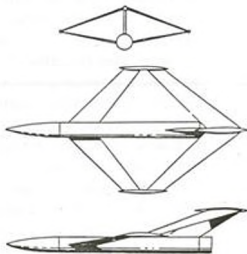


Óvári Gyula mk. őrnagy, főiskolai adjunktus:

A CSATOLT SZÁRNYAK ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK LEHETŐSÉGEI
A KORSZERŐ LÉGIJÁRMŐVEKEN

Az elkövetkező évtized korszerű légi járműveinek kutatásai során felmerült az igény a fő szerkezeti egységek - köztük a szárny - tömegének nagymértvű csökkentésére is. Több lehetséges megoldás analízisének eredményeként bizonyosodott, hogy pozitív "V" beállítású hátranyilazott szárny

és a függőleges vezérsíkra erősített negatív "V" beállítású, előrenyilazott, vízszintes irányfelület (hátsó szárny) végeinek összekapcsolásával kisebb tömegű, nagy szilárdságú hordfelületek nyerhetők (1. ábra).



1. ábra

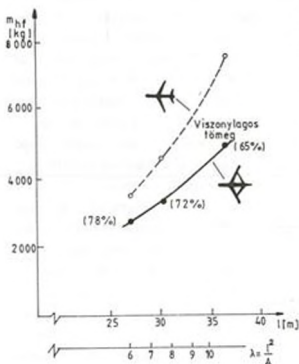
A megoldás annyira új, hogy első lépésként tisztázni kellett, milyen szerkezeti megoldások kínálják az optimális tömegcsökkentést, és ezek a konstrukciók különböző repülési sebességeken és helyzeteken, milyen aerodinamikai, stabilitási, kormányozhatósági és manőver jellemzőket biztosítanak az adott repülőszerkezetnek. E vizsgálatok jelenleg is folynak és majd csak az eredmé-

nyek ismeretében, megfelelő kompromisszumok árán hozható meg a végső döntés a kialakítást és alkalmazást illetően.

1. A csatolt szárnyak működési sajátosságai

Kísérletileg igazolható, hogy minél nagyobb fesztávolságú (1) és karcsúságú (λ) hagyományos, szabadonhordó, illetve csatolt szárnyat hasonlítanak össze, annál jelentősebb az utóbbival elérhető m_{hf} , hordfelület

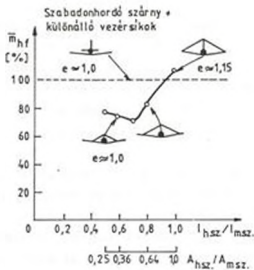
tömegmegtakarítás (2. ábra). A jobb összehasonlíthatóság érdekében mindkét szárnytípus felülete, trapézviszonya, az alkalmazott profilok viszonylagos vastagsága, a szárnyak nyílzási szöge (csatolt szárnynál hátra és előre is!), a mellső és hátsó szárnyfelületek aránya egyenlő. A szárnyak azonos kialakítású és geometriai méretű törzsekhez lettek rögzítve.



2. ábra

Valamennyi vizsgálati értéknel a szabadonhordó szárny + hátsó vízszintes irányfelület megoldás képviseli a 100 %-os szerkezeti tömeget és ehhez képest 22-35 %-os tömegcsökkenés jön létre az azonos fesztávolságú csatolt szárny alkalmazása következtében.

A kutatási eredmények alapján megállapítható, hogy az elérhető tömegcsökkenés attól is függ, hogy a hátsó szárnyvég, a mellső szárny terjedtségének hány százalékánál van rögzítve. A 3. ábra segítségével belátható, hogy a szárnyvégeknél csatolt hordfelületek tömege meghaladja a monoplánét, ugyanakkor ha a hátsó szárny a mellsőhöz terjedtségének 70 %-ánál van kapcsolva ($l_{h,sz}/l_{m,sz} = 0,7$) úgy 20-25 % tömegcsökkenés is ($m_{h,f} = 0,75-0,80$) érhető el. (A szárnyak fesztávolsága, a hordfelületek



3. ábra

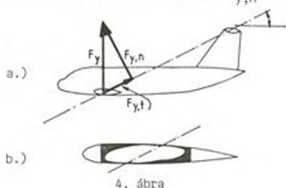
a szárnyvégi csatolású szárnyak tömege már csak 80 %-a a szabadonhordó szárny + vízszintes irányfelület megoldásának. További előnye ennek a megoldásnak, hogy a szárnyvégek összerősítésénél mindkét szárny aerodinamikai jellemzőit kedvezően befolyásoló függőleges, ármalásterelő zárólap helyezhető el.

A szárnyszerkezet terhelésvétele

A csatolt szárnyak mindegyikére hatnak a légerők, melyek közül meghatározó a felhajtóerő (F_y). Az összerősítés következtében azonban az F_y erő hatását a két szárny szerkezeti tengelyeit összekötő síkban ($F_{y,t}$ illetve arra merőleges irányba ($F_{y,n}$) kell megvizsgálni (4/a. ábra). Az

$F_{y,t}$ erő a mellső szárnyat húzásra, a hátsót nyomásra veszi igénybe, ami különösen nagysebességű, vékony profilok méretezésekor megkülönböztetett figyelmet igényel. Az $F_{y,n}$ erő ferde síkban felfelé hajtja a szárny szerkezetet, ennek következtében a szárny zárt teherviselő dobozából a mellső

főtartó és környezetének felső, a hátsó főtartó és környezetének alsó része igényel speciális megerősítést (4/b. ábra).



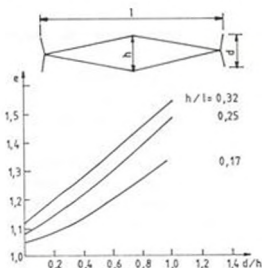
4. ábra

A hordfelületet alkotó szárnyak csavarása azért jön létre, mert a húrmentén a szerkezeti és aerodinamikai tengelyek nem esnek egybe. A szárny-szerkezet csavardó merevsége azonban jóval nagyobb a hagyományos szabadonhordó szárnyénál, mivel bármelyik alkotó szárny csavarása csak a másik járulékos hajlítása rovására jöhet létre. Kísérletek tanulsága szerint ($M_{rep} = 0,4-0,6$ tartományban) az ilyen szárnykonstrukciónak 60 %-kal nagyobb a szilárdsága a légerő terhelésekkel szemben, mint a hagyományosának.

Hagyományos szárny + vízszintes irányfelület kombináció esetén szinte a teljes légerőterhelés a törzsközéprészen adódik át a szárnyról. Az irányfelületről csak kismérvű, felfelé mutató légerőterhelés hat a törzsrre. Csatolt szárnyaknál a mellső és hátsó hordfelület két bekötési zónájában, a törzs mellső és hátsó részén egyenletesebben oszlik meg az átadódó terhelés, így kevésbé megerősített, azaz kisebb tömegű törzs alkalmazását teszi lehetővé.

2. A csatolt szárnyak aerodinamikai sajátosságai

A csatolt szárnyak aerodinamikai vizsgálatánál még számos kérdés tisztázásra vár. Elméleti számítások és szélcsatorna kísérletek is igazolták, hogy a fesztáv hatékonysági tényező (e) a mellső és hátsó szárnyak egymáshoz képest történt jelentős eltolása következtében kicsi. Növeli



5. ábra

azonban az "e" értékét a szárnyvégre felszerelt áramlástelerelő lap, illetve összefüggés mutatható ki a szárnyak és az áramlástelerelő lap geometriai méretei (arányai) között (5. ábra):

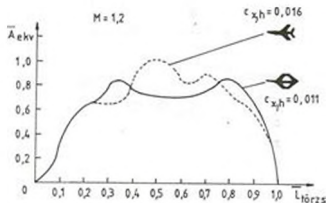
A törzs megléte (izolált szárnyhoz képest!) csökkenti a fesztáv hatékonysági tényezőt. Csatolt szárnyú gépek esetében azonban ez is kisebb mértékű, mint más, egy- vagy kétfedélű konstrukcióknál, mivel a hátsó szárny gyakorlatilag mentes a törzs hatásától.

Valamennyi vonatkozó kísérlet azt igazolja, hogy a szárnyak összekapcsolása nem eredményez lényeges interferencia-ellenállás növekedést, ($M = 0,4-0,95$ tartományban nem haladja meg a 7 %-ot). Ez több okra is visszavezethető:

- a hordfelületek sem az áramlás irányából, sem felülnézeti alaprajzuk szerint nincsenek átfedésben;
- a mellső szárny törzshöz történő csatolása, annak mellső szakaszán, a hátsóé a törzs zavarási zónáján kívül, a függőleges vezérsík felső részén történik. Hagyományos szárnyelrendezésnél ez a kapcsolódás rendszerint a törzs középső, legvastagabb részénél valósul meg, így a létrejövő áramlás-leszakadás következtében az interferencia ellenállás is nagyobb a szárny törzészén;
- a szárnyvégein csatolt szárnyak közepes aerodinamikai húr hossza (KAH) segítségével számított Reynolds-szám kisebb, mint az ekvivalens hagyományos szárnyé, így a felületén kialakuló áramlás magasabb M -számig képes megőrizni lamináris jellegét.

A hangsebesség feletti repüléskor létrejövő hullámellenállás nagysága is kisebb valamivel a hagyományos szárnyelrendezésű repülőgépnél. Ez az alábbi okokra vezethető vissza:

- azonos szárnyfelület (A) és viszonylagos vastagság (\bar{c}) esetén a csatolt szárny alkalmazása inkább lehetővé teszi a térszabály (felületszabály) betartását, azaz aerodinamikailag ideális közelítő, orsó alakú test kialakítását az ekvivalens felületekből (\bar{A}_{ekv}) (6. ábra).



6. ábra

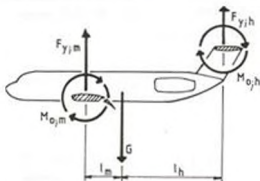
- a felhajtóerő egyenletesebben osztható el a törzs hossza ($L_{törzs}$) mentén;

- a szárnyvégi összerősítés, valamint a törzshöz történő kettős kapcsolódás vékonyabb profilok beépítését teszi lehetővé, mint hagyományos szárnymegoldásnál.

Ahhoz, hogy a csatolt szárnyakkal - a lényeges felületnövelés nélkül - történő felhajtóerőnövelés lehetséges, a kormányzás és stabilizálás kérdései megérthetőek legyenek, célszerű megvizsgálni a létrejövő légerők hatásmechanizmusát. Az összekapcsolt szárnyelemek mindegyike elfordítja maga mögött a légáramlást, de ezáltal egymásra is hatást gyakorolnak. Ez azt eredményezi, hogy ismert geometriájú, aerodinamikai tulajdonságú, hagyományos, különálló szárnyakat összekapcsolva, a korábbiaktól eltérő jellemzőkkel rendelkező, minőségileg új hordfelület jön létre.

A 7. ábra segítségével a csatolt szárnyú repülőgépre ható erők és nyomatékok tanulmányozhatók. Egyenes vonalú, csúszás és dőlés mentes,

$v = \text{const}$, $H = \text{const}$ értékkel jellemezhető repülés közben, a mellső és a hátsó szárny fókuszában felhajtóerő ($F_{y,m}$; $F_{y,h}$) hat, amelyek kiegyensúlyozzák a gép súlyát, illetve nyomatékokat képeznek a szárnyak szerkezeti tengelyéhez és a gép súlypontjához képest



7. ábra

$$F_{y,m} + F_{y,h} = G$$

$$F_{y,m} \cdot l_m + M_{o,m} + M_{o,h} = F_{y,h} \cdot l_h \quad (*)$$

ahol:

$M_{o,m}$, $M_{o,h}$ - a mellső és hátsó szárny szerkezeti tengelyére vett csavaró nyomaték.

Belátható, hogy a gép kiegyensúlyozhatósága szempontjából a két szárny áramlási viszonyait úgy kell meghatározni, hogy a mellső áramlásleszakadásos üzemének létrejötte után a hátsó még csak $c_{y,max}(\alpha_{kr})$ alatti értéket érjen el.

Ez lehetővé teszi a repülőgép és vele együtt a mellső szárny állásszögcsökkenését, ezáltal az egyensúlyi (áramlásleszakadás mentes) állapot visszaállítását.

Írjuk fel a x -gal jelölt egyenletet az alábbi formában:

$$F_{y,h} = F_{y,m} \cdot \frac{l_m}{l_h} + \frac{M_{o,m} + M_{o,h}}{h}$$

vagy tovább alakítva:

$$\frac{c_{y,h}}{c_{y,m}} = \frac{A_m \cdot l_m}{A_h \cdot l_h} + \frac{M_{o,m} + M_{o,h}}{c_{y,m} A_h l_h q} \quad (**)$$

ahol: A_m ; A_h - a mellső és hátsó szárny felülete.

A $\frac{A_m \cdot l_m}{A_h \cdot l_h}$ érték statikusan stabil repülőgép esetében mindig kisebb egynél.

Amennyiben a mellső és hátsó szárny felülete, az előre és hátra nyilazási szög egyenlő, úgy $l_m/l_h < 1$ azért, hogy az egész repülőgép fókusza közelebb legyen a mellső (izolált) szárny fókuszához, mint a hátsó (izolált) szárnyéhoz. Ez azért szükséges, mert

$$c_{y,h}^{\alpha} = 1 - \frac{d\epsilon}{d\alpha} c_{y,iz}^{\alpha}$$

ahol: ϵ - a szárny mögötti áramlás elfordulásának szöge;

$c_{y,iz}^{\alpha}$ - az izolált szárny c_y^{α} értéke.

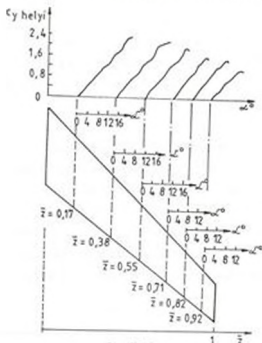
A legnagyobb $\frac{A_m l_m}{A_h l_h}$ érték akkor érhető el, ha

- $c_{y,m}$ értékét csökkentjük a $c_{y,h}$ -hoz képest, a hátsó szárny nyílzási szögének csökkentésével;
- a mellső és hátsó szárny profiljának megválasztásakor is figyelembe vesszük, hogy $c_{y,h} > c_{y,m}$ kell legyen;
- a hátsó szárny húr hosszát megnövelve az elsőhöz képest, csökken az AC pont hátravándorlása M növekedésével;
- $\frac{dE}{d\alpha}$ értékét csökkenti a mellső és hátsó szárny függőleges távolságának, azaz a függőleges vezérsík méretének növelése, illetve szárnyvégi áramlásterelő zárólapok alkalmazása;
- kihasználják a csatolt szárnyak azon aerodinamikai sajátosságát, hogy fokozott mértékben csillapítják a keresztengely körüli mozgásokat. Így x_{sp} hátrább helyezésével a hosszstabilitás csökkenthető (mivel $m_z^y = \bar{x}_{AC} - \bar{x}_{sp}$), ami egyben javíthatja a kormányzási, manőverezési jellemzőket. Ez - a magas kormányzási c_y értéket is figyelembe véve - akár $m_z^y > 0$ reláció, vagyis aktív vezérlés kialakítását is célszerűsíti.

A (**)-gal jelölt egyenlet második tagjának növelése az M_0 növelésével, illetve pozitív értéken tartásával lehetséges. Erre a következő lehetőségek kínálkoznak:

- a szárnymechanizáció különböző mértékű kitérítése (első szárnyon többen, a hátsó végrészen maximális értékű fékszárnykitérítés) biztosítja M_0 pozitív értékét (7. ábra) pozitív hosszszóllési szög esetén;

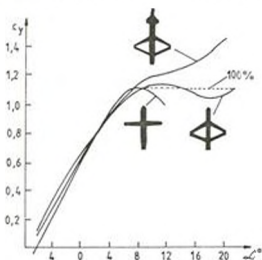
- a belépőél tőszakaszán szárnymechanizációs működtetése;



8. ábra

szárny kiegyensúlyozó hatása érvényesül. A kísérleti eredmények azt is megmutatták, hogy a szárny törésén létrejövő felhajtóerő-tényező növekmény nagysága meghatározóan függ a profil orr-részének geometriai kialakításától. (Például vékony, éles belépőél, $\chi = 40^\circ$ -os szárny-nyílazás esetén 22 %-kal nagyobb $c_{y,max}$ értéket eredményez!)

Amennyiben csatolt szárnyú repülőgépre elöl elhelyezett ("kacsa" elrendezésű) vízszintes irányfelületet is építenek, úgy róla leváló örvénylések hatására megnövekszik a mellő szárny felhajtóereje. Kísérleti



9. ábra

- a törzset megfelelő aerodinamikai kialakítással bevonni a felhajtóerő termelésben;

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a felhajtóerő-tényező maximuma ($c_{y,max}$) a mellő nyílazott szárnyon a szárnytól felé növekszik (8. ábra). Ez hasznosnak tekinthető a csatolt szárny egészére, mivel a mellő szárnyon folyamatosan növekvő $c_{y,max}$ növeli az emelő nyomatékot létrehozó légerőt. A kritikus állásszög érték felé emelkedésekor a hátsó

eredmények alapján 60° -os nyílazási szögű mellő, vízszintes irányfelületek alkalmazása csatolt szárnyal több, mint 20 %-kal, míg magában a csatolt szárny 4-7 %-kal nagyobb felhajtóerőt eredményezett, mint azonos felületű hagyományos szárny (9. ábra). Eközben a kritikus állásszög is $\alpha_{kr} > 22^\circ$ felé emelkedett.

3. Csatolt szárnyú repülőgépek stabilitása és kormányozhatósága

A szárnyaknak és irányfelületeknek méret, elrendezés és az összekapcsolás helye, módja szerint számos kombinációja lehetsége, ezért nincs is univerzális törvényszerűség a csatolt szárnyú repülőgépek stabilitásának és kormányozhatóságának egzakt, matematikai meghatározására.

A szélcsatorna kísérletek során közepes és nagy állásszögeken ($\alpha > 8^\circ$) a csatolt szárnyú modellek nagy részénél (de nem mindnél!) enyhe orrnehéz, bólintó tendencia tapasztalható. Ezt egyrészt az AC-tengely húr-hossz irányába történő hátratulódása ($\approx 13\% h_{t0}$), másrészt a mellső szárny részleges áramlásleszakadásos üzemmódja okozhatja. Kettős nyílazási szögű mellső szárnynál csökken ($\approx 6\% h_{t0}$), különálló mellső, vízszintes irányfelület alkalmazása esetén meg is szűnhet, vagy emelési hajlamra változhat a bólintási tendencia.

Hosszirányú kormányozhatóság

A magassági kormánylapok elhelyezhetők egyidejűleg mindkét szárnytagon, csak az egyikben, esetlegesen kizárólag a mellső vízszintes irányfelületen.

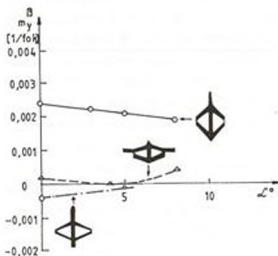
A mellső szárnyon elhelyezett magassági kormánylap hatékonyságát rontja a hátsó szárny által elfordított leáramlás. Az áramlás lefele történő kitérítésekor a két szárny közötti felhajtóerő-megoszlás átrendeződése következtében némileg csökken az együttes felhajtóerő és növekszik a faroknehéz nyomaték.

A hátsó szárnyon elhelyezett magassági kormánylap működtetése alig befolyásolja a szárny nyomásközéppontjának helyzetét, illetve a mellső szárnyon létrejövő felhajtóerő nagyságát.

A magassági kormányok mindkét szárnyon történő egyidejű működtetése a hatékony kormányzás mellett - differenciált azonos értelmű kitérítéssel - a felhajtóerő vezérlését is lehetővé teszi. (Aktív vezérlés, 5-6 szabadságfokú kormányozhatóság!)

Kereszt- és útirányú stabilitás

Az 1. ábrán látható modellel végzett kísérletek tapasztalatai szerint az oldalirányú csúszás szöge (β) és a létrejövő oldalirányú nyomaték között lineáris a kapcsolat (10. ábra), az útirányú stabilitás mértéke megfelelő $m_y^\beta = 0,0025 \frac{1}{\text{fok}}$. A hátsó szárny negatív "V" beállításának, valamint



10. ábra

tében a hátsók által létrehozott hossz-("x"-)tengely körüli nyomaték kicsi, ezért azonos értékű együttes pozitív és negatív "V"-beállítás esetén a mellő szárny dominál.

A repülőgép egészére $m_x^\beta < 0$.

a függőleges vezérsík felületének növelése fokozza az útirányú stabilitást. Ugyanakkor különös gondot kell fordítani a két irányfelület kölcsönös helyzetének meghatározására, mert a hátsó szárny könnyen árnyékolhatja a függőleges vezérsíkot.

A csúszáskor létrejövő keresztoldási nyomaték nagysága a mellő és hátsó szárny megfelelő "V" beállításával a kívánt szinten tartható. A mellő szárnyról történő oldalirányú áramlásleválás következ-

4. A csatolt szárnyú repülőgépek szerkezeti sajátosságai és felhasználási lehetőségei

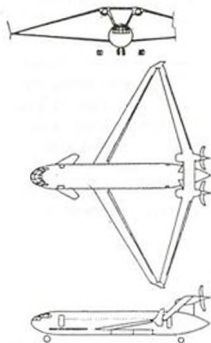
Az összehasonlító elemzések alapján megállapították, hogy a speciális szárnyelrendezés és bekötés következtében mindig új törzset kell létrehozni, nem célszerű hagyományos megoldások módosítása.

A csatolt szárnyakban rendszerint több tüzelőanyag helyezhető el, mint a vele azonos felületű szabadonhordó szárny + vízszintes irányfelület kombinációban. A szárnyvégeken összekapcsolt, hagyományos építésű szárnyakban egyenletesen elosztva 16 %-kal, a mellső szárny középrészénél összeerősített megoldásnál 33 %-kal, keszon-rendszerű tüzelőanyag tárolásnál 54 %-kal több tüzelőanyag helyezhető el a szárnyakban.

A legkisebb szárnytömeg nagy szárnynyílazási és "V" beállítási (pozitív, negatív) szögek alkalmazása mellett érhető el. Ez egyben nagykarcsúságú törzs alkalmazását is igényelné, ugyanakkor az utasszállító gépek törzsében a megfelelő komfort-szint, az optimális futóműelrendezés és minimális

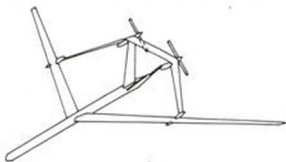
szerkezeti tömeg csak kis karcsúság mellett biztosítható. Ez az elmentmondás csak a konkrét szerkezeti elképzelések részletes analizisével, kompromisszumok árán oldható fel. Amennyiben mégis hosszú, vékony törzs építésére kerül sor, úgy célszerű a mellső elhelyezésű vízszintes vezérsík alkalmazását is megfontolni.

A hajtóművek optimális elhelyezésére a hátsó szárny és a függőleges vezérsík csatlakozási zónája tűnik legalkalmasabbnak (11. ábra). Ez rövid futóműszár kialakítására és minimális zajszint biztosítására is lehetőséget nyújt. Ezenkívül külön hajtómű-tartó konzolok beépítésére sincs szükség. Ugyanakkor kedvezőtlen, hogy a magas hajtóműelhelyezés következtében létrejövő bőlíntó nyomatékot a külső kormányzervekkel, vagy más aerodinamikai módszerekkel kompenzálni kell.



11. ábra

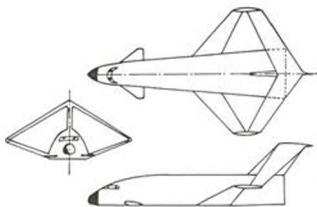
Repülésbiztonsági szempontból is kedvező a csatolt szárnyú repülőgép. A kettős szárnybekötés miatt a törzs teljes hosszába megerősített, így a deformációs terhelésvételre is alkalmasabb, nehezebben sérül kényszerleszálláskor. Durva, futótöréssel végződő leszállásnál a mellő szárny jelentős nagyságú ütközési,



a.



b.



c.

12. ábra

a szerkezet tömegét csökkenti. Legyen a vizsgált kéthajtóműves repülőgép felszálló tömege 53500 kg, amelyből a szárnyé és vízszintes irányfelületé 9500 kg. A 2. ábra alapján meghatározható, hogy az aerodinamikailag

lentos nagyságú ütközési, súrlódási energia elnyelésére alkalmas. Vízfelszínre történő kényszerleszálláskor az úszóképességet javítja a kettős szárny nagyobb belső (tartály) térfogata.

A csatolt szárnyak a légi járművek szinte valamennyi kategóriájánál alkalmazásra kerülhetnek, a távolsági robotfelderítőtől (12/a. ábra), a VTOL/STOL vadászgépen (12/b. ábra) keresztül egészen az űrrepülőgépekig (12/c. ábra). Az így nyerhető előnyök komplex elemzése még nem történt meg, de ismeretes néhány egyszerű módszer, amellyel ezek egy része prognosztizálható. A vizsgálat lényege rendszerint az, hogy csak egy tulajdonság változását kísérjük figyelemmel. Tételezzük fel például, hogy a csatolt szárny alkalmazása nem változtatja az aerodinamikai jellemzőket, csak

ekvivalens csatolt szárny tömege 40 %-kal, 3800 kg-mal kevesebb. Amennyiben ezt a tömeget a feltöltendő tüzelőanyag-mennyiség növelésére fordítják, úgy az eredetileg 11000 kg üzemanyag felhasználásával 2740 km távolságra repülő légi jármű hatótávolsága 40 %-kal növekszik.

Amennyiben nem a tömegcsökkentés a cél, lehetőség van a fesztávolság növelésére ($m_{\text{szárny}} = \text{const.}$), az eredetihez képest kisebb profilverstagság alkalmazásával. Ez egyben nagyobb repülési sebesség elérését is lehetővé teszi. Abban az esetben, ha nem szükséges a repülési távolság növelése, úgy a szállítható hasznos teher (az utaslétszám) növelésére nyílik lehetőség. Egy utas + csomag terhelését 136 kg-nak véve az eredetileg 155 fős utaslétszám 178-ra növelhető. ($L = \text{const.}$ feltétel mellett!)

A csatolt szárnyak további alkalmazhatósági lehetőségeit, előnyeit még számos kutatás kell, hogy igazolja. Az eddig elért eredmények azonban a szerkezeti megoldás későbbi elterjedését valószínűsítik.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Wolkowitch I.: The joined wing: an overview
AIAA N^o 85-0274
- Perkins I.N. - Cheatwood F.M. - Vess R.I. - Wahls R.A.:
The desing testing of several joined wing RPV's.
AIAA Paper 1985. N^o 275 p. 1-8.
- Krasznov N.F. - Kosevoj V.N.:
Upravlenie i sztabilizacija v aerodinamike
"Viszsaja Skola" Moszkva 1978.