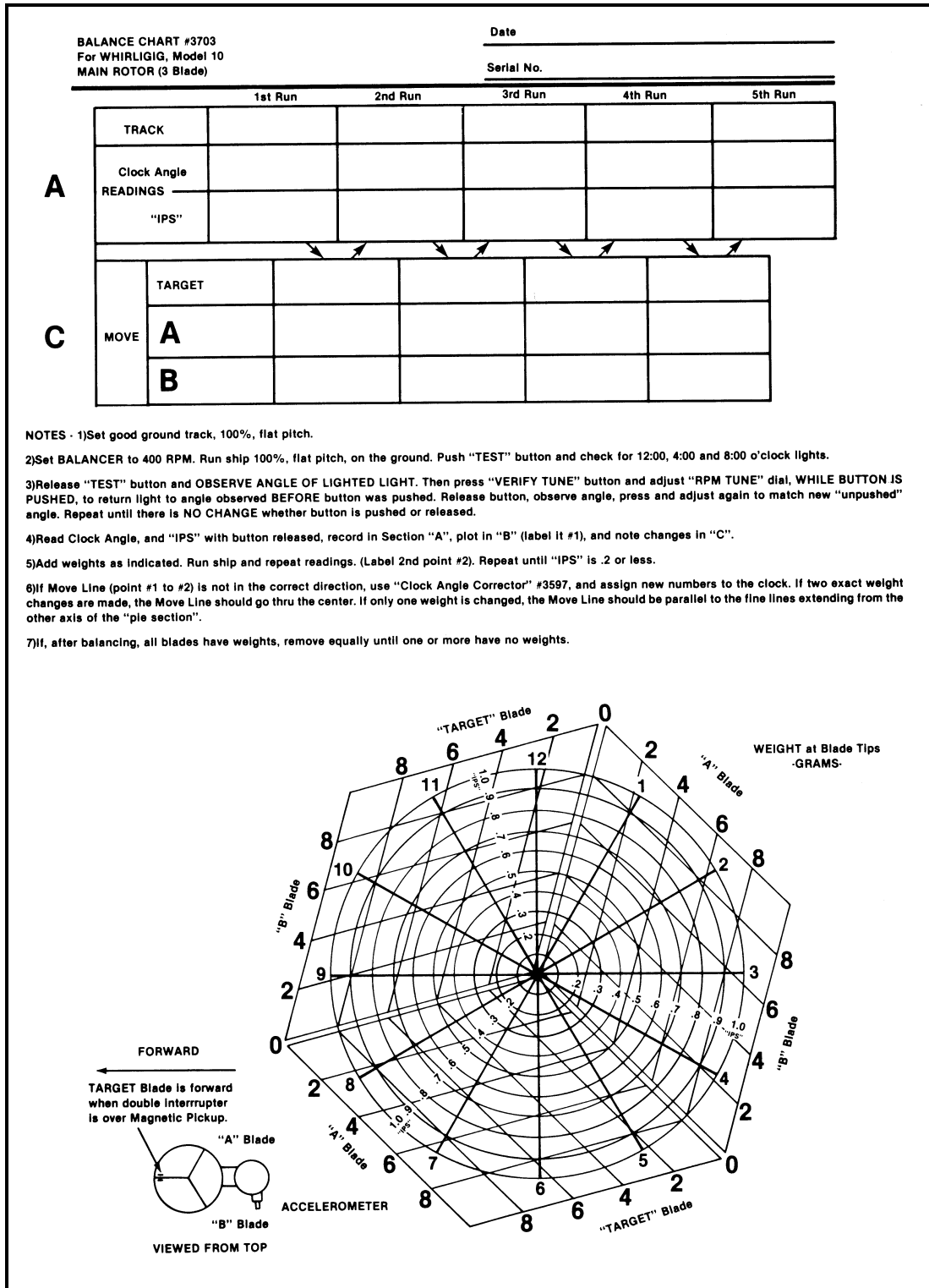
- NOTES - 1) Set tabs at trail. Adjust for good track at 100%, flat pitch, on the ground, using pitch link only.
- 2) Set BALANCER to 400 RPM. Push "TEST" button and check that the 12:00 and 6:00 o'clock lights are lighted. Release button.
- 3) Observe Clock Angle of lighted light, then press "VERIFY TUNE" button. Adjust "RPM TUNE" dial WHILE BUTTON IS PUSHED to return light to angle observed BEFORE BUTTON WAS PUSHED. Release button, observe angle, press and adjust again to match new "unpushed" angle. Repeat until there is NO CHANGE WHETHER BUTTON IS PUSHED OR RELEASED.
- 4) Record Clock Angle and "IPS" in section A of Chart. Plot in B (label it #1). Note indicated changes in C.
- 5) Make changes as indicated. Run ship to check result (label it point #2). Repeat as required to reduce "IPS" to .2 or less.
- 6) If "Move Line" (point #1 to #2) is not in correct direction, use "Clock Angle Corrector" #3597, and assign new numbers to clock. SEE MANUAL FOR DETAILS.

TAKE BALANCE READINGS ONLY  
 WHEN SHIP IS IN TRACK.



Σχ. 4.60 Τυπικός πίνακας διόρθωσης δονήσεων ελικοπτέρων

Το επιθυμητό είναι να μειωθεί το επίπεδο της δόνησης στο κέντρο του πίνακα. Οι διορθωτικές ενέργειες που είναι απαραίτητες δίνονται στα πλάγια και στο κάτω μέρος του πίνακα. Το κυκλικό τμήμα χρησιμοποιείται για να καταγράφεται η τάση της δόνησης σε IPS στην γωνία του ρολογιού. Για παράδειγμα, αν η δόνηση έχει ένταση .5 IPS, θα φαίνεται στον πίνακα στον πέμπτο δακτύλιο. Αν η συσκευή φάσεως τοποθετήσει τη γωνία του ρολογιού στις 4 ώρα, η δόνηση θα καταγραφεί σε ένα σημείο στις 4 ώρα στον πέμπτο ή .5 δακτύλιο του πίνακα. Με την απευθείας κίνηση μπροστά και κάτω από αυτό το σημείο, η διορθωτική ενέργεια που ενδείκνυται θα είναι να προσθέσουμε 4 γραμμάρια στην ενδεικνυόμενη πτέρυγα και να την οπισθοκλίνουμε κατά μία διαβάθμιση (σπείρωμα). Αυτές οι διαδικασίες πρέπει να επαναλαμβάνονται μέχρις ότου η δόνηση μειωθεί στο επιθυμητό επίπεδο και ίσως χρειαστούν τρεις ή περισσότερες προσπάθειες για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός. Ένα κάπως διαφορετικό σχεδιάγραμμα χρησιμοποιείται σε ένα πολύφυλλο στροφέιο, αλλά η σχεδιαστική διαδικασία είναι βασικά η ίδια. Καμία διόρθωση δεν γίνεται για οπισθόκλιση από την στιγμή που δεν υπάρχουν ρυθμίσεις στην πλήρως αρθρωτή κεφαλή. Όλες οι δυναμικές ζυγοσταθμίσεις θα γίνουν με την πρόσθεση ή την αφαίρεση βάρους (σχ. 4.61).



Σχ. 4.61 Τυπικός πίνακας μέτρησης δονήσεων για πολυπτερυγα συστήματα ελικοπτέρων.

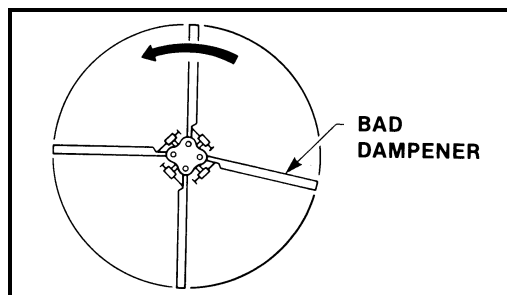
Κατά καιρούς, μετά την πρώτη ρύθμιση, η δόνηση γίνεται χειρότερη αντί να καλύτερευει. Σε αυτή την περίπτωση ο πίνακας θα χρειαστεί διόρθωση. Αφού ο πίνακας αντιπροσωπεύει το καλύτερο μέσο δείγμα από πολλά παραδείγματα, η διαφορά της μίας ατράκτου από την άλλη μπορεί να δημιουργήσει μία διαφορά στην διόρθωση και στο ποσό του βάρους αλλά και στην γωνία του ρολογιού. Η διόρθωση του βάρους είναι αρκετά απλή. Για παράδειγμα, αν η αλλαγή που προήλθε λόγω του βάρους μετακινήσει



1. Αν ένα ζεύγος κινήσεων γίνει ακριβώς όπως πρέπει, η κινούμενη γραμμή πρέπει να περάσει διαμέσου του κέντρου των πινάκων.
2. Αν μεταβληθεί μόνο ένα από τα δύο βάρη, η κινούμενη γραμμή θα πρέπει να είναι παράλληλη προς τις λεπτές γραμμές που εκτείνονται από το σταθερό άξονα.

## 4.8 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ

Παρόλο που οι πλήρως αρθρωτές κεφαλές δεν έχουν ρυθμίσεις βραχιόνων οπισθέλκουσας ή ευθυγράμμιση της πτέρυγας, οι πτέρυγες μπορούν να γυγγλίζονται ως προς τον άξονα παλινδρόμησης. Αυτές οι πτέρυγες έχουν αποσβεστήρες που επηρεάζουν τη θέση της προπορευόμενης ή ακολουθούσης πτέρυγας. Οι αποσβεστήρες αυτοί συναντώνται σε τρεις βασικούς τύπους. Τον υδραυλικό αποσβεστήρα, τον αποσβεστήρα πολλαπλού δίσκου, και τον ελαστομερικό αποσβεστήρα. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του ελικοπτέρου οποιοδήποτε από αυτά τα τρία συστήματα μπορεί να προκαλέσει μία μη ζυγοσταθμισμένη κατάσταση των συστημάτων του στροφείου. Για την ακρίβεια, μερικές φορές είναι δύσκολο να ξεχωρίσεις αν η δόνηση είναι κάθετη ή οριζόντια. Αυτό εξαρτάται από την θέση της προπορευόμενης και ακολουθούσης πτέρυγας σε σχέση με την άντωση που παράγεται (σχ. 4.63).

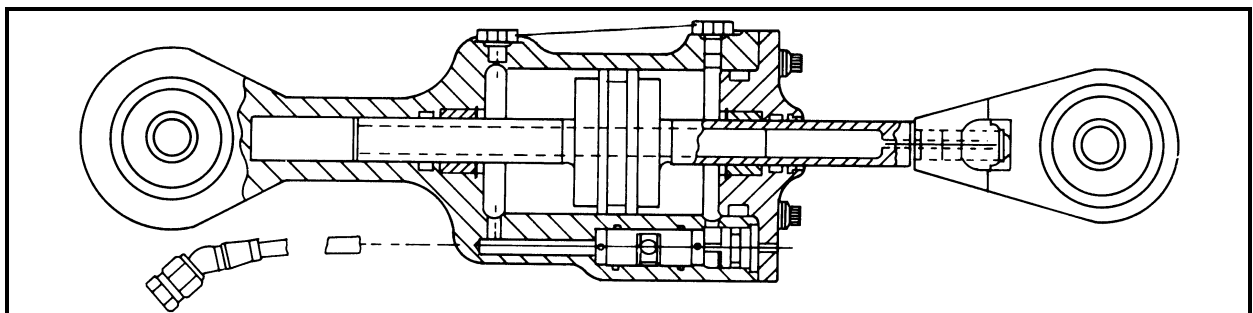


Σχ. 4.63 Εσφαλμένη θέση άξονα παλινδρόμησης.

Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα μια δόνηση που περιγράφεται καλύτερα σαν ένα suffle (σύρσιμο) με έναν 1:1 ρυθμό του στροφείου.

### 4.8.1. Υδραυλικός Αποσβεστήρας (Hydraulic Dampener)

Ο υδραυλικός αποσβεστήρας χρησιμοποιεί έναν κύλινδρο και ένα έμβολο με υγρό που περνάει διάμεσου ενός μεταβλητού ακροφυσίου. Αποσβεστήρες αυτού του τύπου είναι ρυθμιζόμενοι έτσι ώστε το εύρος της απόσβεσης να ποικίλει (σχ. 4.64).



Σχ. 4.64 Τυπικός υδραυλικός αποσβεστήρας δονήσεων.

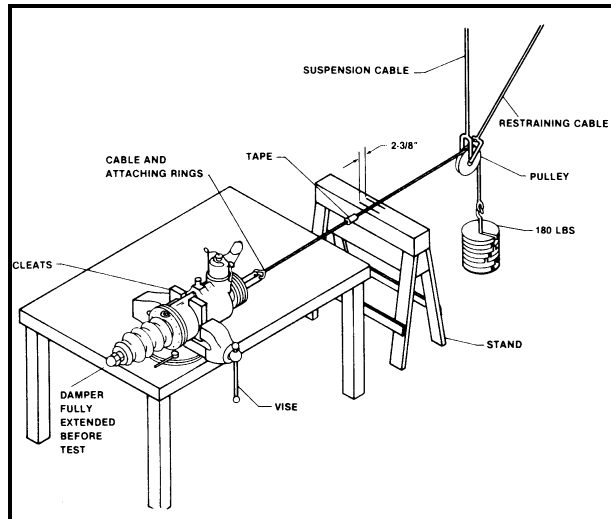
Πολλοί από τους καινούργιους αποσβεστήρες είναι σφραγισμένες μονάδες, κάνοντας έτσι τις ρυθμίσεις αδύνατες.

#### **4.8.2. Αποσβεστήρες πολλαπλών δίσκων (Multiple disk dampener)**

Ο επόμενος τύπος αποσβεστήρων χρησιμοποιεί ένα σύστημα πολλαπλών δίσκων στερεωμένων σε ένα κύλινδρο. Οι δίσκοι σκεπάζονται με υδραυλικό υγρό για λόγους λίπανσης και ψύξεώς τους. Από το κέντρο των δίσκων και του κυλίνδρου περνά ένα πολύσφηνος άξονας. Όλοι οι δίσκοι έχουν ανάλογες εγκοπές για να εφαρμόζουν στον άξονα, έτσι ώστε η κίνηση του άξονα να περιστρέφει και τους δίσκους. Ανάμεσα σε κάθε ζευγάρι δίσκων παρεμβάλεται μια πλάκα που είναι σφηνωμένη στο περίβλημα, έτσι ώστε να μην συμπαρασύρεται από την κίνηση του άξονα και των δίσκων αλλά να παραμένει ακίνητη. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε κίνηση του άξονα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τα πτερύγια του στροφείου θα προκαλεί τριβές μεταξύ του δίσκου και της πλάκας. Η ποσότητα αυτής της τριβής εξαρτάται από την ένταση ενός ελατηρίου που τοποθετείται στην κορυφή της συστοιχίας δίσκων και πλακών (σχ. 4.65).



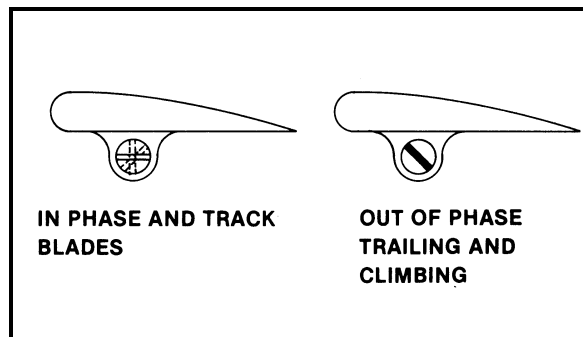




Σχ. 4.66 Έλεγχος υδραυλικού αποσβεστήρα.

Κατά τον έλεγχο αυτό τοποθετούμε συγκεκριμένο βάρος για να κινήσουμε τα πτερύγια και ελέγχουμε τον απαιτούμενο χρόνο διάρκειας της διαδρομής τους.

Ένας άλλος τύπος αποσβεστήρα ελέγχεται αφού πρώτα τον αποσυνδέσουμε από το πτερύγιο και με τη βοήθεια ειδικού ροπομέτρου, μετράμε την απαιτούμενη ροπή για να κινήσουμε τον αποσβεστήρα σε όλη την διαδρομή. Η καλύτερη μέθοδος ελέγχου αποσβεστήρα είναι με την χρήση της συσκευής Strobe που την χρησιμοποιούμε και στον έλεγχο ίχνους. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.67, αν μια πτέρυγα είναι εκτός φάσης σε σχέση με τις άλλες, παρουσιάζεται σαν ένα διάκενο μεταξύ των ομοιωμάτων.

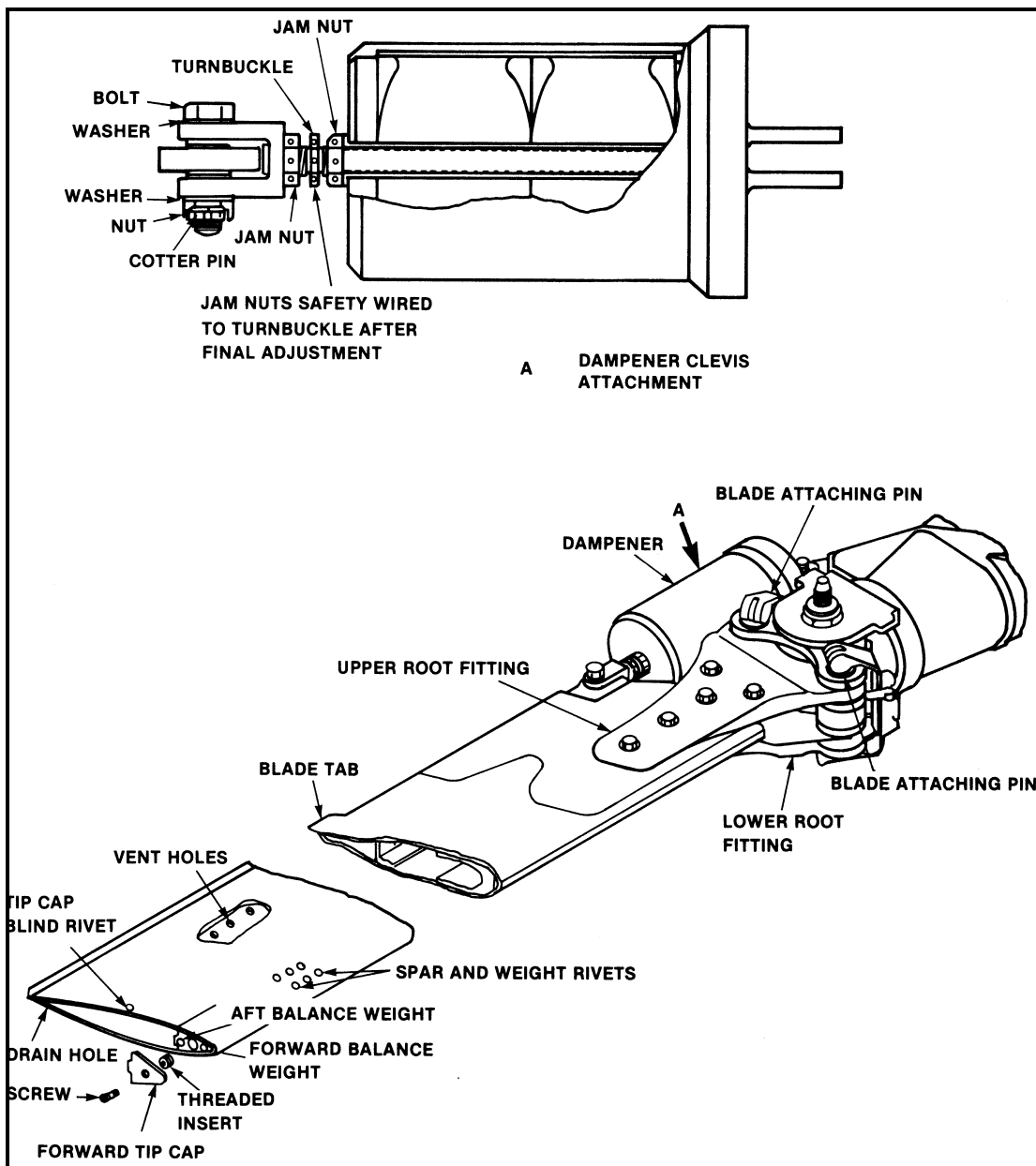


Σχ. 4.67 Μια πτέρυγα εκτός φάσης.

### 4.8.3. Ελαστομερικοί αποσβεστήρες (ELASTOMERIC DAMPENERS)

Οι ελαστομερικοί αποσβεστήρες είναι μια σχετικά νέα ανακάλυψη που παρουσιάζεται πολύ αποτελεσματική και χωρίς καμιά απαίτηση συντήρησης. Όπως και τα άλλα ελαστομερικά εξαρτήματα έτσι και οι ελαστομερικοί αποσβεστήρες είναι κατασκευασμένοι από μέταλλο και ελαστικό. Ο αποσβεστήρας αποτελείται από ένα αλουμινένιο κύλινδρο γεμισμένο με ελαστικό υλικό. Δύο κοχλίες τύπου clevis, από ένας σε κάθε άκρο, είναι τοποθετημένοι στον κύλινδρο. Ο ένας εξ αυτών είναι ρυθμιζόμενος και συνδέεται με το ελαστικό υλικό του κυλίνδρου. Ο αποσβεστήρας ενεργεί σύμφωνα με τις αρχές της υστέρησης (hysteresis). Αυτό σημαίνει ότι όταν το ελαστικό υλικό συμπιέζεται αλλάζει ανάλογα το σχήμα του, αλλά επανέρχεται σταδιακά στο αρχικό του

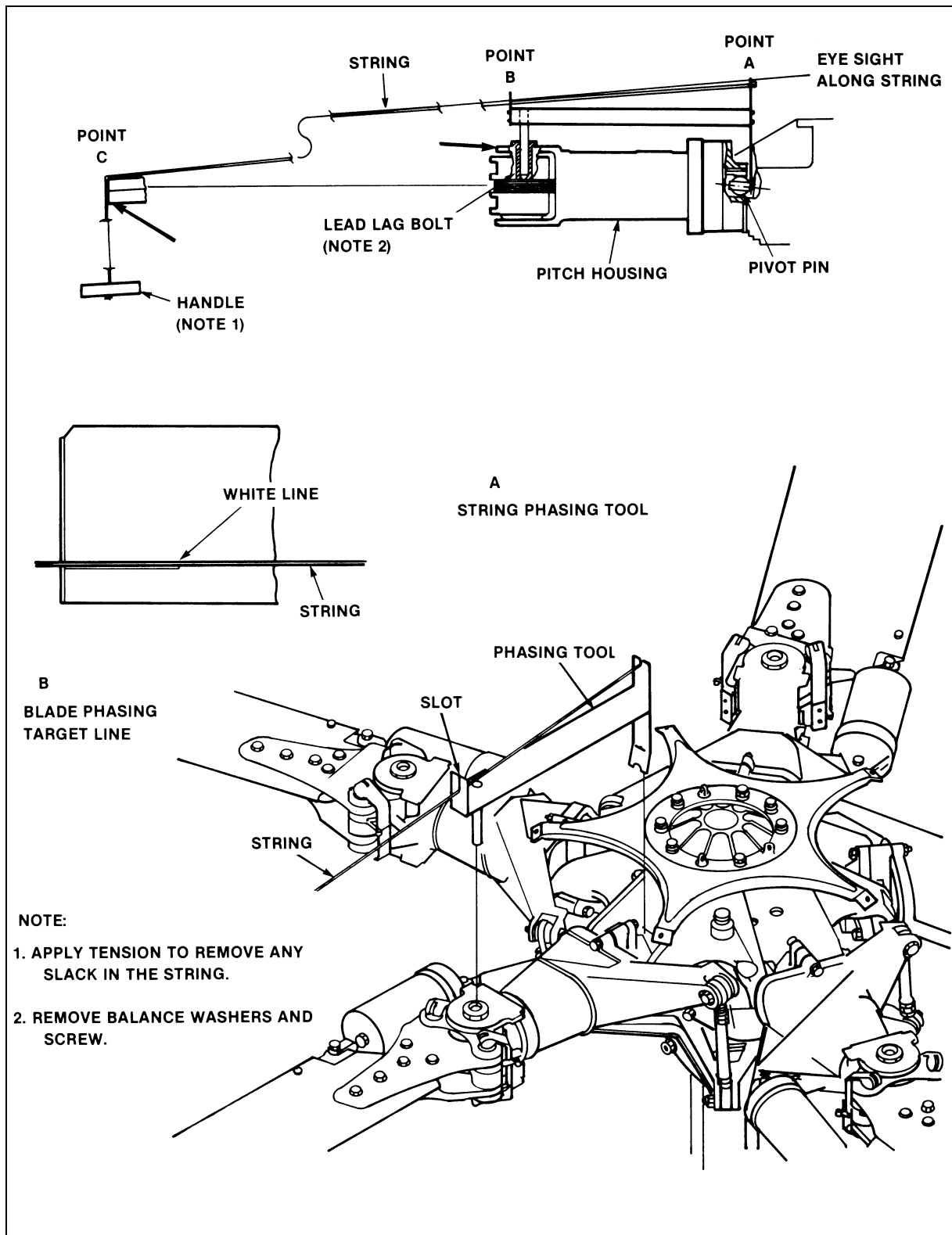
σχήμα αμέσως μετά. Η κατάσταση αυτή θα επιτρέψει στην πτέρυγα να κινηθεί ως προς τον άξονα παλινδρόμησης, όπως ακριβώς προβλέπεται για τις προπορευόμενες και ακολουθούσες πτέρυγες (σχ. 4.68).



Σχ. 4.68 Ελαστομερικοί αποσβεστήρες που χρησιμοποιούνται στα ελικόπτερα Hughes 500D.

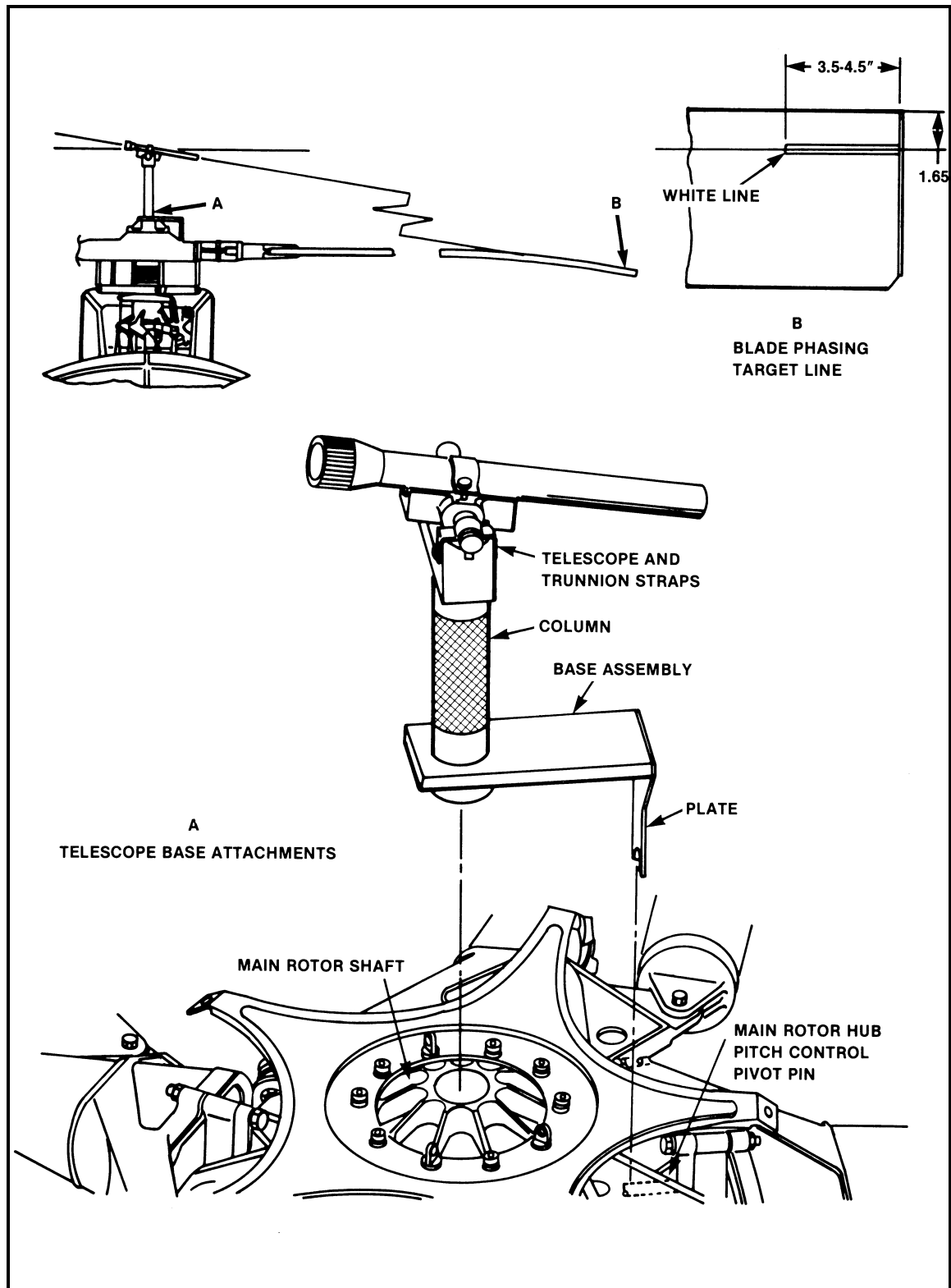
Στην πραγματικότητα ο αποσβεστήρας αυτού του τύπου δεν χρειάζεται καμιά συντήρηση. Είναι απλά ένα αντικαταστάσιμο εξάρτημα. Για να επιτευχθεί ωστόσο η σωστή φάση των πτερύγων, ο ρυθμιζόμενος κοχλίας clevis πρέπει να περιστραφεί για να ευθυγραμμιστεί το στροφέιο. Η διαδικασία αυτή δεν είναι απαραίτητη για τους υδραυλικούς αποσβεστήρες, γιατί δεν έχουν ουδέτερη θέση όπως έχουν οι ελαστομερικοί. Στους τελευταίους, η ευθυγράμμιση μπορεί να πραγματοποιηθεί με την μέθοδο της ταινίας ή τη μέθοδο strobe. Και με τις δύο μεθόδους, το στροφέιο πρέπει να τεθεί σε ουδέτερη θέση που επιτυγχάνεται βάζοντας το συλλογικό χειριστήριο στην ουδέτερη θέση και τοποθετώντας ένα χωροβάτη (protractor) στο μηχανισμό αλλαγής

βήματος. Με το χωροβάτη στη θέση του, κινούμε το συλλογικό χειριστήριο μέχρις ότου να επιτευχθεί η ουδετέρα θέση. Η ταινία τοποθετείται πάνω στο πτερύγιο σε ευθεία με το εργαλείο εύρεσης φάσεως (phasing tool) (σχ. 4.69).



Σχ. 1. 4.69 Μέθοδος με την χορδή για ευθυγράμμιση των αποσβεστήρων.

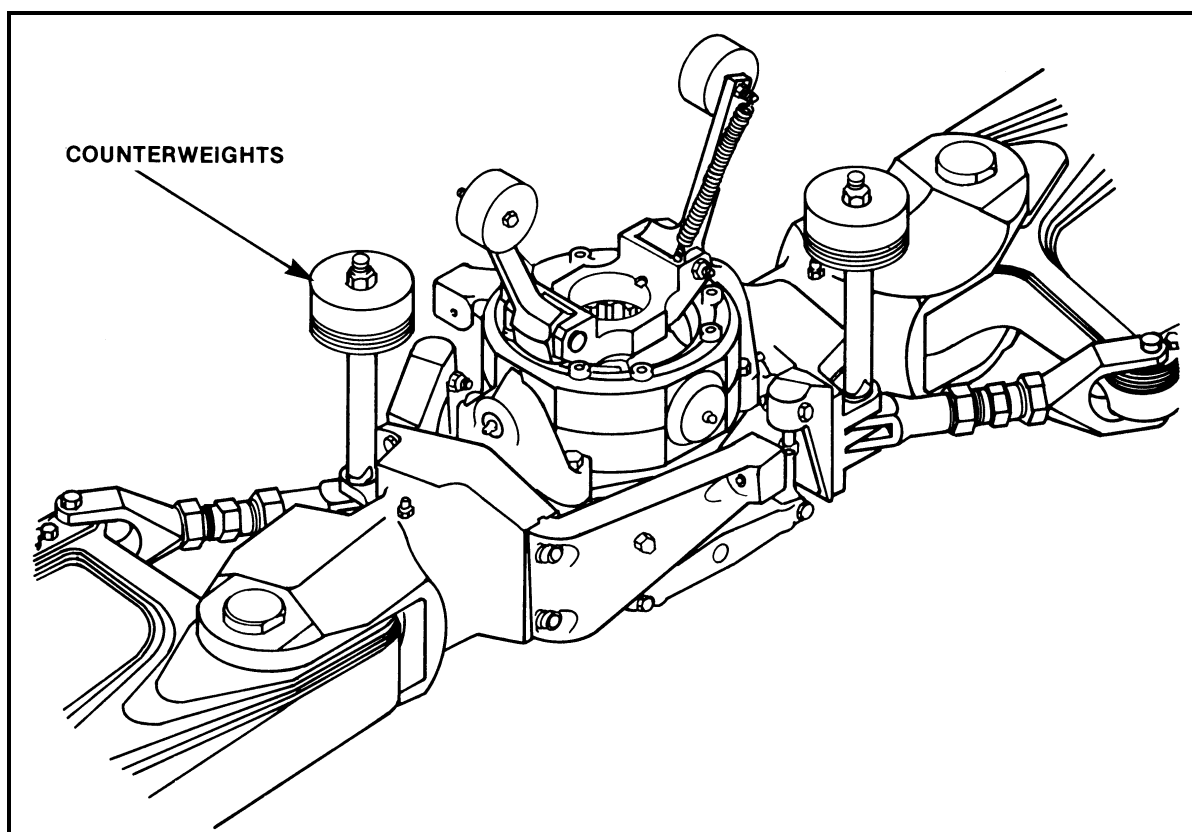
Ρυθμίζουμε τον βραχίονα του αποσβεστήρα ανάλογα, έτσι ώστε να ευθυγραμμιστεί η ταινία με το ειδικό στόχαστρο από το οποίο παρατηρούμε τη διαδικασία. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και κατά τη μέθοδο strobe. Τα χειριστήρια ουδετεροποιούνται και αντί για ταινία τοποθετούμε το στροβοσκόπιο (σχ. 4.70).



Σχ. 1. 70 Μέθοδος ευθυγράμμισης αποσβεστήρων με Scope (είδος τηλεσκοπίου)

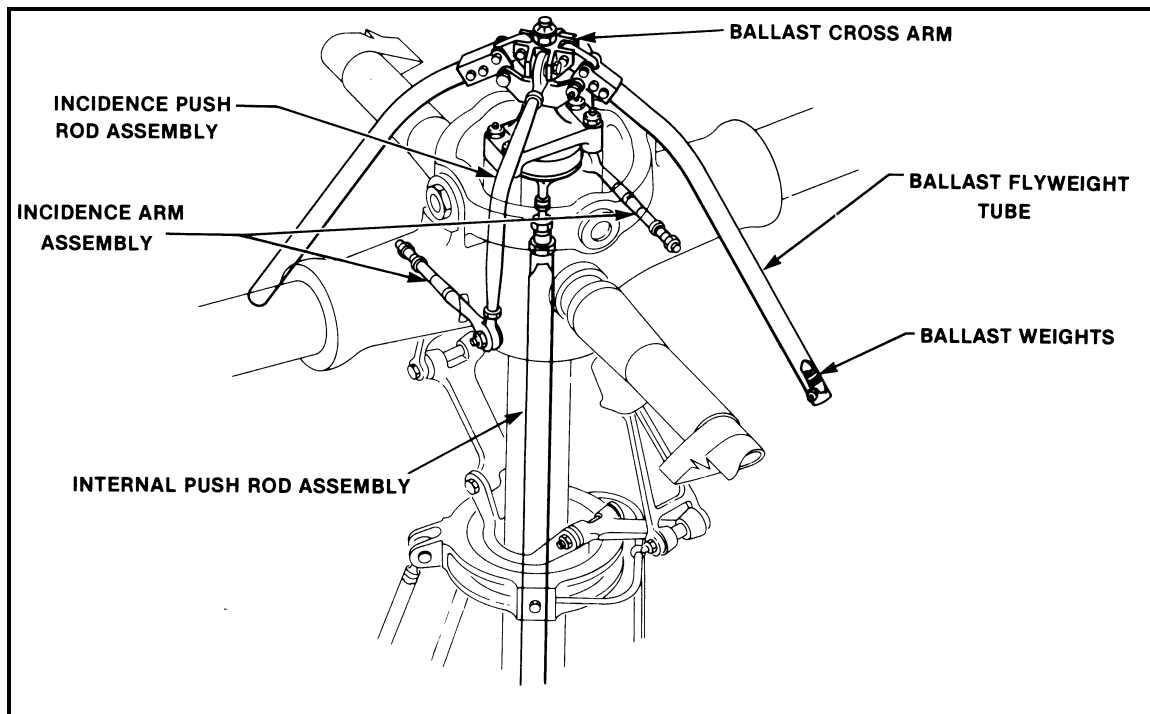
#### 4.8.4. Ρύθμιση αντίβαρων

Μερικά συστήματα στροφείων, όπως το Bell 47 και το Hiller 12, χρησιμοποιούν ένα ζεύγος αντίβαρων επάνω στην κεφαλή του στροφείου τους ως υποβοήθηση του συλλογικού βήματος. Συχνά όταν η κεφαλή συναρμολογείται ή αντικαθίστανται τα περύγια, είναι απαραίτητο να αντικαταστήσουμε και τα αντίβαρα έτσι ώστε το χειριστήριο συλλογικού βήματος να μην είναι ούτε «ελαφρύ» αλλά ούτε και «βαρύ». Η ιδανική κατάσταση είναι το χειριστήριο να ισορροπεί σε οιαδήποτε θέση το τοποθετήσουμε, δηλαδή να μην υπάρχει τάση να κινηθεί ούτε προς τα κάτω αλλά ούτε και προς τα πάνω, χωρίς προηγουμένως να εξασκηθεί πάνω του κάποια πίεση από τον χειριστή. Αν τοποθετήσουμε πολύ βάρος στα αντίβαρα, το χειριστήριο θα γίνει πολύ ελαφρύ, ενώ το αντίθετο θα συμβεί αν δεν θέσουμε το απαραίτητο βάρος. Η διαδικασία αφαίρεσης και πρόσθεσης βάρους στα αντίβαρα του Bell 47 είναι πολύ απλή και επιτυγχάνεται με την πρόσθεση ή αφαίρεση ενός αριθμού παράκυκλων από το επάνω τμήμα του αντίβαρου όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.71 .



Σχ. 4.71 Αντίβαρα που βοηθούν την κίνηση του συλλογικού χειριστηρίου στο Bell 47.

Η ίδια μέθοδος ακολουθείται και στο Hiller, με την διαφορά ότι το βάρος τοποθετείται στο εσωτερικό των βραχιόνων αλλαγής βήματος, μέχρις ότου να ισορροπήσει το συλλογικό χειριστήριο (σχ. 4.72).

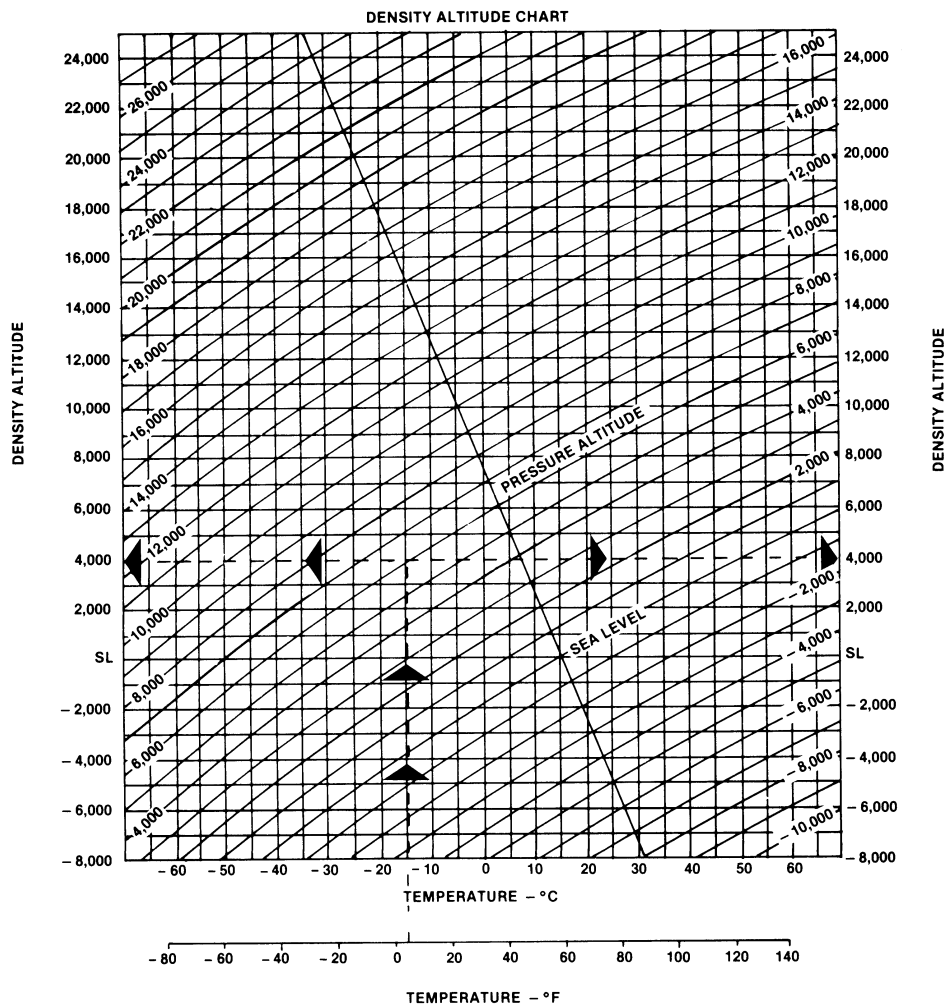


Σχ. 4.72 Σταθεροποιητική ράβδοι ελικοπτέρου Hiller 12 για υποβοήθηση συλλογικού χειριστηρίου.

#### 4.8.5. Ρυθμίσεις αυτοπεριστροφής.

Όταν γίνουν όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις στο σύστημα του κυρίως στροφείου, πρέπει να ελεγχθεί και η ικανότητα αυτοπεριστροφής του ελικοπτέρου, καθώς μπορεί να έχει επηρεαστεί. Γιαυτό το λόγο, κάθε φορά που εκτελείται συντήρηση στο ελικοπτερο που μπορεί να επιδράσει στην ικανότητα αυτοπεριστροφής του, είναι απαραίτητο να ακολουθήσει και έλεγχος ταχύτητας αυτοπεριστροφής. Αν τα πτερύγια κινούνται πολύ γρήγορα και τα την αυτοπεριστροφή, υπάρχει κίνδυνος απώλειας στήριξης στο ακολουθούν πτερύγιο (retreating blade). Αν τα πτερύγια κινούνται πολύ αργά, δεν θα είναι δυνατόν να αναπτύξουν την απαιτούμενη άντωση για την στήριξη του ελικοπτέρου. Αφού λοιπόν η αυτοπεριστροφή είναι καθαρά διαδικασία ανάγκης, είναι πολύ σημαντικό να ρυθμιστούν οι για κανονική πτήση στροφές του ελικοπτέρου σε σχέση με τις στροφές για λειτουργία αυτοπεριστροφής.

Οι στροφές στην αυτοπεριστροφή επηρεάζονται από το φορτίο του ελικοπτέρου, την πυκνότητα και το ύψος πτήσεως του ελικοπτέρου. Γιαυτό το λόγο, η ταχύτητα αυτοπεριστροφής ρυθμίζεται βάσει σχετικού πίνακα ρύθμισης (σχ. 4.73) ή θέτοντας το ελικοπτερο σε ανώτατο και κατώτατο όριο φορτίου, ελέγχοντας συγχρόνως τις στροφές του.



**369 SERIES AUTOROTATION RPM CHART**

Gross Weight (lb)	Stabilized Autorotation RPM at Density Altitude					
	Sea Level	1000 Ft.	2000 Ft.	3000 Ft.	4000 Ft.	5000 Ft.
1900	447 - 457	454 - 464	461 - 471	468 - 478	475 - 485	482 - 492
2000	459 - 469	466 - 476	473 - 483	480 - 490	487 - 497	494 - 504
2100	471 - 481	478 - 488	485 - 495	492 - 502	499 - 509	-----
2200	483 - 493	490 - 500	497 - 507	504 - 514	-----	-----

**NOTES:**

1. Chart values based upon 15° C (59° F) OAT. At sea level, 8° C (14° F) temperature change is equal to 1000 ft. change in density altitude.
2. Perform autorotation rpm checks at gross weight/density altitude combinations for which rpm values are given. Blank spaces indicate that application of collective pitch may be necessary to avoid rotor overspeed.

Σχ. 4.73 Πίνακας ορίων αυτοπεριστροφής ελικοπτέρου Hughes 500.

Η διαδικασία ελέγχου ταχύτητας αυτοπεριστροφής ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του ελικοπτέρου. Στις περισσότερες περιπτώσεις ρυθμίζονται οι βραχίονες αλλαγής



βήματος μειώνοντας το βήμα των πτερυγίων ή το μήκος της διαδρομής του συλλογικού χειριστηρίου.

Έχοντας ήδη συζητήσει τις διάφορες μεθόδους συντήρησης και ρυθμίσεων στο στροφέιο, πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι όλες οι παραπάνω ρυθμίσεις είναι στα πλαίσια των αρχικών ρυθμίσεων της κεφαλής του στροφέιου και δεν πρέπει να λαμβάνονται σαν το μοναδικό «φάρμακο» θεραπείας όλων των προβλημάτων που παρουσιάζονται στο στροφέιο.

Για τα περισσότερα εξαρτήματα δεν υπάρχει λόγος περαιτέρω ρύθμισης, μετά την αρχική τους, και πρέπει να παραμένουν σε αυτήν την κατάσταση εκτός και αν υπάρξει αντικατάστασή τους, η οποία φυσικά θα επηρεάσει την αρχική ρύθμιση. Πριν γίνει προσπάθεια οποιασδήποτε ρυθμίσεως είναι απαραίτητη μια προσεκτική επιθεώρηση της κεφαλής, καθώς φθαρμένοι αποσβεστήρες, κατεστραμμένοι βραχίονες και σημεία στήριξης μπορεί να σχετίζονται με το πρόβλημα που αντιμετωπίζετε και φυσικά δεν είναι δυνατόν να λυθεί με διαδικασίες ανίχνευσης, ζυγοστάθμισης και σάρωσης των πτερυγίων. Οι διαδικασίες αυτές ίσως βελτιώσουν λίγο το πρόβλημα αλλά σίγουρα δεν θα το λύσουν καθώς δεν είναι άμεσα υπεύθυνες για αυτό.

Είναι πολύ δύσκολο να διαμορφώσουμε ένα οδηγό διερεύνησης βλαβών για όλα τα στροφέια, λόγω των ιδιομορφιών που παρουσιάζουν. Για αυτό το λόγο υπάρχουν δύο μόνο γενικοί οδηγοί διερεύνησης που αφορούν τα ημιαρθρωτά και πλήρως αρθρωτά στροφέια (σχ. 4.74 και 4.75).

<b>TROUBLE SHOOTING MAIN ROTOR</b>		
<u>INDICATION OF TROUBLE</u>	<u>PROBABLE CAUSE</u>	<u>CORRECTIVE ACTION</u>
<b>1:1 Lateral vibration</b>		
(a) In hover or forward flight	Spanwise out-of-balance	Dynamically balance with tape
	Chordwise out-of-balance	Dynamically balance by sweeping blade
	“Hub rock”	Adjust equalizer links
(b) Bumping in abrupt maneuvers	One dynamic stop cable too short. (2:1 if both cables short)	Rig Dynamic stop cables
	Sprag mount weak or one safety cable too short. (2:1 if both sides)	Readjust sprag mount system or replace parts
<b>1:1 Vertical vibration (or bounce)</b>		
(a) In hover and forward flight	Rotor out-of-track	Adjust trim tabs
(b) In forward flight but not hover	Climbing blade	Compare high and low speed track Adjust
<b>2:1 Vibrations</b>		
(a) In hover or forward flight	Mast misaligned	Adjust sprag mounts
	Excessive play in sprag mounting	Replace worn parts. Pre-load lateral sprag rods
	Elevator buffeting	Adjust elevator cable tension
(b) Bumping in maneuvers	See (b) under 1:1 Lateral	
Collective pitch control creeping in normal cruise	Incorrect counterweights	Adjust counterweights
Rotor rpm high or low in autorotation	Minimum pitch blade angle incorrect	Adjust both pitch control rods
Erratic nudging of cyclic control stick	Rotor unstable on longitudinal axis	Sweep both blades aft

Σχ. 4.74 Τυπικός πίνακας διερεύνησης βλαβών ημιαρθρωτού στροφέιου.

## Abnormal Vibrations

### A. Rotor System - Low-Frequency

1. Blades - low-frequency. Common low-frequency vibrations are 1:1, 2:1, vibration beat with each revolution of the main rotor
  - a. Lateral - 1-per-rev causes lateral motion in seat
    - (1) Dampers - setting and phase
    - (2) Blades out of balance
    - (3) Damaged strap pack
    - (4) Binding in lead-lag hinge
  - b. Vertical - 1-per-rev causes bounce in seat
    - (1) Blade track
    - (2) Vibration absorbers malfunctioning - 3- and 5-per-rev
    - (3) Tabs improperly adjusted
    - (4) Damper out of adjustment and/or phase
    - (5) Pitch control bearing worn and/or binding

### B. Tail Rotor Vibration - Medium- to High-Frequency

1. Medium- to high-frequency buzzing vibration felt in pedals and structure; vibration noticeable from low rpm on up through operating (3020) rpm
  - a. Causes
    - (1) Assembly out of balance
    - (2) Tail rotor gearbox output shaft runout excessive
    - (3) Stabilizer attach points loose
    - (4) Excessive abrasion
    - (5) Abrasion strip loose
    - (6) Worn gearbox bearings
    - (7) Boom attach points loose
    - (8) Tail rotor assembly attach nut loose, allowing fork to shift on conical split ring
    - (9) Tail rotor swashplate bearing worn (could show as a wobble of swashplate)

Σχ. 4.75 Τυπικός πίνακας διερεύνησης βλαβών σε ένα πλήρως αρθρωτό στροφέιο .

Δεν πρέπει να ξεχνάμε πάντως ότι η απλή λογική σκέψη είναι ο καλύτερος οδηγός λύσης όλων των προβλημάτων και βλαβών.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Anderson, J. D., Jr. 1997. *A History of Aerodynamics: And Its Impact on Flying Machines*, Cambridge University Press, Cambridge, England.
2. Anoshchenko, N. D. (ed.) 1968. "History of Aviation and Cosmonautics, Vol.
3. Apostolo, G. 1984. *The Illustrated Encyclopedia of Helicopters*, Bonanza, New York.
4. Bartlett, R. M. 1947. *Sky Pioneer: The Story of Igor I. Sikorsky*, Charles Scribner's & Sons, New York.
5. Boulet, J. 1984. *The History of the Helicopter as Told by its Pioneers 1907-1956*, Editions France-Empire, Paris.
6. Brown, D. A. 1995. *The Bell Helicopter Textron Story*, Aerofax, Arlington, TX.
7. de la Cierva, J. 1926. "The Development of the Autogiro," *J. Royal Aeronaut. Soc.*
8. Cochrane, D., Hardesty, V., and Lee, R. 1989. *The Aviation Careers of Igor Sikorsky*, University of Washington Press, Seattle & London.
9. Federal Aviation Administration. 2012. *Helicopter flying handbook*
10. Grina, K. I. 1975. "Helicopter Development at Boeing Vertol Company," *The Aeronaut. J.*
11. Gunston, B. 1983. *Helicopters of the World*, Crescent, New York.
12. Klemin, A. 1925. "An Introduction to the Helicopter,"
13. Liberatore, E. K. (ed.) 1950. *Rotary Wing Handbooks and History*, United States Air Force Air Materiel Command. 18 volumes.
14. Liberatore, E. K. 1998. *Helicopters Before Helicopters*, Krieger Publishing, Malabar, FL.
15. Lopez, D. S. and Boyne, W. J. (eds.) 1984. *Vertical Flight: The Age of the Helicopter*, Smithsonian Institution Press, Washington DC.
16. Schafer, J. 1980. *Helicopter Maintenance*, Jeppesen
17. Spenser, J. P. 1999. *Whirlybirds: A History of the U.S. Helicopter Pioneers*, University of Washington Press, Seattle and London.