

Pokorádi László rk. főhadnagy, főiskolai docens:

A SZÁRNYPROFIL INSTACIONER AERODINAMIKÁJA

Főiskolánkon a hallgatók csak az időben állandó áramlásban lévő merev- vagy forgószárnyas repülőgép aerodinamikájával ismerkednek meg. Pedig a valóságban a repülőgépek nem "búra alatt", hanem időben jelentősen változó, valóságos aerodinamikai körülmények közt repülnek. A repülőgépek körüli instacioner áramlás pedig más jellegű és nagyságú terhelésnek teszi ki a gépet.

A repülőgépek körüli instacioner áramlást alapvetően két ok váltja ki. Az első a meteorológiai jelenségekből származó légköri turbulencia. A másik a repülőszerkezet, vagy részegységének időben változó mozgása. Ez az ok lehet:

- a gép valamilyen manővere (pl.: forduló);
- az egyes részegységek változtatható állások közti átmenete (a szárny nyílászárú szögének változtatása vagy valamely szárnymechanizációs szerkezet kitérítése).

Ez utóbbihoz tartozik a helikopter forgószárnylapátok csapkodólengő mozgása, valamint hajlító és csavaró lengése is, sőt a faroklégcsavar működése a forgószárny lapátokról leváló örvényben.

A szárnyak körüli instacioner áramlás vizsgálata ezért fontos gyakorlati feladat. A helikopterek esetében ez azért is jelentős, mert a végrehajtható manővereket nagy mértékben korlátozni kell a hátrahaldó lapátokon fellépő levélások miatt (7). Ezen manőverek elemzésénél pedig figyelembe kell venni a profilok kritikus állásszög körüli dinamikus viselkedését.

Instacioner üzemmódon a profilon keletkező felhajtóerő nagysága jelentősen meghaladhatja a maximális stacioner felhajtóerő értékét (2). Szintén instacioner aerodinamikai jelenség a dinamikus levélás, amely a statikushoz képest késleltetve, nagyobb állásszögön (és felhajtóerő tényezőnél) jön létre (3). A (3) irodalom szerint a felhajtóerő kritikus érték körüli fenntartása nem csak hogy lehetséges, hanem több szempontból is előnyt jelent más felhajtóerő növelési módokkal szemben.

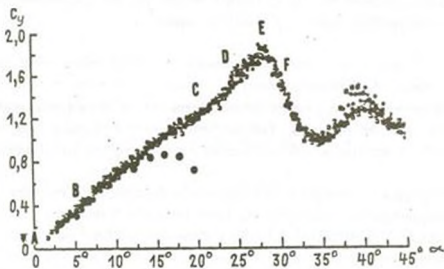
1. A dinamikus leválás vizsgálata

Instacioner aerodinamikai jelenségek összehasonlítása céljából vezették az $\dot{\alpha}_{dn}$ dimenziótlan szögsebességet, amely az alábbi módon határozható meg:

$$\dot{\alpha}_{dn} = \frac{h \dot{\alpha}}{2 v_{\infty}} \quad (1)$$

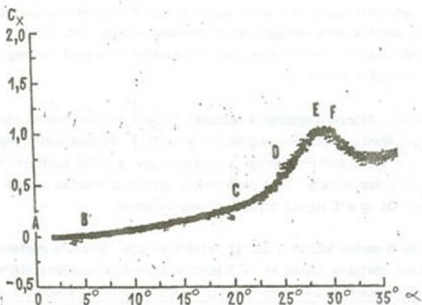
- ahol: $\dot{\alpha}$ - a profil állásszög változásának szögsebessége;
 h - a profil húrszöge;
 v_{∞} - a zavarlatlan áramlás sebessége.

Az 1. ábra mutatja be a felhajtóerő-tényező értékeinek változását az állásszög függvényében, egy dinamikus leválás során. A 2. ábra pedig az ellenállási erő és a nyomatéki tényezők változásait mutatja ugyanazon jelenségnél. A diagramokat több mérés eredményeként határozták meg úgy, hogy a mérések során $\dot{\alpha}_{dn} \approx 0,023$. Látható, hogy a mérési eredmények szórása igen kicsi. Az ábrákon az A től az F betűig vannak jelölve a dinamikus át-esés különböző fázisai, a fekete pontok a profil statikus felhajtóerő tényező görbéjét mutatják.

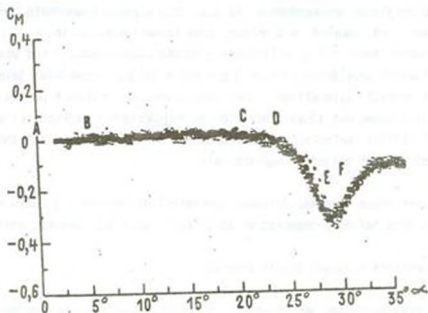


1. ábra

Az állandó szögsebességű mozgás fenntartása nem célszerű a felhajtóerő nagy értékének fenntartása szempontjából, de az így kapott eredmények jól felhasználhatók a jelenség megértéséhez.



a./



b./

2. ábra

Az A pont a profil forgatásának kiinduló pontja, itt két körülbelül azonos hatású változás mutatkozik az áramlásban:

- a profil határfeltételei változnak, ahogy a profil belépője belemérül az áramlásba, ezért a határrétegben helyi fékezési folyamat lép fel;
- a keletkező örvény kísérőhullámot kezd betáplálni és a profilon megjelenik egy átmeneti cirkuláció.

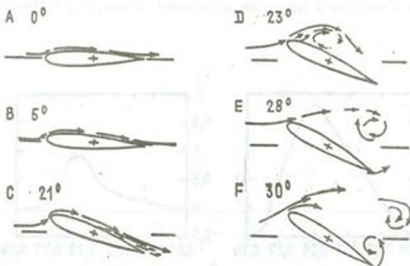
Ez a két változás megmarad a belépő felé mozgása esetén mindaddig, amíg az áramlás többé-kevésbé követi a profilt. Hatásuk pedig megakadályozza az áramlásleválást, amikor a leválási pont a felső konturon a kilépő felől előre tolódik. Az A és B pontok között az áramlás csatlakozik a profilhoz, sőt ez a C pontig körülbelül meg is marad.

A C és D pontok között a profil felső konturján jelentős mértékű tárguló áramlási csatorna alakul ki. A D pontban a leválás területe előre jön a profil első negyedére. Az A és D pontok közti szakaszban a külső áramvonalak megtartják a profil konturját. Az 1. ábrából világosan látszik az, hogy az áramlás felső konturon való leszakadásának dinamikus késése a fő oka a felhajtóerő növekedésének. Az 2.a. ábra alapján kimondható, hogy az ellenállási erő tényező a C pontig csak kismértékben változik. A C pont utáni leválás idézi elő az ellenállás jelentős növekedését. A hár első negyedén történő leváláshoz tartozó D ponttól a teljes leszakadást jelentő E pontig a profil ellenállása lineárisan növekszik. A D és E pontok közti szakaszban a nyomatéki tényező hirtelen és nagymértékben csökken. Ez a tény a profil fölött keletkező, a belépőlről leváló örvények által indukált kisnyomású terület hatásával magyarázható.

A dinamikus leválási folyamat bemutatott állapotait a 3. ábra mutatja be, az ábra jelzései megegyeznek az 1. és 2. ábra jelölésével, azaz:

- A - a profilra teljesen simuló áramlás;
- B - az áramlásleválás megjelenése a kilépőnél, az áramlás nagyjából követi a profil alakját;
- C - a dinamikus leválás folyamata;

- D - levélés a profil első negyedénél és az örvény kialakulása a belépőnél;
- E - az áramlás teljes leszakadása;
- F - a levélés utáni állapot.



3. ábra

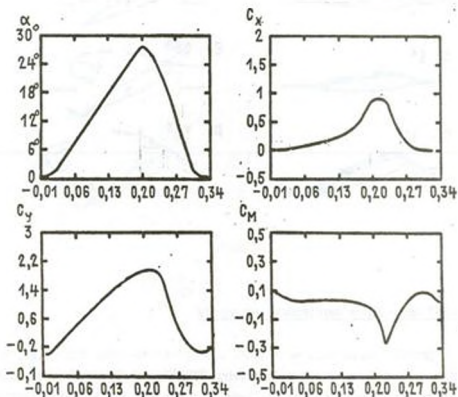
2. A profil periodikus mozgásának vizsgálata

A profil periodikus mozgásának vizsgálatánál célul tűzték ki, hogy hasznosítani tudják a kritikus állásszög dinamikusan elérését és ezzel elérjék a felhajtóerő nagy értéken tartását. A dinamikus levélés vizsgálatából következik az állásszög változtatásának optimális időbeni lefolyása:

- az állásszög állandó sebességű növelése a profilra simuló áramlás szakaszán, azaz a C pontig;
- a növekedés folytatása a D pontnak megfelelő állásszögig, azaz a húr első negyedén kialakuló levélésig;
- az állásszög nagysebességű csökkentése a profilra simuló áramlás területéig;
- nem kötelező szünet az áramlás visszasimulásának biztosítására, majd a fenti ciklus ismétlése.

A (4;5) szerzői NACA-0015 profilt vizsgálták $6,1-12,2 \text{ ms}^{-1}$ sebességű áramlásban. A mérési eredményeket a 4. és 5. ábrák szemléltetik az idő függvényében (a vízszintes tengelyekre az idő másodpercekben van felvéve). Mindkét esetben a profil állásszögét fűrészfog jellegűen változtatták az időben.

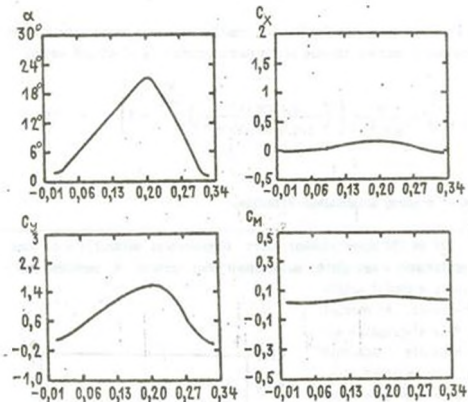
Az elsőnél $\dot{\alpha}_{dnfel} = 0,0322$ és $\dot{\alpha}_{dnle} = 0,00$. A 4. ábrán látszik, hogy ekkor a profilon a legnagyobb felhajtóerő a maximális állásszög után alakul ki.



4. ábra

A második esetben $\dot{\alpha}_{dnfel} = 0,0327$, illetve $\dot{\alpha}_{dnle} = 0,0725$ (5. ábra). Az ábrából látszik, hogy ilyen $\alpha(t)$ függvény esetén a maximális felhajtóerő megfelel a maximális állásszögnek. Ezenkívül ekkor az ellenérő nem jelentősen változik, ellentétben a 4. ábrán látható esettel. A nyomatóki görbe pedig megmutatja, hogy ebben az esetben nem keletkeznek örvények a belépőnél, azaz az áramlás a teljes ciklus alatt követi a profil kontúrját.

A kísérleti kutatások eredményei alapján megállapították, hogy általában ilyen módszerekkel a felhajtóerő tényező értékét $(1,11-1,12)c_{y\max}$ -ig lehet növelni. Elvben viszont lehetséges a felhajtóerő tényező növelése az $1,5 c_{y\max}$ értékéig. Megjegyzem, hogy $c_{y\max}$ alatt a stacioner áramlás esetén keletkező maximális felhajtóerő tényezőt értjük.



5. ábra

3. A közeg összenyomhatóságának hatása

A fent említett vizsgálatoknál a stacioner felhajtóerő túllépését a profil vagyis a szárny dinamikus mozgása biztosítja úgy, hogy késlelteti az áramlás leszakadását a profiltól. Ekkor a profil felső kontúrján nagy abszolút értékű negatív nyomás alakul ki még kis repülési Mach-szám esetén is.

A (1) munka szerint a legnagyobb abszolút értékű negatív nyomásté-
nyező függése - a fent vizsgált profil esetén - az M_V -tól az alábbi módon
írható le:

$$c_p = -4,7 \left[\frac{1}{1 - M_V^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

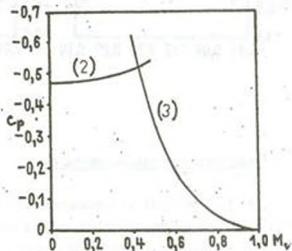
A kritikus nyomáshoz (amikor az áramlási sebesség megegyezik a helyi
hangsebességgel) tartozó tényező pedig meghatározható a következő módon:

$$c_{p \text{ krit}} = \frac{2}{\kappa M_V^2} \left[\left(\frac{0,5 (\kappa + 1)}{1 + 0,5 (\kappa - 1) M_V^2} \right)^{\frac{\kappa}{1 - \kappa}} - 1 \right] \quad (3)$$

ahol:

κ - a közeg adiabatikus kitevője.

A (2) és (3) egyenletekkel leírt függvényeket ábrázolja a 6. ábra,
ahol a grafikonon a két görbe metszéspontjához tartozó M_V repülési Mach-
szám jelenti a profil kriti-
kus Mach-számát. Az ábrából
látható, hogy a vizsgálat so-
rán felhasznált NACA-0015
profilon a felhajtóerő dina-
mikus növelésének lehetősége
az M_V szám függvényében kor-
korlátozott ($M_{\text{krit}} \approx 0,5$). Ez
a repülési Mach-szám szerinti
korlátozás jelentősen befo-
lyásolja a felhajtóerő dina-
mikus növelésének gyakorlati
alkalmazását. Ez a probléma
megoldható úgynevezett szuper-
kritikus profilok kiválasztásá-
val, mint ezt alkalmazzák a
szárnyak stacioner üzemmódra
való tervezésénél.



6. ábra

4. A gyakorlati alkalmazás problémái

A profil instacioner mozgása során keletkező felhajtóerő növekedés gyakorlati alkalmazásánál a következő kérdések vetődnek fel:

- Mekkora elfogadható felhajtóerő növekedés érhető el?
- Mekkora az optimális felhajtóerő növekmény az ellenállás és a nyomaték szempontjából? Példaként lásd a 4. ábrát, ahol jelentős nyomatéki- és ellenálláserő tényező változás lép fel a gerjesztési ciklus alatt.
- Szerkezettani és aerodinamikai szempontok alapján milyen lefolyású és sebességű gerjesztési ciklust célszerű megválasztani?
- Milyen módszerrel határozhatóak meg a szárny dinamikus karakterisztikái a profil jellemzői alapján?
- Milyen befolyást gyakorolnak az egész repülőgép mozgására az aerodinamikai tényezők dinamikus karakterisztikái?
- Milyen szerkezeti kialakításokkal lehet biztosítani a repülőgép részegységeinek lengése esetén az áramlásleválás dinamikus késleltetésének optimumát?

Ezen kérdések megválaszolásához, az elért eredmények gyakorlati alkalmazásához az eddigi kutatások folytatása szükséges.

Felhasznált irodalom

1. Ericsson L.E., Reding J.P.: Unsteady Airfoil Stall, Review and Extension
J. of Aircraft 8 August 1971 609-616.
2. McAllister K.W., Carr L.W., McCroskey W.J.: Dynamic Stall Experiments on
the NACA 0012 Airfoil
NASA Technical Paper 1100.

3. Jumper E.J., Stephen E.J.: toward Unsteady Lift Augmentation: an Assessment of the Role of Competing Phenomena in Dynamic Stall
Proceedings of the AFOSR Workshop on Unsteady Separated Flow F.J. Seiler Research Laboratory
U.S. Air Force Academy Colorado 27-29 July 1987.
4. Jumper E.J., Schreck S.J., Dimmick R.L.: Lift-Curve Characteristics for an Airfoil Pitching at Constant Rate
J. of Aircraft 24 October 1987 680-687.
5. Kramer M.: Die Zunahme des Maximalauftriebes von Tragflügeln bei plötzlicher Anstellwinkelvergrößerung (Boeneffekt)
Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 7 14 April 1932 1-5
6. Von der Riegels F.V.: Aerodynamische profile
R. Oldenbourg München 1958