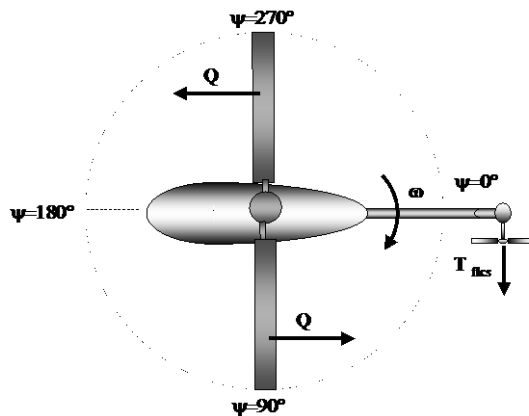


A FORGÓSZÁRNY REAKCIÓNYOMATÉK KIEGYENSÚLYOZÁSÁNAK ÚJ MÓDSZEREI, „FENESTRON” LÉGCSAVAR, NOTAR RENDSZER

A helikopter tervezők korán rájöttek, hogy a forgószárny rendszer meghajtásakor keletkezik egy nyomaték, amely a forgószárny forgásával ellentétes irányba szeretné elforgatni a helikopter törzsét. Keletkezését könnyen beláthatjuk, ha megnézzük az 1. ábrát [2].



1. ábra. Forgószárny meghajtásakor keletkező nyomaték

Tudjuk, hogy az állandósult repülési üzemmódok feltétele, hogy a helikopterre ható erők és nyomatékok eredője zérus legyen ($\sum M = 0$ és $\sum F = 0$). Ha csak a forgószárnyat vizsgáljuk, láthatjuk, hogy a kerületi erők (Q), amelyek a lapátok ellenállásából származnak, egymással egyensúlyban vannak, viszont külső erőként egy olyan nyomatékot hoznak létre, amely az előbb említett módon a helikoptert a forgószárny forgásával ellentétesen igyekszik elfordítani. Ezt a nyomatékot a forgószárny reakciónyomatékának nevezzük. Egyértelmű, hogy ezt a reakciónyomatékot ki kell egyensúlyozni. Ennek számtalan bevált, illetve a sikertelenség miatt elfeledett változata alakult ki. Tulajdonképpen a nagy fejlesztő intézetek tervezési filozófiája határozta meg, hogy a reakciónyomaték kiegyensúlyozásának milyen módszerét választották. Általában ezekhez a módszerekhez hosszú távon is ragaszkodnak. A kétforgószárnyas helikopterek (az ellenkező irányba forgó forgószárnyak reakció-

nyomatékai kiegyensúlyozzák egymást) közül jól ismertek a Kamov koaxiális elrendezésű helikopterei, a Kaman cég szinkropterei, vagy a tandem elrendezést képviselő Boeing Vertol CH-47 Chinook-ja. A kétforgószárnyas helikopterek előnyei ellenére az egyforgószárnyas faroklégcsavaros elrendezéssel épített helikopterek döntő többségben vannak. Ez a fajta elrendezés hatékonyan teljesíti az elé kitűzött hármas feladatot:

- a bevezetőben tárgyalt, forgószárny által keltett reakciónyomaték kiegyensúlyozását;
- a helikopter útirányú kormányzásának biztosítását;
- a helikopter útirányú stabilitásának biztosítását.

Ugyanakkor számos hátránya is van ennek az elrendezésnek, úgymint:

- a nagy teljesítmény felvétel a faroklégcsavar részéről;
- a helikopter üres súlyának növekedése (meghajtás, reduktor[ok], faroklégcsavar);
- a hosszú faroktartó építésének szükségszerűsége;
- a faroktartó igen jelentős hajlító csavaró igénybevétele;
- a nagy zajkibocsátás;
- a vibráció;
- a jelentős balesetveszély;
- a faroklégcsavar sérülésének veszélye hibás leszállás estén;
- az örvénygyűrű üzemmód kialakulása, ezzel a faroklégcsavar hatékonyságának erőteljes csökkenése olyan repülési helyzetekben, mikor a faroklégcsavar saját áramlásának irányába mozdul el.

Ennek megfelelően igen nehéz feladat olyan faroklégcsavart létrehozni, amely tűrhető határokon belül tartja ezeket a problémákat. Talán ez is indokolta, hogy az elmúlt időszakban számtalan változata alakult ki a hagyományos faroklégcsavar elrendezésnek, valamint, hogy a tervezők az utóbbi években új irányokban próbáltak elindulni. Erre példa az úgynevezett „fenestron” faroklégcsavar, vagy a NOTAR elrendezés.

FENESTRON (FAN-IN-FIN, FANTAIL) ELRENDEZÉS

Ennek a fajta elrendezésnek a kifejlesztésében a francia Aerospatiale cég végzett úttörő szerepet. Manapság zömében az Eurocopter helikoptereknél használják, de ilyen faroklégcsavart kapott a 2. ábrán látható, mostanában kifejlesztett amerikai RAH-66 Comanche helikopter is.

A címben jelzett három kifejezés azonos tartalmat takar. A „fenestron” az eredeti francia elnevezés, az Eurocopternél a „fan-in-fin”, az amerikaiaknál pedig a „fantail” elnevezés honosodott meg. Gyakorlatilag ez egy a végtartóban elhelyezett csőlégcsavart jelent.



2. ábra. RAH-66 Comanche helikopter

Első ránézésre is könnyen belátható, hogy kisebb, könnyebb és kompaktabb elrendezést biztosít, mint a hagyományos faroklégcsavar, ugyanakkor balesetvédelmi szempontból is szinte tökéletes biztonságot nyújt. Kisebb átmérője miatt azonban ugyanakkora faroklégcsavar vonóerőhöz nagyobb teljesítményfelvétel tartozik, mint a hagyományos faroklégcsavarnál még azzal a feltételezéssel is, hogy a lapátvégi veszteségek a fenestron légcsavar zárt külső kontúrja miatt egészen minimálisak lesznek.

Az elrendezést tekintve a kibocsátott zajnak is kisebbnek kellene lennie, mint a hagyományos légcsavarok esetében, mivel a fenestron légcsavar nem metszi a forgószárny örvényrendszerét és ahogy fent említettem a zárt külső kontúr miatt gyakorlatilag nem tud kialakulni rajta a lapátvégi örvényrendszer. Azt azonban el kell mondani, hogy a kisebb átmérő miatt a fenestron légcsavar fordulatszáma még magasabb lesz, mint a hagyományos faroklégcsavarok fordulatszáma, ami kedvezőtlen magas frekvencia tartományba tolja a kibocsátott hangot. Egy Eurocopter által kibocsátott összehasonlító elemzés [5] is beismeri, hogy az első Eurocopter típusoknál ugyan a teljes hangenergia kibocsátás alacsonyabb, mint a hasonló kategóriájú helikopterek faroklégcsavarjainak hangenergia kibocsátása, de a hangkibocsátás egyetlen domináns magas frekvencián történik. Ez egy szírenszerű hangot jelent, ami rendkívül zavaró az emberi fül számára.

Ezt a hatást az új Eurocopter konstrukcióknál, többek között az EC-135-ösnél úgy küszöbölték ki, hogy a lapátok kerület menti egyenletes megoszlását megszüntették, valamint a reduktor támaszokat a sugárirányhoz képest kissé ferdén építették be. Ezen felül csökkentették a fenestron légcsavar fordulatszámát 10%-al. Ennek hatására mind a kibocsátott zaj erőssége csökkent, mind pedig a frekvencia tartománya kedvezőbb irányba mozdult el.

Ha összehasonlítjuk az előző két fajta reakcióyomaték kiegyensúlyozási módszert, láthatjuk, hogy a fenestron légcsavar szerkezeti kialakítása módosult a hagyományos faroklégcsavarhoz képest, aminek számos pozitív eredménye volt, de magának a reakcióyomaték kiegyensúlyozásának az elve egyáltalán nem változott.

NOTAR HELIKOPTEREK

A NOTAR helikopterek az 1990-es évek elején jelentek meg forradalmasítva az egyforgószárnyas helikopterek reakciónyomaték kiegyensúlyozásának módszerét.

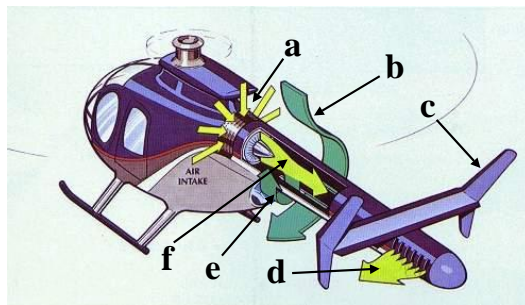
A fejlesztő a McDonald Douglas cég volt, a név pedig egy rövidítésből adódik. NOTAR, vagyis „no tail rotor”, ami magyarul annyit jelent „nincs faroklégsavar”. A kezdeti sikerek után egész gépcsald épült a kifejlesztett NOTAR rendszerre, például a 3. ábrán is látható MD520N, vagy az MD600N és a MD900 Explorer.



3. ábra. Az MD520N helikopter

A NOTAR rendszer teljesen új elvekre épül [3] és így érdemes áttekinteni azt is, hogy hogyan működik ez a rendszer.

A 4. ábrán „a”-val jelzett ventilátor (kiszertelt állapotban az 5. ábra bal oldalán látható) a törzs hátsó részére van felszerelve közvetlenül a főreduktor mögé és az 5. ábra bal oldalán látható reduktoron keresztül kapja a meghajtást a főreduktortól. A ventilátor által termelt levegő („f”-el jelölt levegőáram) egy része („e”-vel jelölve) a faroktartón elhelyezett hosszanti réseken keresztül kiáramlik a faroktartóból. Ezeket a hosszanti réseket láthatjuk a 6. ábrán a faroktartó külső és belső oldalán nyilakkal megjelölve. A levegőáram a belső oldalon látható szárnyprofil alakú vezetők között felgyorsulva kilép a faroktartóból és a Coanda effektus elvének megfelelően rásimul a faroktartó külső kontúrjára. A faroktartó körül kialakuló cirkuláció a forgószárny áramlását („b”-el jelölt levegőáram) asszimmetrikussá teszi a faroktartó körül ezáltal egy oldalirányú erőt hozva létre, amely kiegyenlíti a reakciónyomaték döntő részét. Az útirányú kormányzást a szabályozható fűvókán keresztül kibocsátott „d”-vel jelölt levegőáram biztosítja, illetve haladó repülés esetén a „c”-vel jelzett függőleges irányfelületek. Az utóbbi esetben a „d” jelű levegőáramot kibocsátó forgatható fűvókát lefelé, vagy felfelé elfordítva részt vehet a helikopter kereszt (z) tengely körüli nyomatéki egyensúlyának megteremtésében.



4. ábra. A NOTAR rendszer működése

Ennek megfelelően a lábormányon létrehozott bemenő jel mind a ventilátor lapátok beállítási szögének állításában (5. ábra), mind az előbb említett forgatható fúvóka, mind pedig a függőleges irányfelületek szabályzásában részt vesz.



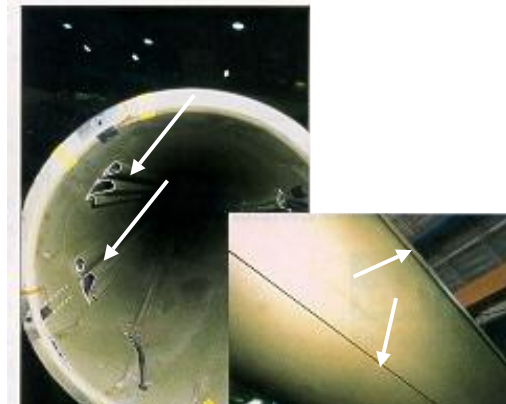
5. ábra. Ventilátor lapátok beállítási szöge

A forradalmi újítást az jelenti ennél az elrendezésnél, hogy a helikopter faroktartó hosszanti résein átáramló viszonylag kis mennyiségű („e”-vel jelzett) levegőáram is jelentős oldalirányú erőt hoz létre a kialakult cirkuláció, illetve a forgószárny által létrehozott leáramlás segítségével. További előny, hogy haladó repülés esetén az útírányú kormányzást a függőleges irányfelületek biztosítják, ami tovább tehermentesíti a ventilátort. Ennek megfelelően kisebb lesz a ventilátor teljesítmény felvétele, mint egy hagyományos faroklégcsavar teljesítmény felvétele.

A ventilátor teljesen zárt térben forog, így balesetveszélyt nem okoz. Ez a kedvező elhelyezés és a kisebb teljesítmény felvétel mind a helikopter vibrációját, mind pedig a kibocsátott zaj mértékét jelentősen csökkenti.

Természetesen az első változatok kibocsátása után további finomítások jelentek meg a konstrukcióban, amelyek főleg a ventilátorhoz történő levegő bevezetésben nyilvánultak meg. Az első változatoknál [5] a levegő bevezetés egy egyszerű nagyméretű kiváltás volt a törzsön egy ráccsal lefedve. A későbbi változatoknál, MD520N, MD600N, a beömlőnyílás a felső részre korlátozódik és áramlástanilag kedvezőbb a kialakítása. MD902-es levegő beömlőnyílása szintén felfelé néz, közvetlenül a forgószárny tengely mögött a két hajtómű között. A

kedvező elhelyezés és a beömlőnyílás alakjának optimalizálása még tovább csökkentette a kibocsátott zajt.



6. ábra. A faroktartón elhelyezett hosszanti rések

ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalva mindkét megoldás, sok technikai újdonságot tartalmaz és az utóbbi NOTAR rendszer elveiben is gyökeresen új megoldást képvisel. Mindkettő a hagyományos faroklégcsavarnál fellépő számos negatív jelenséget kiküszöböl, vagy mértékét csökkenti. Az 1. összehasonlító táblázat ezeknek a negatív jelenségeknek az alakulását mutatja a fenestron légcsavarnál és a NOTAR rendszer-nél a hagyományos faroklégcsavarral összehasonlítva.

Összehasonlító táblázat

1. táblázat

	Fenestron légcsavar	NOTAR rendszer
Faroklégcsavar teljesítmény felvétele	növekszik	csökken
A helikopter üres súlya	csökken	csökken
Faroktartó hossza	változatlan	kismértékben csökkenhet
A faroktartó hajlító igénybevétele	változatlan	a faroktartó törésében változatlan, a további részekben hátrafelé kisebb
A faroktartó csavaró igénybevétele	minimális	függésnél nincs, haladó repülésnél minimális
A faroktartó nyíró igénybevétele	változatlan	törésben nagyobb, a faroktartó hátsó részén kisebb
Zajkibocsátás	csökken, de frekvencia tartománya kedvezőtlenebb	csökken
Vibráció	csökken	csökken
Balesetveszély	minimális	nincs
Faroklégcsavar, (ventilátor) sérülésének veszélye	minimális	minimális, esetleg a beömlőnyílásban hagyott idegen tárgy esetén
Faroklégcsavar örvénygyűrű hajlam	csökken	nincs

Mindezen pozitív eredmények ellenére néhány aggály felvetődhet. Például nagy-teljesítményű szállító helikopterek esetében nem biztos, hogy olyan méretű fenestron légcsvár készíthető, amely a farokrészbe reálisan beilleszthető lenne. NOTAR rendszernél, bár egyenlőre nem hallottam tervezett harci alkalmazásról, egy esetleges nagyobb méretű űrméretű lövedék okozta harci sérülés esetében a kiáramló fals levegő hatása felboríthatja reakciónyomaték kiegyensúlyozás és az útirányú vezérlés rendszerét.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] Barnes W. MCCORMICK: Aerodynamics Aeronautics and Flight Mechanics. The Pennsylvania State University, 1995.
- [2] BÉKÉSI László: Multimédia alkalmazási lehetőségei a helikopter aerodinamika tantárgy elsajátítási hatékonyságának növelésében. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 1999. XI. évfolyam 26. szám.
- [3] Greg NAPERT: NOTAR maintenance — No sweat. Aircraft Maintenance Technology, 1999. szeptember.
- [4] A helikopter aerodinamikája és repülési dinamikája. Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1983.
- [5] R.W. PROUTY: Noise reduction is one of the most competitive aspects of helicopter manufacturing. Rotor & Wing, 2000. október.