

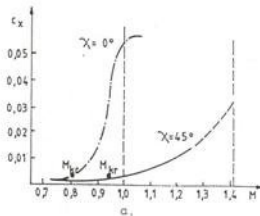
Óvári Gyula mk.őrnagy, főiskolai docens:

ELŐRENYILAZOTT SZÁRNYAK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE  
ÉS KORLÁTAI HANGSEBESSÉG FELETTI VADÁSZREPÜLŐGÉPEKEN

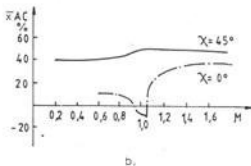
A 80-as évek első felétől a külföldi szakajtó mind gyakrabban adott hírt egy új, szokatlan formájú, előrenyilazott szárnyú szuperszónikus vadászrepülőgép megjelenéséről, illetve kísérleti repüléseiről. Tervek szerint - amennyiben a berepülési program igazolja az előzetes elvárásokat - ez a gép, az X-29-es lesz az ezredforduló egyik nagy szériában gyártott katonai légi járműve.

Mivel ezidáig a repüléstörténet alig jegyzett fel hírt előrenyilazott szárnyú repülőgép sorozatgyártásáról (hangsebesség felettiről pedig egyáltalán nem!), célszerű megvizsgálni:

- mi tette szükségessé vagy lehetővé e konstrukciós megoldást?
- milyen előnyöket, hátrányokat hordoz?
- vannak-e korlátjai az alkalmazhatóságának?



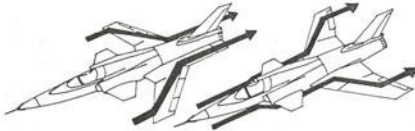
Közel fél évszázada ismert, hogy nagyobb repülési sebességeken ( $M \gg M_{kr}$ ) a légellenállás csökkentésének elengedhetetlen feltétele a nyilazott szárnyak alkalmazása. Minél nagyobb a nyilazási szög ( $\chi$ ), annál kisebb a légellenállás értéke (l.a. ábra), annál kevésbé mozdul el a szárny hirtje mentén az AC-tengely (l.b. ábra). Ez utóbbi  $M=0,9-1,4$  tartományban a hosszstabilitást befolyásolja kedvezően.



A repülőgép kereszttenyelyéhez képest a szárny hátra pozitívan ( $\chi > 0$ ), vagy előre negatívan ( $\chi < 0$ ) lehet nyilazva. E két lehetőség közül az aerodinamikai és stabilitási szempontok az utóbbi, a - hagyományos

b,  
1. ábra

szerkezeti anyagokra épülő - szilárdsági megfontolások az előbbi megoldás alkalmazását teszik indokolttá. A különbözőség alapvető oka az, hogy hátra-nyilazott szárnynál a hosszirányú áramlás a szárnyvég felé, előrenyilazott

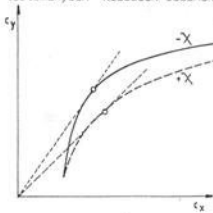


2. ábra

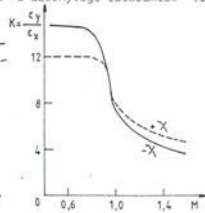
szárnynál a szárnytő irányába fordul el (2. ábra). Ennek következtében megváltozik a légörök terjedési-segmenti megoszlása.

Előrenyilazott szárnynál a nagyobb terhelés a szárnyvégről a szárny törészére kerül. Ebben az esetben - azonos nagyságú légerőt feltételezve - csökken a hajlítógérvetétel (5-10 %-kal), ezáltal a szárny szerkezet tömegének akár 10 %-os csökkentése is lehetővé válik. A megváltozott áramlási viszonyok következtében az áramlásleszakadás is először a szárnytő hátsó részén alakul ki. Ez fokozott billenésbiztonságot és egy - a dugóhúzóba esést megakadályozó - emelőnyomatékokat eredményez.

A megváltozott áramlási viszonyok következtében hangsebesség alatti tartományban kisebbek lesznek a szárnyvégi feláramlás (indukció) okozta



a.



b.

3. ábra

vesztések. Ennek eredményeként a légellenállás mintegy 10-20 %-kal csökken, ami csökkenti a hajtómű teljesítményigényét, illetve hasonló arányú tüzelőanyag-

-megtakarítást tesz lehetővé. A kisebb légellenállás ( $c_x$ ) miatt  $M < 1$  esetén megnő a gép jószágigeometria száma ( $K = c_y/c_x$ ) is (3.b. ábra).

Az előrenyilazott szárny módosult körüláramlása következtében nagyobb lesz az üzemi állásszög tartomány (3.a. ábra), ami viszont a gép manőver-jellemzőit befolyásolja.

Az előrenyilazott szárnyakat valamivel hátrább kell a törzshöz rögzíteni, amint a hátranyilazottakat, ebből adódóan;

- a szárny törzsen átmenő teherviselő elemei (főtartók, segéd tartók stb.) is hátrább kerülnek, ami a törzs belső tereinek hatékonyabb kihasználását teszi lehetővé;
- jól alkalmazható a felület- (tér-) szabály, így közel optimális törzsforma alakítható ki.

A számított előnyös tulajdonságok ellenére a 40-es években épített néhány kísérleti konstrukció kivételével (4. ábra) a 80-as évekig mindössze egyetlen kisszeriájú, előrenyilazott szárnyú repülőgép készült (az  $\chi = -15^\circ$ -os nyilazási szögű HFB-320 Hansa).



Junkers  
Ju-287

(1944)



Heinkel  
He-162C

(1945)



Cybin  
C-1 U-3

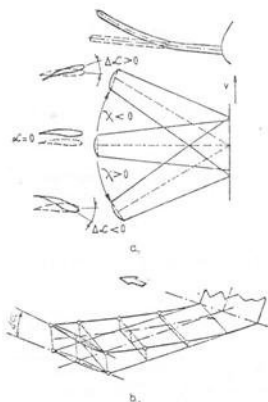
(1947)

4. ábra

egyetlen kisszeriájú, előrenyilazott szárnyú repülőgép készült (az  $\chi = -15^\circ$ -os nyilazási szögű HFB-320 Hansa).

A tartózkodás alapvető oka a hagyományos anyagból készült, előrenyilazott szárnyak nagyfokú **divergencia-hajlama**. Valamennyi szárny a rajta ébredő légerők hatására, rugalmassága következtében többé-kevésbé felhajlik.

Egyenes szárnyak ( $\chi = 0$ ) esetében csak a felhajlás megengedett mértékét kell konstrukciónál korlátozni (5. ábra), nyilazott szárnyaknál azonban a szerkezeti, szilárdsági sajátosságokból adódó elcsavarodást is figyelembe kell venni.



5. ábra

Hátranyilazott szárnyaknál ( $\chi > 0$ ) ez nem jelent gondot, mert a szárny előre csavarodik, az állásszög csökkenése felhajtóerő csökkentő hatást fejt ki. Ennek eredményeként kisebb lesz a felhajtás és ezáltal az elcsavarodás mértéke is. Előrenyilazott szárnynál ( $\chi < 0$ ) a hatás éppen ellentétes, az elcsavarodás (ön-) gerjesztő léperőt hoz létre.

Mivel a szárny rugalmas tulajdonságai a terjedés mentén változnak, az elcsavarodás mértéke is különbözni fog egyes szárnymetszetekben. A legnagyobb értéket a szárnyvégeken éri el, itt a növekmény  $\Delta\alpha = 5 \cdot 10^0$  is lehet (5. a. és b. ábra).

A divergencia kritikus sebessége a

$$v_d = \frac{\pi}{A} \sqrt{\frac{2 GI}{\rho c_y^{\infty} \left[ (\bar{x}_{Szt} - \bar{x}_{AC}) \pm \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \lambda \frac{GI}{EI} \operatorname{tg} \chi \right] \cos \chi}}$$

összefüggés alapján számolható, ahol

A - szárnyfelület;

GI, EI - a szárny csavard és hajlító merevsége;

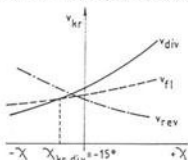
$$\bar{x}_{Szt} = \frac{x_{Szt}}{h} ;$$

- a szerkezeti tengely és AC-tengely viszonylagos távolsága a húron (h);

$$\bar{x}_{AC} = \frac{x_{AC}}{h}$$

- $\rho$  - a levegő sűrűsége;
- $$c_y^\alpha = \frac{dc_y}{d\alpha}$$
- egységnyi állásszög változás által létrehozott felhajtóerő-tényező változás;
- $$\lambda = \frac{l^2}{A}$$
- az "l" feszítévságvú szárny karcsúsága.

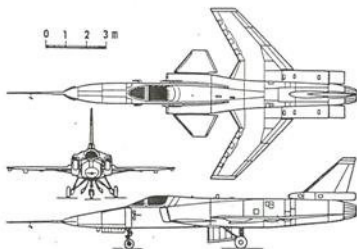
A nevezőben a "+" jel előrenyilazott ( $\chi < 0$ ) a "-" jel hátranyilazott ( $\chi > 0$ ) szárnyra vonatkozik. Ennek megfelelően az előrenyilazás növekedésével csökken a divergencia kritikus sebessége. Ez derül ki a 6. ábra alapján is. A szárnyak tipikus aeroelasztikus jelenségei, a flutter, reverzálás



6. ábra

és divergencia közül előnyilazottakra  $\chi < -15^\circ$  értéket követően az utóbbi a legveszélyesebb. A divergencia kritikus sebessége ( $v_d$ ) a szárny konstrukciós előreccsavarásával kismértékben növelhető, de a jelenséget teljesen kiküszöböllő csavarómerővség (GI) hagyományos szerkezeti anyagokkal (pl. Al-ötvözetek) csak a gazdaságosnál lényegesen nagyobb tömeg beépítésével biztosítható.

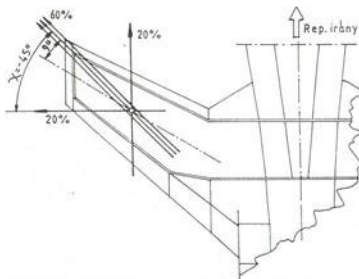
A probléma megoldására a 70-es évek közepe után, a kompozit anyagok széleskörű elterjedését követően nyílt lehetőség. Az első repülést 1984-ben



7. ábra

végrehajtott, szériagyártásra szánt,  $\chi = -33^\circ$  szárnynyilazású, szuperkritikus profilú Grumman X-29-es repülőgép már ennek megfelelően került kialakításra (7. ábra). A szárny szerkezeti tömege az ekvivalens hátranyilazotthoz képes 10 %-kal csökkent úgy, hogy a divergencia-veszély is teljesen megszűnt.

A szárny hagyományos teherviselőrendszere (főtartók, hosszmerítők) titán- és alumínium-ötvözetekből készültek, a borítás viszont többrétegű, irányított, feszített



8. ábra

szén-szálak kompozit anyagból. A szénszálak előfeszítettsége, mennyisége irányonként a várható igénybevételek arányában került meghatározásra.

Az X-29-es repülőgép esetében, a gép hossz tengelyére (x) merőleges, illetve az azzal párhuzamos szénszálak aránya 20-20 %, míg az e

két iránnyal  $45^\circ$ -os (a szerkezeti tengellyel  $9^\circ$ -os) szöget bezáró szénszálaké 60 % (8. ábra).

A feszített, irányított szénszálak hatására a szárny rugalmas felhajlásakor a profil kissé előreccsavarodik, ami a divergencia létrejöttét kiküszöböli. Az így kialakított szárny szerkezet előre meghatározott külső függesztmények felszerelése esetén is megfelelő szilárdsági tartalommal rendelkezik.

A divergencia elhárítás többoldalú biztosítására és a változatlanul fennálló flutter-veszély megelőzésére (ld. 6. ábra,  $\chi < 0$  tartomány!) a szárny külső flaporonjainak (= kombinált csűrő + fékszárny) automatikusan vezérelt mozgatásával (ld. 7. ábra) tartják az elcsavarodást megengedett értékhatárok között. A típus kísérleti géppel végrehajtott többszáz felkészülés a repülési tulajdonságokat illetően a tervezők elvárásait maradéktalanul igazolta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1./ Chin J. - Berman H. - Ellinwood J.: X-29 A flight control system design experiences  
AIAA GUID.AND.CONTR.CONF, SAN DIEGO, CALIFORNIA, 1982.  
COLLECT.TECHN.PAPER S.I. 1982. p. 703-713.
- 2./ Howe Dennis: Aircraft that fly backwards? The application of forward swept wings  
AERONAUTIC JOURNAL 1983.87. N<sup>o</sup> 868 p. 321-323.
- 3./ Jerzy Swindzinski: Tajemnica ujemnego skosu  
SKRZYDLATA POLSKA 1985-12-08, N<sup>o</sup> 49 (1776) p. 8-10.
- 4./ Poll.D.I.A. - Qiu Cheng.Hao: Some effects of sweep direction and Strakes  
bor wings with sharp leading edges  
AERONAUTIC JOURNAL 1984,88 N<sup>o</sup> 878. p. 337-347.
- 5./ Rimer M. - Chipman R. - Mercadante R.: Divergence suppression system  
for a forward swept wing configuration  
with wing-mounted stores  
AIAA PAPER 1983. N<sup>o</sup> 2125. p. 1-8.
- 6./ Souahi A.: Assessment of certain merits of FSW and effect of the sing  
of the sweep angle on the stressing of a wing structure  
AERONAUTIC JOURNAL 1983., 87. N<sup>o</sup> 868 p. 321-351.
- 7./ Uhuad G.C. - Weeks T.M. - Large R.: Wind tunnel investigation of  
transonic aerodynamic characteristics of forward swept wings  
JOURNAL AIRCRAFT 1983. 20, N<sup>o</sup>3 p. 195-202.
- 8./ Weisshaar Terrence A. - Zeiler Thomas A. - Hertz Terrence J. - Shirk  
Michael H.: Flutter of forward swept wings analyses and tests  
AIAA/ASME/ASCE/AHS 23 rd. SRUCT.DYN.AND.MATER.CONF. NEW ORLEANS, LA,  
1982. COLLECT.TECHN.PAP.PT.2. NEM YORK, sa. 111-121.
- 9./ X-29 gees supersonic  
FLIGHT INTERNATIONAL 1986.jan.18. p. 21.