

Szilágyi Dénes

KOAXIÁLIS ROTOROK AERODINAMIKAI VIZSGÁLATA

Ebben a munkában a Ka—26 helikopter egyenes vonalú egyenletes repülését vizsgáltam. A típus kiválasztásában döntő szerepet játszott, hogy ezzel a hajtottak végre Magyarországon először — rotorlapát légerő-terhelését meghatározandó — méréseket [4], és korábbi munkáimban e mérések eredményeit már feldolgoztam. Célkitűzésem, hogy ebben az üzemállapotban aerodinamikai oldalról meghatározzam az alsó rotorlapát alatti indukált sebességmezőt, figyelembe véve a felső rotor hatását és a profilok körüli áramlás instacionárius voltát. Ahhoz, hogy ezt elérjem, együtt kell vizsgálnom a lapátmozgásokat, a lapátok fölötti áramlási teret, és a lapátokon ébredő aerodinamikai erőket.

A számítás alapja a kombinált impulzus-lapelem elmélet, melyet kiegészítve az ONERA modellel az indukált sebesség-eloszlás, és az instacionárius hatások meghatározhatóak [1].

AZ IMPULZUS TÉTEL

A klasszikus impulzus tételt Glauert fejlesztette ki. Ebben az elméletben a (szimpla) rotor áramcsövét a lapátok által súrolt felülettel azonos keresztmetszetűnek tételeztük fel. Koaxiális rendszernél ennek a felületnek a meghatározása már egy kicsit bonyolultabb. De az alábbi Glauert-féle összefüggéssel meghatározható [2]:

$$A_0 = \frac{R^2 \pi}{\chi} \quad (1)$$

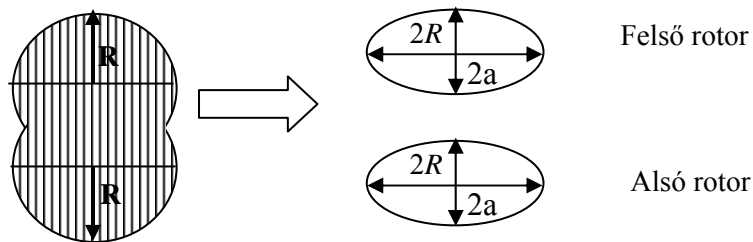
ahol:

$$\chi = \frac{0,12}{\frac{h}{2R} + 0,22} + 0,455$$

h — a két rotor közötti távolság;

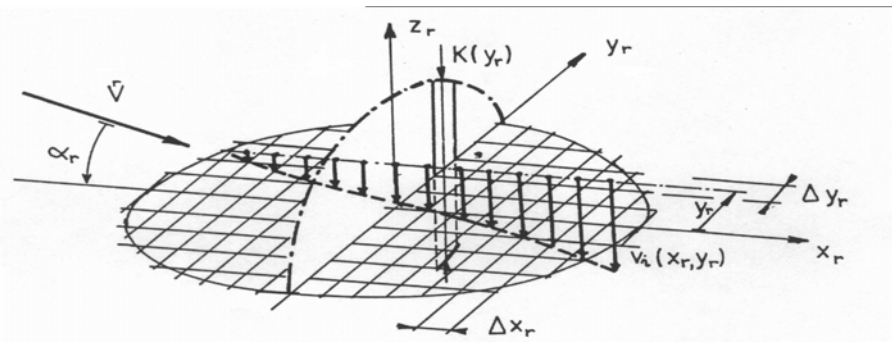
R — a rotor sugara.

A rotorok külön vizsgálatához meg kell határozni az egyes rotorok áramcsövének keresztmetszetét, melyet úgy oldottam meg, hogy a fenti összefüggésből kapott felületet két azonos területű ellipszissel helyettesítettem (1. ábra).



1. ábra. Az áramlási keresztmetszet felosztása

Az ellipszis egyenletével a keresztmetszeti felületek nagyságát leíró $K(y_r)$ meghatározható (2. ábra). Így a rotorsík egy adott elemében meghatározhatóvá válik az áramlási keresztmetszet



2. ábra. Az indukált sebességértékek a rotorsík mentén

A 2. ábrán látható, hogy a rotor által keltett indukált sebességértékek a rotorsík belépőélétől hátrafelé haladva, folyamatosan növekednek. Ez a trend az alsó rotor esetében módosul (nem jelentősen) a felső rotor által indukált sebességmező hatásának következtében. Az indukált sebesség (v_i) egy adott (y_r, x_r) koordinátájú helyen felírható az alábbi összefüggéssel:

$$v_i(x_r; y_r) = \int_{x_0}^{x_r} \frac{p(x_r; y_r)}{2\rho V_r K(y_r)} dx_r \quad (2)$$

ahol:

$$K(y_r) = 2 \frac{3,86}{6,5} \sqrt{6,5^2 - y_r^2};$$

$p(y_r, x_r)$ — nyomásérték egy adott koordinátájú helyen;

V_r — repülési sebesség;

ρ — légsűrűség.

böztethetünk meg:

- a rotor-tengellyel együtt (Ω);
- a csapkodó csukló körül (β);
- a lapát hossz tengelye körül (ϑ).

A csapkodó mozgás vizsgálatához annak egyszerűsített differenciálegyenletét használtam (5):

$$\beta_l'' + (1 + \varepsilon)\beta_l = \frac{M_a}{\Theta_y \Omega^2} \quad (5)$$

ahol:

- M_a — aerodinamikai nyomaték;
- ε — Lock szám;
- β_l — Csapkodási szög;
- Ω — Rotor szögsebesség;
- Θ_y — Lapát csapkodócsuklóra vett tehetetlenségi nyomatéka;

A lapát csavaró mozgásának vizsgálatához az alábbi differenciálegyenletet használtam (6):

$$M_x = \Theta_x \Omega^2 \left[q_0 + \beta'(q_1 - q_2 \beta'') + \frac{d^2 \vartheta}{d\Psi^2} \right] \quad (6)$$

ahol:

- Θ_x — a lapát hossz tengelyére vett tehetetlenségi nyomatéka;
- $q_0 = \cos^2(\beta) \sin(\vartheta) \cos(\vartheta)$ — tényező;
- $q_1 = \cos(\beta) \cos^2(\vartheta) - \cos(\beta)(1 - \sin^2(\vartheta))$ — tényező;
- $q_2 = \sin(\vartheta) \cos(\vartheta)$ — tényező.

A számítás során az eredő aerodinamikai nyomatékot zérusnak vettem.

A HAJLÍTÓ DEFORMÁCIÓ

A számítás során csak a csapkodó értelmű hajlító deformációt vettem figyelembe. A (7) differenciálegyenlet megoldásához [3] alapján felhasználtam a lapát első 3 saját lengésképét $\Phi_i(x)$ ($i=1,2,3$). Ez az egyenlet a Lagrange egyenletből vezethető le és segítségével meghatározható a 2. és 3. saját lengéskép-függvény és a hozzájuk tartozó saját frekvencia:

$$q_i'' + \lambda^2 q_i = \frac{F_i}{\Omega^2 R^2 m_i}; \quad i=2,3 \quad (7)$$

ahol:

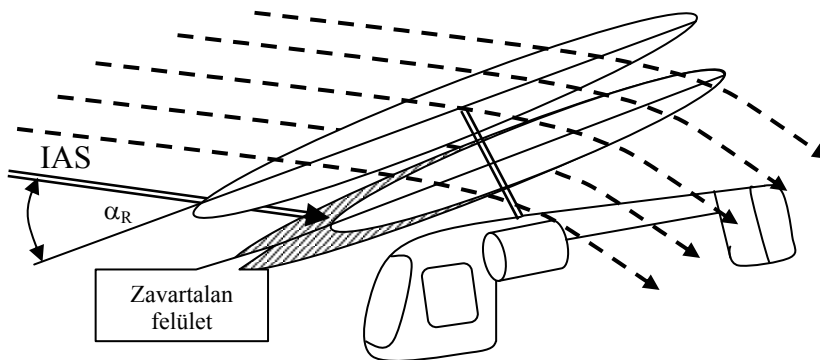
- q_i — i-edik általánosított koordináta;
- $\lambda_i \Omega$ — i-edik sajátfrekvencia.

A SZÁMITÁS MENETE

A számítási eljárás két részből áll: Az első részben meghatározásra kerül az indukált sebesség eloszlás, a vonó, a horizontális, és az oldalerők a felső rotorra. A lépések:

- a kezdeti indukált sebességértékek, és erők számítása a Glauert-féle közelítés alapján;
- a csapkodó és hajlító mozgások differenciál egyenleteinek numerikus integrálása polár-koordináta rendszerben, figyelembe véve az áramlás instacionárius voltát, a csapkodó és a csavaró mozgás közötti kapcsolatot;
- a rotor felülete mentén a légerő eloszlás ismeretében, új indukált sebességeloszlás számítása decartes koordináta rendszerben. eredő erők számítása az új helyzetnek megfelelően
- az új erőknek megfelelően a csapkodó mozgás újraszámítása, majd a 3. lépés, egészen az egyensúlyi helyzet eléréséig, mely gyakorlatilag 10 teljes fordulat után bekövetkezik. ha nem, akkor a kezdeti kormánybeállítási értékek $p_0; p_1; p_2$ nem feleltek meg ennek a repülési helyzetnek, és ezért új értékeket adva előről kell kezdeni a számítást.
- az egyensúlyi helyzet sebesség és erőértékeinek tárolása.

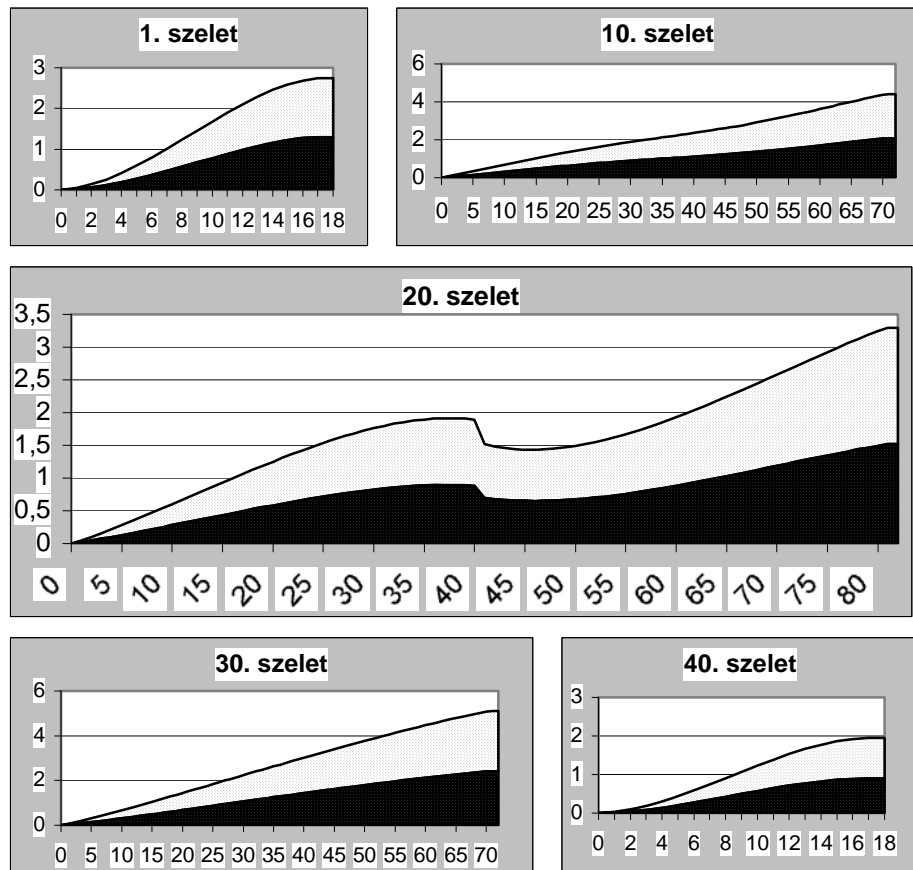
A második rész nagyban hasonlít az elsőhöz, csak ott a Glauert-féle számításnál már figyelembe vesszük (3. ábra) a felső rotor előbbieken kiszámított és megfelelően pozícionált indukált sebességértékeit (4. ábra).



4. ábra. A felső rotor áramcsöve csak részben éri az alsó rotort

A SZÁMITÁS EREDMÉNYEI

A számítás során a rotortárcsákat felosztottam (3. ábra) az y_r tengely mentén 40 szeletre. Az elemek száma az egyes szeletekben a Δx_r és y_r függvénye. Az 5. ábrán látható az indukált sebességeloszlás egy-egy adott szelet fölött.



5. ábra. Indukált sebesség értékek: Fehér felső rotor, fekete alsó rotor

Az eredmények megfelelnek a várakozásnak azzal a hibával, hogy a rotortárcsa belépőéle mentén egy kis szektorban negatív légerőknek kellett volna adódnia. Ha összehasonlítjuk a felső és az alsó rotor eloszlását, a sebességértékek relatív különbsége nem haladja meg az 5%-ot, és a felső rotor indukált sebességértékei a nagyobbak. Látható továbbá, hogy mindkét rotor esetében az előrehaladó lapát oldalán megnövekszik az indukált sebesség, valamint jól látszik mindkét rotor-

nál az agy árnyékoló hatása is. A lapátvég-pályák elemzése is megerősítette, hogy a felső rotor terhelése nagyobb. A módszer végeredményéül kapott egyensúlyi eredő erők és a klasszikus módszerrel számított vonóerők közötti abszolút eltérés 1387,378 N és a relatív eltérés 4,63%-ra adódott ebben az üzemiállapotban.

ÖSSZEGZÉS

Látható, hogy ez a módszer a gyakorlat szempontjából kielégítő pontosságot nyújt úgy az alsó, mint a felső rotor jellemzőinek számításában. Ezekkel az eredményekkel lehetővé válik a rotorokon túl az egész helikopter egyensúlyának vizsgálatára, valamint lehetővé válik a szerkezeti deformációkon alapuló légerőterhelés számításának [7] kontrollálása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] GAUSZ, T.: Helicopter Rotors Aerodynamics and Dynamics, 5th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Budapest, 1996.
- [2] GAUSZ, T.: Helikopterek (in Hungarian) BME Mérnöktovábbképző Intézet Budapest, 1982
- [3] STEPNIIEWSKY, W.Z.: Rotary-Wing Aerodynamics, Dover Publications, New York, 1979.
- [4] LINDERT, H.W.: Flugmessungen mit dem Hubschrauber Ka-26 im Oktober 1990. Institut für Lichtbau RWTH-Aachen 1992.
- [5] Aerodinamika, Magyar Néphadsereg, Budapest, 1956.
- [6] LALETIN, K.N.: A Ka-26 Helikopter Gyakorlati Aerodinamikája, Repülőgépes Szolgálat, Budapest, 1978.
- [7] SZILÁGYI, D.: Rotor Blade Air Load Determination on the Base of Structural Deformation. IInd Avionics Conference, Bieszczady 98' Jawor, Poland 1998.