

*Szolnoki Tudományos Közlemények XIII.
Szolnok, 2009.*

Dr. BÉKÉSI LÁSZLÓ¹

A HELIKOPTER VONÓEREJÉNEK CSÖKKENÉSE A SÁRKÁNSZERKEZET MEGFÚVÁSA MIATT²

A helikopter repülésekor a függés és a függőleges emelkedés fontos üzemmódok. A helikopter aerodinamikai számításainál általában a sárkányszerkezet káros ellenállását nem veszik figyelembe, pedig ez az érték a helikopter felszálló súlyának akár 10%-a is lehet. A forgószárny által létrehozott indukált sebesség tengelyirányú leáramlásában lévő sárkányszerkezeti elemek aerodinamikai ellenállással rendelkeznek. A cikkben a szerző az említett ellenállás értékének kiszámításával foglalkozik, alkalmazva a helikopter forgószárnyon keletkező vonóerő kiszámításához a lapelem-elméletet.

A HELIKOPTER FÜGGÉSI ÉS FÜGGŐLEGES EMELKEDÉSI ÜZEMMÓDJÁNAK VIZSGÁLATA

A helikopter repülési üzemmódjai közül a függés és a függőleges emelkedés egy sor fontos repüléstechnikai jellemzőt határoz meg, például:

- adott üzemeltetési körülmények között a maximális repülési súlyt;
- a statikus repülési csúcsmagasságot;
- az egyenletes függőleges, maximális emelkedési sebességet.

A forgószárny által létrehozott indukált sebesség tengelyirányú leáramlásában lévő sárkányszerkezeti elemek aerodinamikai ellenállással rendelkeznek. Így a forgószárny szükséges vonóerejét (egyúttal a hajtóművek teljesítményét) meg kell növelni, pontosan annyival, amennyi a sárkányszerkezet elemeinek aerodinamikai ellenállása.

A helikopter aerodinamikai számításainál az esetek többségében a forgószárny által megfúvott sárkányszerkezet káros ellenállásától eltekintenek, azaz nem veszik figyelembe. Ugyanakkor ez az érték a helikopter felszálló súlyának akár 10%-a is lehet.

¹ ZMNE, BJKMK Repülő és légvédelmi Intézet, bekesi.laszlo@zmne.hu

² Szaklektorált cikk. Leadva: 2009. szeptember 15. Elfogadva: 2009. december 10.

A [2;3] irodalmakban a sárkányszerkezet függőleges megfűvésének figyelembevételéhez egy úgynevezett ekvivalens lemezt vettek, amely függőleges állandó sebességű megfűvésben van. Függési illetve egyenletes sebességű függőleges emelkedési üzemmódra leírható:

$$G = T - \Delta T = T(1 - \Delta \bar{T}) \quad (1)$$

ahol:

G — a helikopter súlyereje;

T — a forgószárny vonóereje;

$\Delta \bar{T} = \frac{\Delta T}{T}$ — a függőleges megfűvés miatt, a forgószárny vonóerő viszonyított értéke.

Általános esetben egy-forgószárnyas helikopterre:

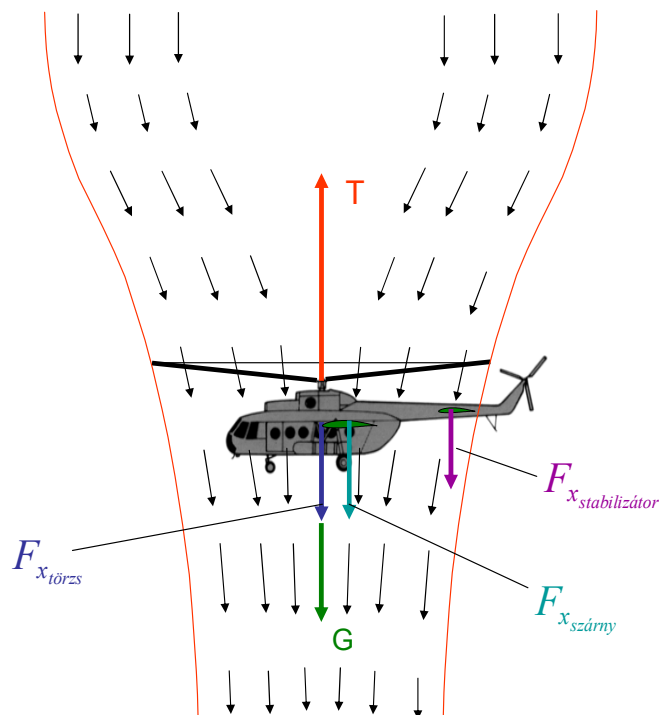
$$\Delta T = F_{x_{káros}} = F_{x_{törzs}} + F_{x_{szárny}} + F_{x_{stabilizátor}} \quad (2)$$

ahol:

$F_{x_{törzs}}$ — a helikopter törzsének káros ellenállása;

$F_{x_{szárny}}$ — a helikopter szárnyának káros ellenállása;

$F_{x_{stabilizátor}}$ — a helikopter stabilizátorának káros ellenállása.



1.ábra. A helikopter függési üzemmódján a forgószárny hatása a sárkány szerkezeti elemeire

A forgószárny vonóerő veszteség számítása során feltételezzük, hogy a teljes nyomás az indukált sebességű tengelyirányú leáramlásban nem változik, azaz a Bernoulli egyenlettel felírható:

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const.}, \quad (3)$$

ahol:

p — az indukált sebességű leáramlás tetszőleges pontjában a statikus nyomás;

v — az indukált sebesség nagysága;

Mivel a függőleges leáramlásban az indukált sebesség nem túl nagy, azaz a Mach-szám

$M = \frac{v}{a} < 0,4$ és a levegő sűrűsége állandó, azaz a zavartalan áramlás sűrűségével azonosnak vehető így:

$$dF_x = \left(\Delta p + c_x \frac{\rho v^2}{2} \right) dA, \quad (4)$$

ahol:

$\Delta p = p_a - p_f$ — az adott dA elemi felület alsó és felső részén lévő statikus nyomások különbsége;

c_x — a kiválasztott elem ellenállási erőtényezője.

A helikopter sárkányszerkezetének vékony felületein (mint a szárny és a stabilizátor), amelyek kicsi viszonyított vastagsággal rendelkeznek, a nyomásokat az alsó és felső felületeken egyenlő nagyságúaknak vehetjük, azaz $p_a = p_f$.

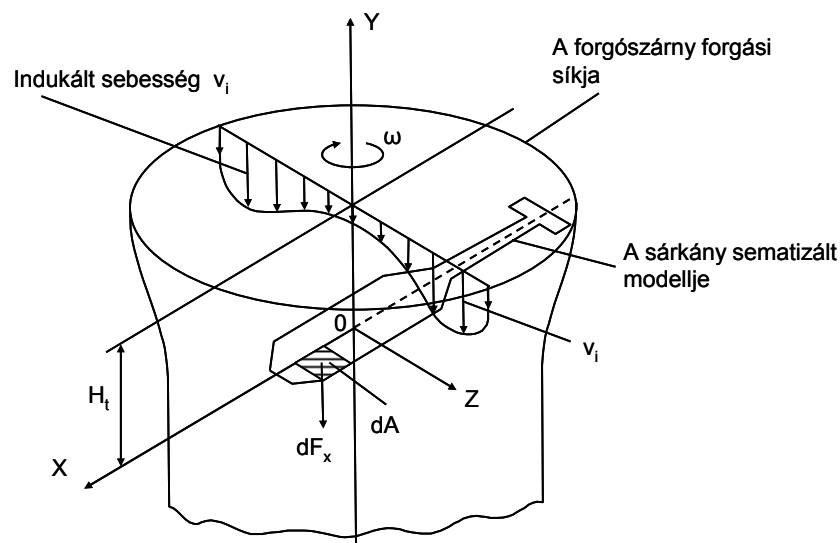
A sárkány más elemeinél, ahol a viszonyított vastagság jelentős értékű, az alsó és felső felületek nyomásait vegyük környezeti nyomás értékűnek.

Ekkor az adott elem vastagságának figyelembevételével kapjuk:

$$\Delta p = K_\Delta (\rho_a - \rho_f), \quad (5)$$

ahol:

K_Δ — a forgószárny által megfúvott sárkányszerkezeti elem formáját és vastagságát figyelembe vevő együttható;



2. ábra. A helikopter sárkányszerkezetének a számításhoz szükséges körüláramlása függéskor

A K_Δ együttható értéke nullától (a vékony testeknél) egészen egyig (a nagyon vastag testeknél) változhat ($0 \leq K_\Delta \leq 1$)

A leáramlás szabályos részén a statikus nyomás egyenlő a környezeti nyomással így a (4) egyenlet az (5) figyelembevételével a következő alakot veszi fel:

$$dF_x = c_x \frac{\rho v^2}{2} dA \left[\left(\frac{v}{v_2} \right)^2 + K_\Delta \frac{1 - \left(\frac{v}{v_2} \right)^2}{c_x} \right], \quad (6)$$

ahol:

$$v_2 = 2 v_1 \text{ — kétszeres indukált sebesség.}$$

Általában a helikopter sárkányszerkezet elemei a forgószárny forgássíkjától H_t távolságra helyezkednek el, amelynek mértékegység nélküli viszonyított értéke $\overline{H_t} = \frac{H_t}{R} = 0,2 \dots 0,3$.

A helikopter sárkányszerkezet elemeinek ellenállási erőtenyezői (c_x) azok geometriai formájától és a Reynolds-számtól függenek.

Gyakorlatilag az ellenállási erőtenyező értéke (c_x) változhat 0,4-től (azok az elemek, amelyek formája a hengerhez közeli, illetve hasonló) egészen 1...1,2-ig (stabilizátor, szárny).

A végrehajtott számítások azt mutatják, hogy (6) kifejezés szögletes zárójelben lévő része 0,9-től 1,15-ig változik, azaz közel van az egyhez. Így ennek figyelembevételével az elemi ellenállási erő számítására alkalmas képlet a következő alakot veszi fel:

$$dF_x = \frac{\rho v^2}{2} dA c_x \quad (7)$$

A teljes ellenállás kiszámításához integrálnunk kell az előző egyenletet.

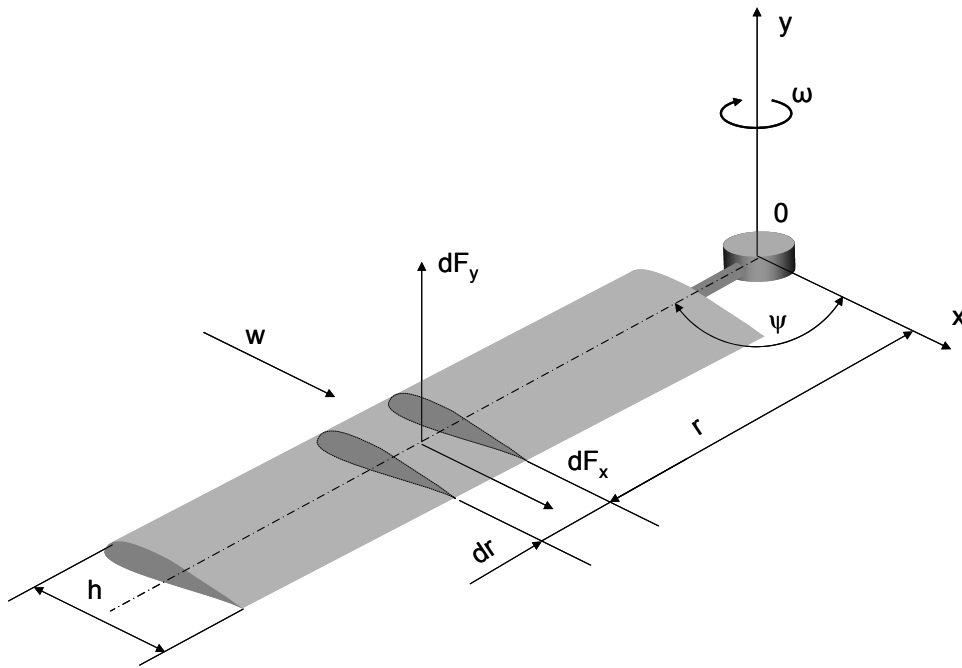
A forgószárny által létrehozott indukált sebesség meghatározásához a véges számú lapáttal rendelkező forgószárny örvényelméletét kell alkalmazni.

A forgószárnyon keletkező aerodinamikai erőket és nyomatékokat a lapelem-elmélet segítségével határozzuk meg.

A kiválasztott lapelemre elemi aerodinamikai erők hatnak, melyeket a következőképpen határozhatunk meg:

$$\begin{aligned} dF_y &= \frac{\rho w^2}{2} h c_y, \\ dF_x &= \frac{\rho w^2}{2} h c_x, \end{aligned} \quad (8)$$

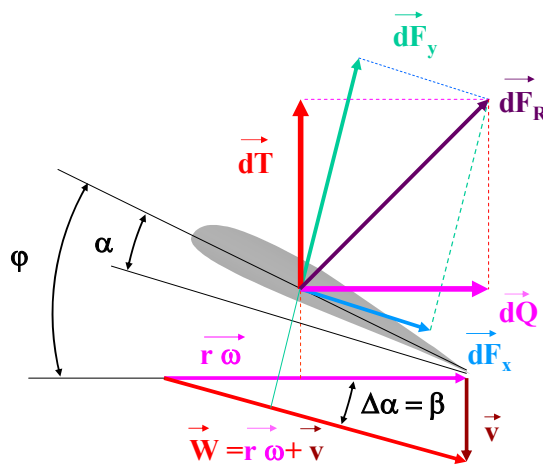
ahol: c_y és c_x — A forgószárny lapát-elem aerodinamikai felhajtóerő és ellenállási erő tényezői.



3. ábra. A forgószárny lapátelemre ható aerodinamikai erők

A vizsgált lapátelelem aerodinamikai erőtenyezői (c_y és c_x) az állásszögtől, a Mach-számtól (M) és a Reynolds-számtól (R_e) függenek.

Az elemi vonóerő és elemi kerületi erőt az ismert összefüggések segítségével határozhatjuk meg.



2

4. ábra. A forgószárny lapélem-elmélete

A 4. ábrából:

$$\begin{aligned} dT &= dF_y \cos \beta - dF_x \sin \beta \quad , \\ dQ &= dF_x \cos \beta + dF_y \sin \beta \quad . \end{aligned} \quad (9)$$

A forgószárny alatt az indukált sebesség mértékegység nélküli viszonyított értékét a következő összefüggés segítségével határozhatjuk meg:

$$\bar{g} = -\frac{\bar{v}_y}{2} + \frac{\sqrt{\bar{v}_y^2 - 4(\bar{r} - \bar{u})\bar{u}}}{2}, \quad (10)$$

ahol:

\bar{v}_y — viszonyított függőleges emelkedési sebesség (függési üzemmódban egyenlő zérussal);

\bar{r} — az adott lapalelem viszonyított sugara;

\bar{u} — az indukált sebesség tangenciális összetevője.

Az indukált sebesség tangenciális összetevőjét a forgószárny örvényelméleténél alkalmazott Biot–Savart összefüggés segítségével tudjuk kiszámítani:

$$\bar{u}(\bar{r}) = -\frac{z_1}{\bar{r}} \int I(\rho, \beta) \frac{d\bar{\Gamma}}{d\rho} d\rho, \quad (11)$$

ahol:

z_1 — a forgószárny lapátok száma;

$\bar{\rho}$ — viszonyított sugár;

$\bar{\Gamma}$ — az \bar{r} keresztmetszetben a mértékegység nélküli cirkuláció.

A (11) egyenletben leírt integrál kiszámítására a [4,5] irodalmakban található megoldás.

A forgószárny által megfúvott sárkányszerkezet miatti vonóerőcsökkenés konkrét számítására a [7, 8] irodalmakban találunk példát. Alapul egy KT-112 típusú helikoptert vettek, 900 kg. felszálló tömeggel. A sárkányszerkezetet az 5. ábra szerint modellezték.

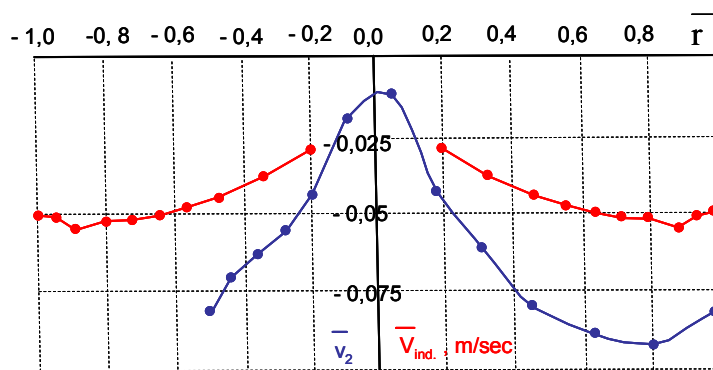
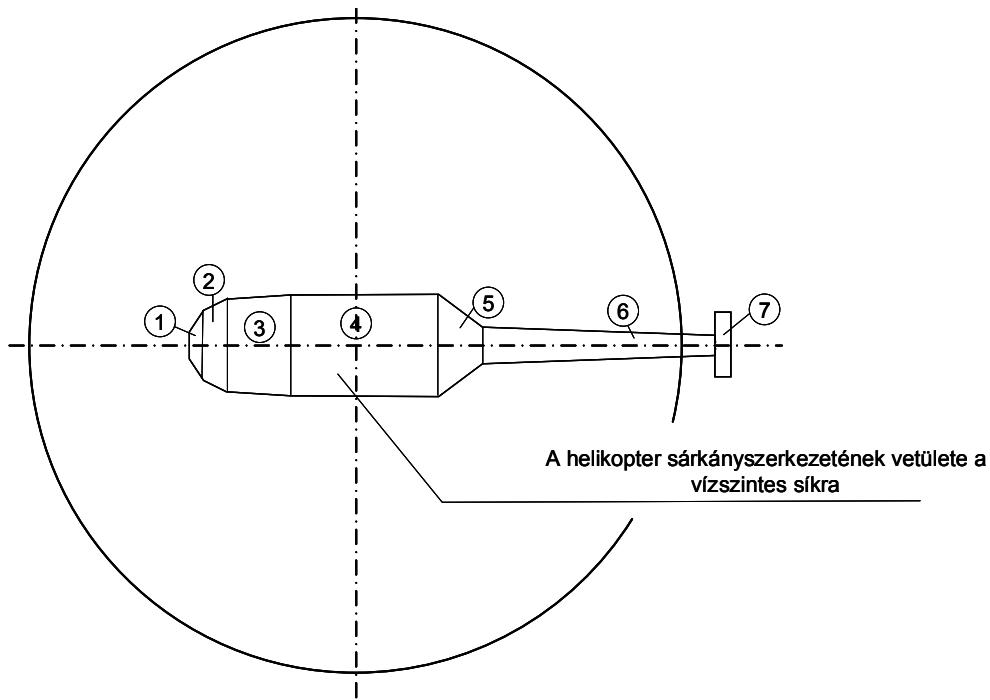
A gyakorlati számítások alapján [6] lehetőség adódott egy empirikus képlet felállítására, amely segítségével a sárkányszerkezet megfúvása miatti forgószárny-vonóerő veszteség számítható.

$$\Delta \bar{T} = \delta - 1 \quad (12)$$

Ahol:

δ — gyakorlati tényező, amely figyelembe veszi a helikopter függésekor a vonóerő csökkenést amiatt, hogy a sárkányszerkezet megfúvásba kerül a forgószárny által;

Egy háromlapátos forgószárnyat véve, amely $\sigma = 0,04475$ kitöltési tényezővel rendelkezik, a az előbbi tényező értéke $\delta = 1,0292$, azaz a forgószárny viszonyított vonóerő vesztesége 2,92%.



- A forgószárny indukált sebessége
- A sárkányszerkezet körüláramlási sebessége

5. ábra. A KT112 helikopter számítási rajza és a tengelyirányú sebességeloszlás



6. ábra. A KT112 helikopter

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FAIL R.A and Eyre R.C.W., Downwash measurements behind a 12-ft diameter helicopter rotor in int he 24-ft wind tunnel// R & M, 1949. №. 2810
- [2] ПЕЙН П.Р. Динамика и аэродинамика вертолета. - М.: Оборонгиз, 1963.-490 с.
- [3] Вильдгрубе Л.С. Вертолеты. Расчет интегральных аэродинамических характеристик и летно-технических данных. - М.: Машиностроение , 1977. - 150 с.
- [4] МАЙКОПАР Г.И., Лепелкин А.М., Халезов Д.В. Аэродинамический расчет винтов по лопастной теории// Труды ЦАГИ.- М.: ЦАГИ, 1940. - Вып.529. -С. 28-44.
- [5] КОВАЛЕВ Е. Д., Удовенко В.А. Расчет аэродинамических характеристик воздушных винтов численными методами// Авиация общего назначения. - **Х.**: НАКУ "ХАИ", 1999. - №11. - С. 16-20.
- [6] СПЕРАНСКИЙ С.Д. Взаимное влияние несущего винта и фюзеляжа одновинтового вертолета на режиме висения// Технические отчеты ЦАГИ. - М.: ЦАГИ , 1965. - Вып. 307. - С. 12-16.
- [7] ДЖОГАН О.В. "Ангел"- изделие 112// Авиация общего назначения. - **Х.**: НАКУ "ХАИ", 2001. - №10. - С. 12-17.
- [8] НАЗАРЕНКО А.И. В Украине "Ангелы" летают// Авиация общего назначения. - **Х.**: НАКУ "ХАИ", 2004 - С.34-37.

DECREASE OF HELICOPTER ROTOR THRUST CAUSED BY THE ROTOR GENERATED AIRFLOW AROUND THE AIRFRAME

Hover and vertical ascend is important mode of helicopter flying. At the aerodynamic calculations the parasite drag of airframe is usually not taken into consideration although it can be as much as 10 % of the maximum take-off load. Elements of airframe structure, touched by rotor downwind from the induced velocity, have aerodynamic drag. In this paper the author deal with the calculation of above mentioned drag using the blade element theory to calculate the rotor thrust.