

A SZÁRNYÉGI FELÜLETEK AERODINAMIKAI VIZSGÁLATA NAPJAINKBAN

Dr. POKORÁDI LÁSZLÓ
a műszaki tudomány kandidátusa
ZMNE, Vezetés és Szervezéstudományi Kar
Haditechnikai Tanszék

TAMÁS FERENC
főiskolai hallgató
ZMNE, Repülőtiszti Intézet

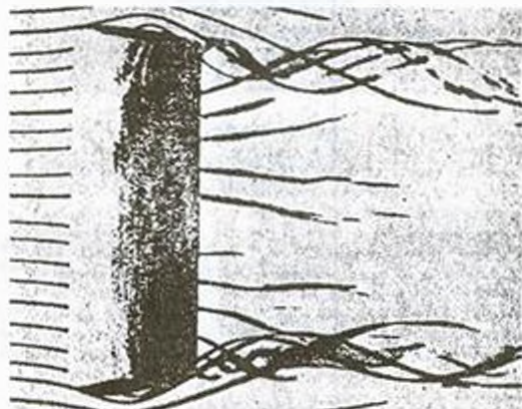
Napjainkban a korszerű szállító repülőgépein (Boeing 747-400, C-17) egyre gyakrabban alkalmaznak valamilyen wingletet, több elemű szárnyacskákat vagy összetett alakú szárnyvégek, a gép aerodinamikai, repülésmechanikai tulajdonságainak javítása érdekében. Az elmúlt 20-25 évben széles körben tanulmányozták a különböző szárnyvég kialakításokat szélcsatornák, kísérleti repülések, valamint numerikus szimulációs módszerek alkalmazásával. Cikkünk - az irodalmak tanulmányozása alapján - ezen szárnyvégi felületek működése áramlástanai kutatásuk legújabb eredményeit mutatja be.

1. BEVEZETÉS

Mint az köztudott, a véges (három-méretű) szárny egy örvényrendszert indukál. S az is köztudott, hogy ezen örvényrendszer létrejöttének oka a - szárny véges volta következtében kialakuló - szárnyvégi feláramlás. Egy ilyen örvényrendszert mutat az 1. ábra, amely egy füstcsíkokkal végzett szélcsatorna kísérlet felvétele [5]. A 2. ábra egy kiskarcsúságú, nagy nyílászási szögű deltaszárny felszárnyának örvényrendszerét szemlélteti [8].

Bizonyos aerodinamikai elméletek magát a vizsgált szárnyat is annak örvényrendszerével helyettesítik és írják le a körülötte kialakuló áramlást [4]. A szárny örvényrendszere befolyásolja a felhajtóerő terjedtség menti eloszlását, ami szerkezetani szempontból is nagyon fontos, és ami meghatározza a keletkező eredő felhajtóerő nagyságát. Például a Prandtl-féle szárnyelmélet is a leváló örvények intenzitásának függvényében határozza meg a szárny körüli cirkuláció - azaz a felhajtó erő - terjedtség menti eloszlását [8].

Ugyanezen örvényrendszer befolyásolja a véges szárny indukált ellenállásának nagyságát is.



1. ábra

Véges téglalap alaprajzú szárny örvényrendszere



2. ábra

Delta szárny örvényrendszere

A fentiek alapján könnyen belátható, hogy szárnyvégi feláramlás, a szárnyvég körüli áramlás befolyásolásával:

- csökkenthető a szárny ellenállása, ami a repülőgép repülési, üzemeltetési, gazdaságossági tulajdonságait teszi kedvezőbbé;

- növelhető az eredő felhajtó erő nagysága, melynek következtében nagyobb hasznos terhelése engedhető meg;
- optimalizálható a felhajtó erő terjedtség menti eloszlása, amely egy szilárdságtani szempontból kedvezőbb szárnykialakítást tesz lehetővé;
- kedvezőbbé tehető a szárny mögötti szabadörvények intenzitása és eloszlása, melyek a mezőgazdasági repülésben lehetnek igen előnyösek.

A szárnyvégi régió aerodinamikájának problémái, valamint a különféle típusú szárnyvég kialakítások felhasználása akkor vetődött fel, amikor a fejlesztő mérnökök azt tanulmányozták, hogy milyen módon lehet javítani a már létező repülőgépek aerodinamikai, szerkezeti tulajdonságait és szélesíteni az üzemeltetési tartományait. Például, a Boeing 747 típus korszerűsítése során a 400-as szériát már winglettel látták el. Ennek következtében a szárnyon, a külső hajtóműgondola bekötésénél, utazó repülés közben "repülés szemmel" jól látható "törés" megszűnt.

A szárnyvég megfelelő kialakításával javíthatjuk a repülőgép stabilitási és kormányozhatósági tulajdonságait. Az örvény kialakulásának, illetve az örvénysor struktúrájának részletes tanulmányozása előnyös a szárnyvégi felhajtóerő növelő eszközök optimális geometriai méreteinek kiválasztásához a merevszárnyas repülőgép szárnyainál vagy akár a helikopter forgószárny lapátoknál. A különféle végkialakítású szárnyak hatékonysága azonban lényegesen függ a repülési üzemmódpármeterektől (mint például a Mach-számtól, a Reynolds-számtól vagy a felhajtóerő tényezőtől), valamint számos szerkezeti tényezőtől, úgymint a flatterrel összefüggő biztonsági tényezőtől, illetve a csűrőfelületek helyzetétől. Ezeket mind figyelembe kell vennünk a szárnyvég végleges kialakításakor.

Az elmúlt 20-25 évben a különféle szárnyvég kialakításokat széles körben [1] [2] [3] [6] [9] tanulmányozták szélcatsornákban, kísérleti repülések során, valamint a numerikus aerodinamikai módszerek alkalmazásával. Ezek a vizsgálatok főleg azt célozták meg, hogy hogyan csökkenthető az indukált ellenállás, a szárnyra ható hajlító és csavaró nyomaték kedvezőtlen megváltozása nélkül. Az eredmények azt mutatták, hogy

a legkisebb változtatások a szárnyvég alakján, térbeli helyzetén vagy akár csak a szárny oldalél kialakításán jelentős befolyást gyakorolhatnak a szárnyra ható nyomatókokra.

2. A SZÁRNYVÉGI FELÜLETEK HATÁSA AZ AERODINAMIKAI JELLEMZŐKRE

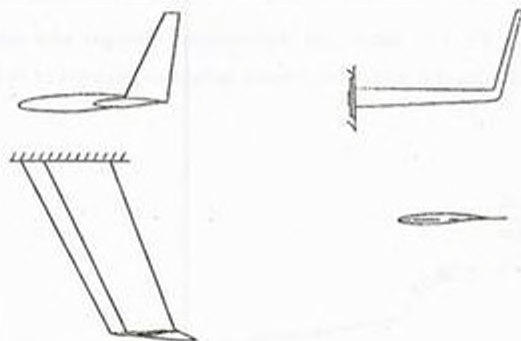
A legtöbb szárnyvég kialakítási elgondolás megvalósítatlan maradt, néhány még csak a tervező asztalon létezik, és csak igen kevés került alkalmazásra napjaink repülőgépein. Jelenleg a következők tűnnek aerodinamikai szempontból a legígéretesebbnek [6]:

- wingletek (winglets);
- összetett alakú szárnyvégek (wing tips of complex planforms);
- többelemű szárnyacsokkák (multi element sails).

2.1. A WINGLET

A winglet hatékonysága a geometriai paraméterek helyes kiválasztásától függ, úgymint relatív felület, alak, elcsavarás, szárnyprofil, a szárnyhoz képesti helyzet (például beállítási szög), valamint a szárny és a winglet közti átmenet alakjától. A 3. ábra egy felső elrendezésű winglettel ellátott szárny háromnézeti rajzát mutatja.

A tanulmányok azt mutatták, hogy a wingletek jelentős hatást gyakorolhatnak a modern, jól manőverezhető repülőgépek viszonylag kis karcsúságú szárnyaira is. Az indukált ellenállás csökkenése főleg a winglet dőlési szögétől és terjedtségétől függ. Elméletileg, mind kis, mind a nagy karcsúságú szárnyakon csökken az indukált ellenállás. A valóságban azonban a helyzet sokkal összetettebb. Az erősen nyilazott, trapéz alakú kis karcsúságú szárny körüli áramlásban jobban fejlődnek ki a térbeli örvények és leválási zónák (lásd az 1. és a 2. ábrákat). Ez az áramlási rendszer módosítja az összenyomhatóság hatását szárny aerodinamikai jellemzőire a transz- és a szuperszonikus sebességtartományokban.



3. ábra
Wingletes szárny

A 4. ábra a

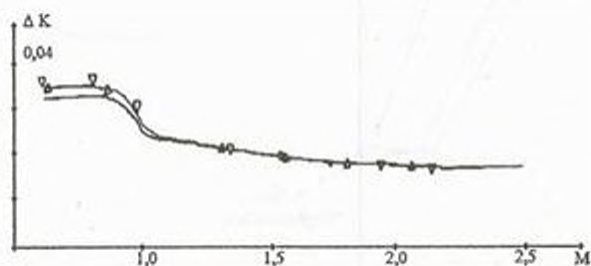
$$\Delta K = \frac{K_{\max \text{ wing}} - K_{\max}}{K_{\max}} \quad (2.1)$$

viszonylagos jósági szám növekedést szemlélteti a repülési Mach-szám függvényében, ahol:

- $K_{\max \text{ wing}}$ - a maximális jósági szám wingletes szárny esetén;
- K_{\max} - az alapszárny maximális jósági száma.

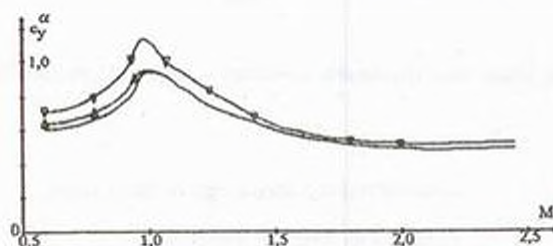
A grafikonon jól látható, hogy ΔK a szubszonikus tartományban csak kis mértékben változik. Bár a kritikus Mach-szám fölött erősen csökken, értéke még a szuperszonikus zónában is pozitív marad.

A felhajtóerő-tényező görbe c_y^α -jelű deriváltjának változása (5. ábra) azt mutatja, hogy a 0,6–1,25 Mach-szám tartományban a winglet alkalmazása kis mérvű növekedést eredményez a felhajtóerő-tényező görbe meredekségében az alapszárnyéhoz viszonyítva.



4. ábra

A viszonylagos jósgái szám növekedés változása a repülési Mach-szám függvényében



5. ábra

c_y^α változása a Mach-szám függvényében

Az elvégzett vizsgálatok azt mutatták, hogy mind aerodinamikai, mind szerkezeti szempontból a felső elrendezésű wingletek némiképp előnyösebbek, mint az alsók, különösen viszonylag nagyobb Mach-számok és kisebb felhajtóerő-tényezők esetén.

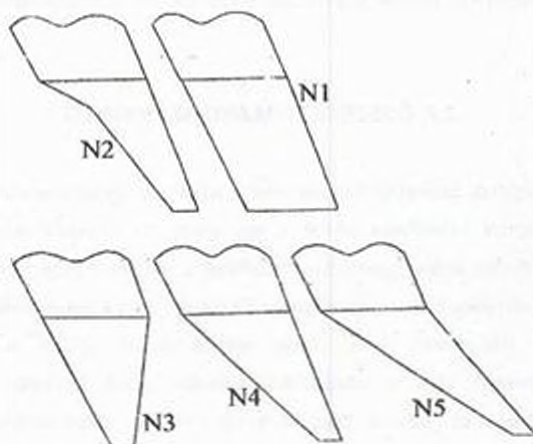
Előfordulhat azonban olyan repülőgép, amelynél - az üzemeltetési sajátosságai folytán - az alsó, vagy az alsó és felső elrendezés kombinációja jobb eredményhez vezetett.

A felhajtóerő-closzlás szárnyvégi növekedése, valamint a wingleten keletkező aerodiamikai erő azt eredményezik, hogy megnő a szárnyra ható hajlító nyomaték. A kísérleti eredmények szerint a szubszonikus sebességi tartományban a felső elrendezésű winglet nem változtatja meg jelentősen a szárnyra ható hajlító nyomaték nagy állásszögeknél, viszont szuperszonikus sebességnél gyakorlatilag az egész állásszög tartományban növeli a fellépő hajlító nyomatékot. A winglet a mérsékelt sebességtartományban való alkalmazása is eredményes. Például a *Discus* vitorlázó repülőgép esetében a sebességtől függően megközelítőleg 2 - 5 % (maximum 6 %) -os jósági szám növekedés tapasztalható. A gép stabilabbá vált, gyorsuló képessége azonban romlott.

2.2. ÖSSZETETT ALAKÚ SZÁRNYVÉG

A wingletek használata hatásos mód a repülőgép jósági számának növelésére, mindezek ellenére használatuk növeli a gép súlyát, az orrméhz nyomatékot és a szárnytőben ébredő hajlító nyomatékot. Ezenkívül a wingletek meglehetősen magasak, legalábbis a szárnyvég húrhosszához képest. Ez viszont néha a felszerelésüket gyakorlati szempontból lehetlenné teszi, illetve megkérdőjelezi például a helikopterek forgószárnylapátjain vagy a változtatható nyilazású gépek szárnyain. Ezekben az esetekben felmerül az összetett alakú szárnyvég kialakítás alkalmazásának lehetősége. Figyelembe véve, hogy a szárnyvég alakjának egyszerű módosítása nemcsak az összellenállást csökkenését vonja maga után, hanem a szárnytőben ébredő hajlító nyomatékot is csökkenti. Az ilyen szárnyvég típusok a szárny külső részének alakját módosítják, megváltoztatva annak nyilazását, trapézviszonyát, alaprajzát és elcsavarását. Lehetséges összetett szárnyvég kialakításokat szemléltet a 6. ábra.

Az összetett alakú szárnyvégek körüli áramlás fő tulajdonságaira és a szárny aerodinamikai hatékonysága növekedésének akár a 6. ábrán bemutatott szárnyvég kialakítások számítási és kísérleti eredményeinek analízise világított rá. A szárny felületének relatív csökkenése nyilvánvalóan a sűrűdési ellenállás csökkenéséhez vezet, ami az összetett alakú szárnyvég hatékonyságát javítja kis felhajtóerő-tényezők esetén is. Ez fontos tulajdonsága az ilyen típusú szárnyvégeknek, amikor az indukált ellenállás csökkenése nagyobb mint a kiegészítő aerodinamikai felület alaki ellenállása. A klasszikus szárnyelméletek szerint a vizsgált végkialakítású szárny karcsúságának növelése az indukált ellenállás csökkenéséhez vezet a cirkuláció a szárnyterjedtség menti átrendeződése következtében.

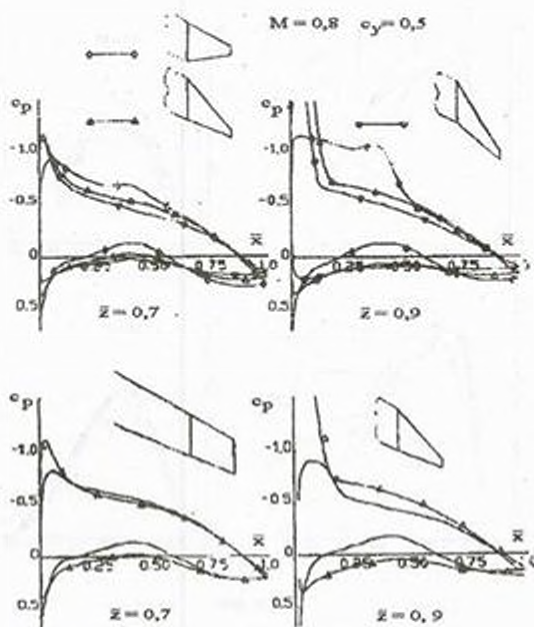


6. ábra
Vizsgált összetett alakú szárnyvég kialakítások

A 7. ábra a nyomástényező húrmenti eloszlását mutatja a $\bar{z} = 0,7$ és $\bar{z} = 0,9$ szárnymetszetekben az effektív nyílazásukban különböző szárnyvég kialakítások esetén.

Azt a tényt, hogy az összetett alakú szárnyvégek hatásosságát nem csak a felület csökkenése által megnövel geometriai karcsúság határozza meg, a kísérleti és a számítási

eredmények, valamint összehasonlításuk is alátámasztják. A számított eredmények alapján, a felhajtóerő növelő szerkezetek felszerelése következtében, a geometriai karcsúság növelése az indukált ellenállás megfelelő csökkenéséhez vezet. A szélsatornában végzett vizsgálatok azonban azt mutatták, hogy azonos geometriai karcsúság és felület mellett a szárnyvég alakja is hatással van az aerodinamikai karakterisztikákra.

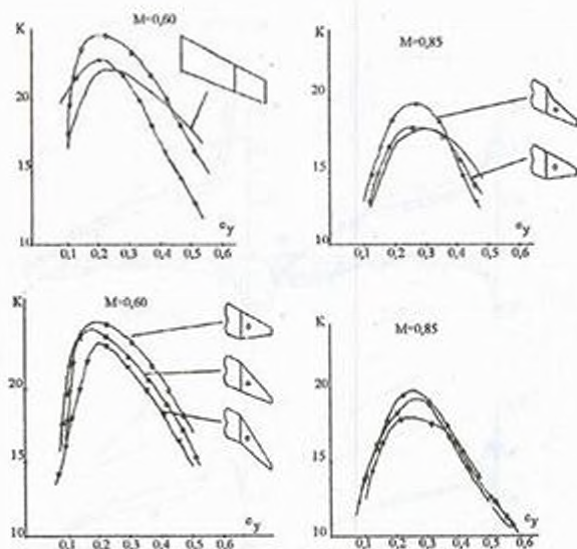


7. ábra

Nyomás tényezők változása a húr mentén

A 8. ábrán mérési eredmények láthatók, melyek a nyílazott végű szárny jósági számának változását szemlélteti a felhajtóerő-tényező függvényében, azonos Mach-számok esetén. A kritikus fölötti Mach-számoknál (8.b és 8.d ábrák) és olyan

felhajtóerő-tényező értékek esetén, amelyek kisebbek a maximális jósági számhoz tartozó $c_{yK_{\max}}$ felhajtóerő-tényezőnél, nem keletkezik hullámmellenállás és áramlásleválás a szárnyon. A fő jósági szám javító tényező az, hogy a szárny felület csökkentve az csökkenti az indukált és a sűrűdési ellenállást. A $c_{yK_{\max}}$ felhajtóerő-tényező érték felett a kis húrhosszúságú szárnyvégi szelvények felső oldalán helyi leválások keletkeznek, amelyek a jósági szám jelentős csökkenéséhez vezetnek.



8. ábra

A jósági szám változása a felhajtó erő tényező függvényében

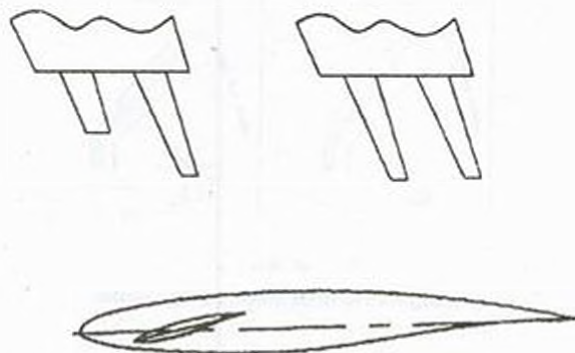
Az alapszárnyénál nagyobb nyílzási szögek használata, a szárnyvégen (N4, N5 kialakítások a 6. ábrán), a szárny eredő nyílzási szögének növelésével, növeli a kritikus Mach-szám értékét. Az N3 típusú szárnyvég (ahol a belépőél a szárny belépőélének a folytatása) hatékonyságának romlása kritikus Mach-szám feletti üzemmódon (lásd 8.c és 8.d ábrák \blacklozenge - görbét), ahogy a számítások mutatták, az erősebb lökéshullámokkal

kapcsolatos. A megnövelt nyílzási szög miatt a szárnyvég megtartja a hatásosságát a kritikus feletti Mach-számokon is, amikor a szárnyon már lökeshullámok figyelhetők meg.

Az összetett alakú szárnyvégek felszerelése, a kísérleti és a számítási eredmények bizonyítják, nemcsak a jósági számot javítja, de csökkenti a szárnytöbén ébredő hajlító nyomatékot az általánosan alkalmazott szárnyakhoz viszonyítva, valamint növeli a faroknehéz nyomatékot is.

2.3. A TÖBBELEMŰ SZÁRNYACSKÁK

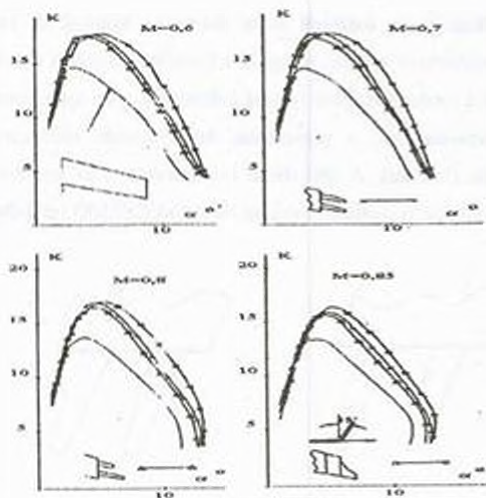
A wingletek és az összetett alakú szárnyvég kialakítások mellett egy újabb aerodinamikai felülettypust kezdtek vizsgálni a kutatók az indukált ellenállás csökkentése érdekében. Ezek a részletes tanulmányozást érdemlő ígéretes, többelemes eszközöket, az úgynevezett szárnyacskákat, a végszelvény húrja mentén elhelyezett aerodinamikai felületek alkotják (9. ábra). A többelemű szárnyacskák - az oroszországi CAGI-ban végzett - aerodinamikai vizsgálatáról számol be KRAVCSENKO cikkében [6].



9. ábra

A vizsgált többelemű szárnyacskák kialakítása

A szárnyvégi szárnyacskák használata a számuk és a terjedtségük függvényében az egész szárny hajlító nyomatéki terhelésének növekedését jelenti. Azonban ez a növekedés lényegesen kisebb mint, ha a szárnyat a szárnyacskák terjedtségével növeltük volna meg. Bármilyen fajta szárnyvégre szerelt kiegészítő használatakor figyelembe kell venni azt, hogy nem csak a szárnytő hajlító nyomatéki terhelése fog növekedni, hanem az adott kiegészítő elem bekötési pontjának az igénybevételét is. A választott elem típusát az alapszárny teherbírása, valamint az egész repülőgépre érvényes méretkorlátozások figyelembevételével kell meghatározni.



10. ábra

A jóságí szám változása az állásszög függvényében

3. SZÁRNYVÉGI FELÜLET ALKALMAZÁSA A MEZŐGAZDASÁGI REPÜLÉSBEN

A mezőgazdasági repülés lényege a különféle vegyi anyagok (műtrágya, permet vagy por) kiszórása a földfelületre vagy a növényzetre egy kis földfeletti magasságban végrehajtott repülés során. A permetező anyag a szórócsövekben elhelyezett fúvókákon keresztül kerül a szárny mögötti légtérbe, ahol az egyes cseppekre a súlyerő, valamint a légerők hatnak. A kiszórt anyag hatása csak egyenletes eloszlás esetén tekinthető jónak, lásd 11.a ábrát. A szóróképet legjelentősebben a szárny befolyásolja, a mögötte kialakuló szabad örvényeken keresztül. A cirkuláció-eloszlás csökkenésének jellege meghatározza a szárnyvég-örvény jellemzőit (például az örvénymag intenzitását). A szárnyvég-örvény a permetcseppekre akkor hat, amikor az már felcsavarodott.

A vizsgálat - melyről a [3] irodalomban GAUSZ és STEIGER számol be - a célja az volt, hogy ezen szárnyvég-örvények a permetcseppekre gyakorolt hatását csökkentsék a szórászélesség maximalizálásával egy időben.

Első lépésként megállapították, hogy az örvények hatása csökkenthető, ha a szórócsöveket kissé leengedik, illetve ha a fúvókák elrendezését optimalizálják. E két módosítás is látható a 11. ábra jobb oldalán (a bal oldal a kiindulási konfigurációt mutatja).



11. ábra

A winglet és a szórócső elhelyezése az M-18 Dromader repülőgépen

A következőkben egy winglet tervezését, hatásának aerodinamikai, repülésmechanikai és szilárdsági kérdéseit vizsgálták meg.

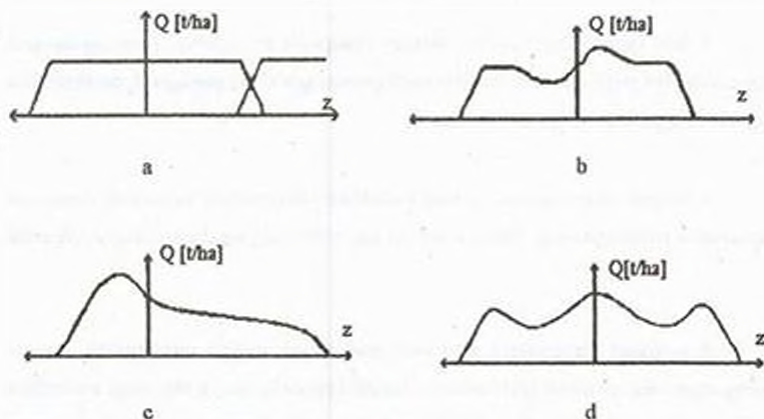
A kutató munka elvégzéséhez a PZL M-18 *Dromader* típusú repülőgépet választották ki. A gép 1:20 méretarányú modelljét az Aacheni Műszaki Egyetem szélcsatornájában vizsgálták. Az alapmodellen kívül négy különféle winglettel ellátott modellt próbáltak ki a modellkísérletek során. Ezen mérések célja a módosított szárnyú repülőgép iránystabilitási, illetve csúszásos repülés esetén a csűrési tulajdonságok megállapítása volt. A végső winglet alakját ezen mérések alapján választották ki, de a méret szempontjából döntő jelentőségűek a szilárdsági kérdések voltak.

A kiválasztott megoldás végleges technológiai terveit Szelestey Gyula készítette el, a gyártásra a nyíregyházi repülőtér műhelyében került sor.

A winglet elsősorban az alapszárny terjedtség menti cirkuláció eloszlását befolyásolja. A végleges, NACA 4412 profilú, winglet negatív beállítási szöge következtében a szárnyvég-örvény középpontja kifelé tolódott. Hasonlóképpen a negatív beállítási szög, valamint az elcsavarás következménye az volt, hogy az örvénymag kinetikai energiája a winglet esetén nagyobb lett - ez pedig a súrlódási energia-disszipáció (energia elnyelődés) növekedésével végül az örvény hatásának gyengülését vonta maga után. A vizsgálatok során megállapították, a vizsgált winglet növeli a csűrőhatásosságot, mivel a szárnyon keletkező felhajtóerő nagyobb része ébredt a csűrő által befolyásolt szárnyszakaszon.

A winglettel ellátott gép elkészülte és berepülése után két repülővel (eredeti szárny, wingletes szárny) a nyíregyházi repülőtéren végeztek kísérleteket a szórásképek meghatározására. A mérési program összeállításánál a két szárnykialakítás hatásain túlmenően az eredeti és az optimalizált fűvóka elrendezés, illetve a szórócső szárnytól mért távolsága növelésének hatását is vizsgálták a szórásképre.

A kísérletek során a MÉM Reptilógépes Szolgálat standard mérési módszereit (filmszikok elhelyezése a talaj közelében, a repülési irányra merőlegesen) alkalmazták.



12. ábra

Szórásképet befolyásoló tényezők

A mérési eredmények alapján megállapították, hogy az elméletileg kívánatos "trapéz" szórásképet (12.a ábra) több tényező is befolyásolja. Ezek:

- a légszavár a szóráskép közepén hoz létre egy kisebb aszimmetriát (12.b ábra);
- az oldalszél a szórásképet oldalra tolja és a kisebb átmérőjű cseppeket tovább sodorja (12.c ábra);
- a szárnyvégi örvények a szórásképet többé-kevésbé szimmetrikusan szélesítik (12.d ábra);

- a földfeletti repülési magasságnak a peremtezési magasság tartományon belüli növelésével csökken a szórászélesség, az úgynevezett talajhatás gyengülése következtében.

A fenti tapasztalatok alapján, átlagos oldalszelet feltételezve, adott légesavaros gépre, valamint meghatározott repülési munkasebességre és magasságra optimalizálták a fűvókák elhelyezését a szórócső mentén.

A winglet elhelyezésének és más különböző változtatások hatásainak számszerű elemzését a szórászélesség, illetve a szórási egyenlőtlenség meghatározásával végezték el.

A repülések tapasztalatai és a mért eredmények alapján megfigyelték, hogy a szárnyvég-örvény a szórásképet szélesíti. Hasonlóképpen láthatóvá vált, hogy a winglet a szárnyvég-örvényt kijebb tolja és felfelé emeli. A szórászélesség csökkent, ha az eredeti kialakítású szórócsövet a winglettel ellátott szárnyal alkalmazták.

A winglet a szórócső eredeti pozíciójában de már az optimalizált fűvóka elrendezéssel kb. 4,5 m-rel (25 m-ről 29,5 m-re) megnövelte a szórásképet szélességét. Viszont a szórás egyenlősége, ha kis mértékben is, de növekedett. A leengedett szórócső a winglettel és a fűvókák optimalizált elrendezésével a szórásképet az előző esethez képest kisebb mértékben ("csak" 28 m-re) növelte, de a szórás egyenlőségét nagymértékben javította.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekben bemutatott kísérleti és számítási vizsgálatok eredményei, csakúgy mint más, a témával kapcsolatos kutatások, bizonyítják a szárnyvégre szerelhető aerodinamikai felületekben rejlő lehetőségeket a hatékonyság növelésére a napjaink, valamint a jövő repülőgépei számára. Azonban, a kérdés megmarad a különböző típusú

elemek gyakorlati használatának célszerűségéről és az adott feltételek melletti optimális kialakítás meghatározásáról.

Az egyik fontos kérdés a szárnyvégi kiegészítő elemek tanulmányozásánál, hogy meghatározzuk az egyes elemek alkalmazása következtében keletkező örvényben (vagy örvényrendszerben) az áramlás jellegét, szerkezetét. A fenti kérdések pontos megválaszolására a téma kutatásának folytatásával lehet választ adni.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Asai, K.**, Theoretical Considerations in the Aerodynamic Effectiveness of Winglets, *Journal of Aircraft*, vol.22, N-7, 1985.
- [2] **Barnard, R.H.**, Evaluation of Low-Speed Handling and Direct Lift Control Characteristics of a Wing with Collectivelz Variable Incidence Tip Elements, *Proceedings of 19th Conference of ICAS, Anaheim, 1994.*, pp.785-789.
- [3] **Gausz T, Steiger I.**, Mezőgazdasági repülőgépek szórásképp eloszlásának vizsgálatai, IX. Magyar Repüléstudományi Napok, Budapest, 1988., pp 10-23.
- [4] **Gausz T.**, Szárnyprofil, szárny és légesavar vizsgálata, BME. Repülőgépek és Hajók Tanszék, Budapest, 1995.
- [5] **Gruber J., Blahó M.**, Folyadékok mechanikája, Tankönykiadó, Budapest, 1963.
- [6] **Kravcsenko, S.A.**, The Application of the Wing Tip Lifting Surfaces for Practical Aerodynamics, *Proceedings of 20th Conference of ICAS, Sorrento, 1996.*, pp.1338-1348.
- [7] **Pásztor E.**, Műszaki hő- és áramlástan, egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.

- [8] Pokorádi L., Areodinamika III., főiskolai jegyzet, MH.SzRTF, Szolnok, 1993.
- [9] Spillman, J.J., Wing Tip Sails: Progress to date and future developments, Aeronautical Journal, December 1987.

AERODYNAMICAL INVESTIGATION OF WING TIP LIFTING SURFACES NOWADAYS

Resume

Nowadays, the modern heavy transport aircraft (Boeing 747 - 400, C - 17) have some winglets, wing tips of complex planforms or multi-elements sails to improve aerodynamical and flight-mechanical features of the aircraft. The different wing tip lifting surfaces have been studied by using wind-tunnels, test-flights and CFD methods for the last 20 - 25 years. On the basis of the special literature, our paper shows the newest results of aerodynamical investigations of wing tip lifting surfaces.