

REPÜLSÉMECHANIKAI PARAMÉTEREK
VIZSGÁLATA VADÁSZGEPEKNÉL

BEVEZETÉS

A vadászrepülőgépek repülésmechanikai paramétereinek javítása a gép repülési tulajdonságainak javítását jelenti. Milyen paraméterek és milyen tulajdonságok javításáról van szó? Azt mondhatjuk, hogy több tíz paraméterről, melyek a legfontosabb vadászrepülési tulajdonságokat (felderíthetőség, kedvező záróhelyzet, manőverezés, visszatérési biztonság, stb.) alapvetően befolyásolják.

Egy ilyen irányú vizsgálatnál a vadászrepülőgépet célszerű először komplexen megvizsgálni és tisztázni mi a vadászfeladat és milyen mai műszaki adottságokkal kísérhetjük meg azt megvalósítani.

Igy először két fő jellemzőt mérleghetünk a szokásos terminológia szerint:

- a légi harc technológiáját (Hardware);
- a légi harc taktikáját (Software).

A technológia alatt a gép, szorosabban a tervező szemlélet említhető: az aerodinamikai, szerkezeti, propulziós, repülésmechanikai, fegyverzeti, stb. kérdések megoldásának a színvonala.

A taktika alatt általában a légi harc öt fázisa alatti gépmozgásokat értik, konkrétan a fázisok közötti repülési helyzetekkel kapcsolatos tulajdonságokat. Ilyenek:

- a felderíthetőség mértéke (ennek következményeként az elektronikus, vizuális, illetve infra rejtőző képesség, a STEALTH probléma);
- a tűznyitás legkedvezőbb pozíciójának beállíthatósága, "zárohelyzet" létrehozása;
- a támadás fázisa (relatív helyzet az ellenfélhez képest);
- a légi győzelem elérhetőségének alapja: a manőver
- a visszatérési biztonság (a korszerű felderítő rendszerben ez ugyan elérhető lenne, de ahogy a modern gépek nyelik az üzemanyagot itt még sok a tennivaló).

Az eddigiekből már kitűnik, hogy a feladat sikeres teljesítéséhez a kiváló gép mellett a kiváló pilóta igénye is megjelent. Ezt az együttest egy kicsit közelebbről is célszerű megvizsgálni. Azonban más kérdéseket sem mellőzhetünk, ha a ma és a jövő vadász tulajdonságait csak áttekintően is meg akarjuk közelíteni (hogy aztán - esetleg egy más alkalommal - mélyebb részleteket is feltárjuk).

Ilyenek a:

- vadász fejlesztésének alkalmazott kutatásai, tervezési eredményei, mint a jövőbeni fejlesztések bázisa;
- a gép szerkezeti problémáinak visszahatása a repülési tulajdonságokra;
- az alkalmazott propulzió.

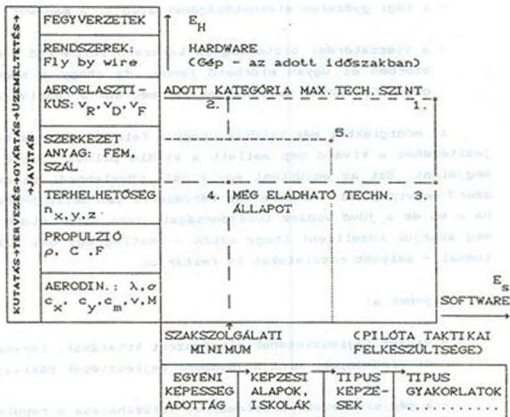
1. Gép és pilóta - együttes lehetőségek

Az említett két fő jellemző,

a légi harc
technológiája
(HARDWARE)

a légi harc
taktikája
(SOFTWARE)

melyek összessége a légi harc eredményességének potenciálját adja (legyen ennek jele: E) az alábbiakban összetevőik alapján részletezzük az 1. ábra segítségével.



JELÖLESEK:

- | | |
|--|----------------------|
| 1. Elméleti eset: 100 % harci érték | $E = 100$ |
| 2. Jó gép - képzési nehézségek | $E \approx 25 + 100$ |
| 3. Kitűnő képzés - gyenge technológia | $E \approx 50 + 75$ |
| 4. Véletlenszerű (de létező) minimum | $E < 40$ |
| 5. Ált.köznapis helyzet; bármely évtájon | $E \sim 50 + 60$ |

1. ábra

Az ábra függőleges tengelyén valamely gépkategórián (felderítő, csata stb.) belül a vizsgált időszakban, a világon közismert típusok között elérhető műszaki színvonalat jelöljük. Ezt egy E_H tényezővel vehetjük figyelembe, melynek fontosabb összetevőit feltünteti az ábra. Ennél magasabb harci érték is elérhető, míg gyenge hardware esetén ehhez képzési csúcok szükségesek.

2. Vadászgép fejlesztési irányok

2.1. A pillanatnyi helyzet

Lezárult egy félévezetődös korszak a kelet-nyugati géptervezői rivalizálásában. E versengés közben nem mindig az optimális gépparaméterek, hanem többször a VARSÓI-NATO feszültségek voltak a géptervezés induló adatai.

A jövőt tekintve nagyon differenciáltnak látszik a világ vadászrepülőgép állománya, hiszen sok szélsőséget ismerünk:

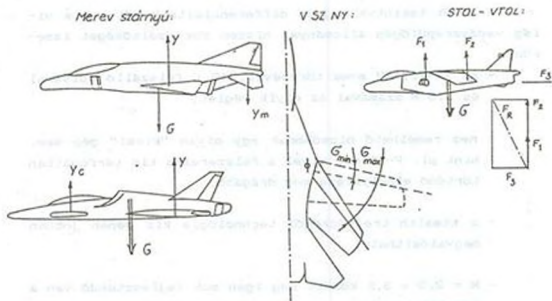
- az SR-71, 27 m-es törzsével, 45 t felszálló súlyával és 3,5 M számával az egyik véglet;
- nem remélhető olcsóbbnak egy olyan "kicsi" gép sem, mint pl. F-16-os, mivel a felszerelés kis térfogatban történő elhelyezése még drágább;
- a stealth (rejtőzködő) technológia kis gépen jobban megvalósítható;
- $M = 2,0 + 3,5$ között még igen sok fejlesztendő van a gépkialakításon;
- számolni kell azzal, hogy a repülőtereknek vége még mielőtt kitorne a harci cselekmény, tehát a STOL-VTOL gépek előtérbe kerültek.

Össességükben a felmerülő igényeket egy mindenes vadászgép (pl. EFA) nem nagyon elégítheti ki.

2.2. Az aerodinamikai fejlesztések

Az úgynevezett bázis aerodinamika (légerők és nyomatók elméleti meghatározási módjai) óriási fejlődése ismeretes, a szub-, szuper-, hiperszónikus áramlások kutatása - a mérsékelt sebességű áramlásokhoz képest - teljesen új világot tárt fel a repülésben. A jelen kis összefoglalóban csak a vadászgépek esetében végzett és főként csak a típusok tervezéséhez kapcsolódó alkalmazott aerodinamikai kutatások jellegzetességeit tekintjük át.

VADÁSZ



2. ábra

Elsősorban szeparálnunk kell a vadászgépeket, mert a gép repülésére alkalmazott mechanikai elvek lényegesen kü-

lőnböznek egy-egy gépcsoportnál (2. ábra). A részletek nélkül is felfedezhető az alapvető különbségek a gép repülését meghatározó erők és nyomatékok előállításának tekintetében.

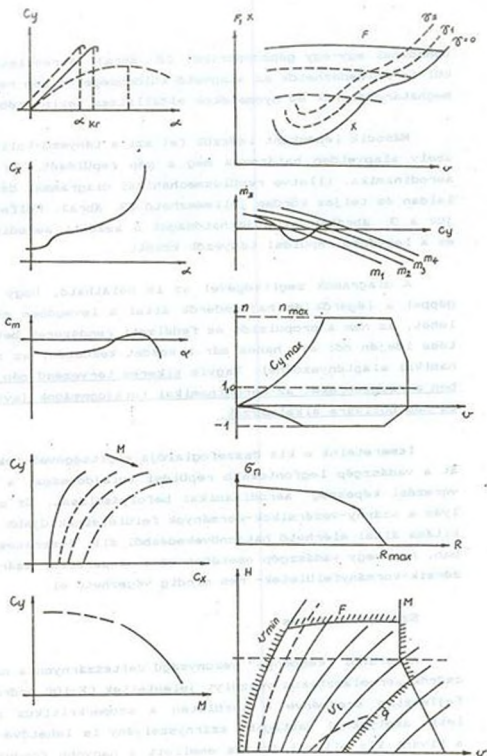
Második lépésként idézzük fel azt a tényező-kollekciót, amely alapvetően határozza meg a gép repülését. Ez néhány aerodinamika, illetve repülésmechanikai diagrammal összefoglalóan és teljes körűen jellemezhető (3. ábra). Felfedezhetjük a 3. ábrában az átjárhatóságot a kezdeti aerodinamikai és a legvégső repülési tényezők között.

A diagramok segítségével az is belátható, hogy amit a géppel a légerők és hajtóművek által a levegőben csinálni lehet, az nem a propulziós és fedélszeti rendszerek betelepítése idején dől el, hanem már a kezdet kezdetén, az aerodinamikai alaptényezőknél. Vagyis sikeres tervezésű gép esetében a rendszereket az aerodinamikai tulajdonságok javítására és nem pótlására alkalmazzák.

Ismereteink e kis összefoglalója segítségével tekintsük át a vadászgép legfontosabb repülési tulajdonságát; a "manőverezési képesség" aerodinamikai befolyását. Ez a befolyás a szárny-vezérsíkok-kormányok felületeinek újabb kialakítása által elérhető hatásnövekedésből áll. Ismeretes azonban, hogy egy vadászgép esetében ez a szeparáció: szárny-vezérsík-kormányfelületek - nem mindig végezhető el.

Szárnykialakítás

A korábbi "késpenge" vékonyágú deltaszárnyon a nagyobb csőrök aeroelasztikus veszélyt jelentettek (F-100 csőrök). A fejlesztés eredménye e területen a szuperkritikus profil lett, amelyknél vastagabb szárnyszelvény is lehetővé teszi a kívánt kis ellenállást és emellett a nagyobb forduló sebességeket.



3. ábra

Régi példa a Alpha Jet, ahol jobb manőverezhetőség érdekében: hatásos orrsegédszárny és "allspeed flaps" nagy sebességen is alkalmazható. Mint tudjuk a vastagabb szárnyprofil - a hiedelmekkel ellentétben - kisebb súlyt eredményez jóval nagyobb aeroelasztikus merevség mellett. E változás következményeként lényegesen nagyobb Uzemanyagtartály-térfogat alakítható ki, ami a vadászrepülőgépeknél külön ajándék. Már 1935-től alkalmazni kezdték a mozgatható orrsegéd- és fékszárny-rendszereket, mert tudták, hogy egy adott profilkonfiguráció, rögzített szárnygeometria mellett csak egyetlen repülési állapotra optimális, a többi sebesség vagy manőver esetén nem az. Ismeretes, hogy ennek a mozgatható szárnyelem-rendszernek voltak hiányosságai, bár pl. a Mirage-program még ma is főként ezt a módszert alkalmazza.

A szárny legkedvezőbb aerodinamikai viszonyainak előállítására hatásosabb (de nem leghatásosabb) módszer: a változtatható szárnynyilazás (VSNZY). Az ötlet 1943-ban született, de 20 év kellett mire az F-111-en gyakorlatban is megvalósult és nagy sikerrel, ami abból áll, hogy $\sigma = 16^{\circ}-72,5^{\circ}$ nyilazási tartományban, $M > 2$ -ig illeszkedik a szárny geometria a különféle repülési esetekhez.

A VSNZY néhány eredménye:

- a szubszonikus "lézengés", amit jó eredménnyel a del-taszárny repülési programjában nem lehet elképzelni;
- jobb fel- és leszállási paraméterek;
- viszonylag kis sebesség ellenére nagy hasznos terhelhetőség;
- fel- és leszállás nem betonozott pályáról rövid távolságon;

- nagy sebesség tartományban érhető el K_{max} -hoz közeli érték;

- az α_{kr} környékén lapos c_y -a görbe lehetővé teszi a földközeli lökéses zónán történő átrepülést, miközben jól tartja a gépet a széllelés ellenében. (Az addig a felfogás szerint turbulens légkörön a lehető legkisebb sebességgel kellett átrepülni, ami vadászrepülőgép esetében a földi légvédelem zónájában kifejezetten kedvezőtlen).

A nagysebességű földközeli manőverezésnek a kétségtelen szükségessége mellett - meg vannak a hátrányai is:

- a bevetési tartomány erősen csökken a földközeli nagyobb üzemanyag-fogyasztás következtében;

- a levegősűrűség (ρ_0) növekedése miatt növekednek a terhelések, a teherviselő szerkezetben ébredő feszültségek, ami az élettartam csökkentéséhez vezet;

- reális veszély egyes helyeken a madárrajjal történő ütközés (farokfelület, kormányfelület, beszívószáj);

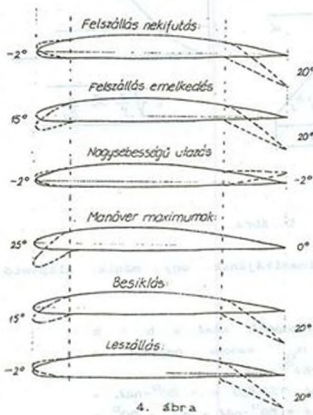
- humán faktor: a VSZNY földközeli nem a komfort maximuma. (Nem vadászrepülőek el sem tudják képzelni a szélleléses zóna csonttörő, szemgolyót rázó és a sárkányt mértéktelenül fárasztó hatását).

Tapasztaljuk, hogy amíg a VSZNY több tervező felfogásában, mint többlet súly és felesleges komplexitás jelentkezett, addig a volt Szovjetunió utódjainak jelenlegi fegyverzetében is igen sok, harci feladatokat ellátó géptípus ilyen kialakítású.

Azonban a VSZNY alkalmazása óta azt is tudjuk: semmi sem olyan egyszerű, ahogy előszörre látszik, vannak bőven tervezési hátrányok. Ilyen pl.:

- a mozgó szárnyon nehéz tartósan pontos helyzetben rögzíteni nagy súlyú függesztményt vagy más fegyverzetet;
- jelentős konstrukciós bonyodalmak jelentkeznek a futómű behúzásnál (MIG-23, Tornado).

Ezért a változtatható szárnygeometria (VSZG) új lépése volt: merev delta szárnyon, $\alpha = \text{átl. nyílzási szög melletti profilgeometria változtatás, ami}$



4. ábra

- főleg az F-16, F/A-18-nál (vázlatos kialakítása a 4. ábrán) látszik jól. Igen nagy profilváltoztatási lehetőségét építettek be;

- a szárny teljes hosszában fel- és le-hajtható belépővel mozgathatóssal;

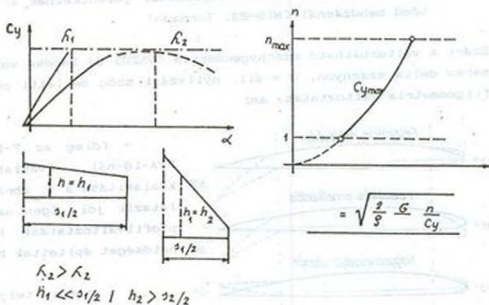
- nagy terjedtségű, mindkét irányban elforduló kombinált csőrőfékszárnyakkal (flaperon-ok).

Eddig megtett lépések logikus következménye-

ként alakult ki a jövő feladata is: a "MISSION ADAPTIVE"

szárny. A szárny egyes keresztmetszetei és a szárny formája - a repülési állapotnak megfelelően - folyamatosan változtatható. Még teljes egészében ilyen szárny nincs, de az eddigi geometriai változtatásokat tovább bővítő részei már léteznek:

- a profil szerkezet elasztikus (kényszerű) görbítése;
- a "perforált kesztyű" a profil szivott oldalán stb.



5. ábra

A vadász-szárny aerodinamikájának egy másik alapvető sarokpontja: az ATESES.

Olyan szárnyharcsósdóndt, ahol a $h > s$ lehetséges, ott α_{kr} messze nagyobb a szokásos $\alpha_{kr} = 18^\circ - 24^\circ$ -nál.

Pé.: F-14 (Tomcat, Veszély) $\sigma = 20^\circ$ -nál, $\alpha_{kr} \approx 18^\circ$, míg $\sigma = 88^\circ$ -nál $\alpha_{kr} = 60^\circ + 20^\circ$, feltételezve, hogy TF-30 hajtómű biztosítja a szükséges tolóerőt!

Mint ismeretes az átesést - a szárny $c_y = f(\alpha)$ függvényének az adott repülési állapotban való teljes ismerete mellett - néhány egyéb alapvető hatás is befolyásolja:

- a bekövetkezés pillanatában a repülési magasság;
- a $c_y = f(z)$ befolyásolhatósága (ez általában jó);
- az a sebesség zóna, amelyben az átesést megközelítik (típusos átesési hatás adódik szubszonikusba csökkenve a sebességet);
- az $m = f(c_y)$ függvény $c_{y,kr}$ környékén;
- $n = f(v^2)$ függvény;
- a Canard örvényképző hatása.

2.3. Kormányfelületek fejlesztése

Az eddigiekben inkább a szárnyat egészében érintő aerodinamikai fejlesztésekről volt szó. Azonban igen nagy lépéseket tettek a vadászgép kormányfelületei aerodinamikai fejlesztése területén is. Tudjuk, hogy jelenleg a hossz tengely körüli mozgás esetében, konvencionális csőrőket vagy kis sebességeknél (VSZNY) vagy - sokkal kisebb felülettel - nagy sebességeknél alkalmaznak.

Az átalakulás abban az irányban erősödött, hogy legyen alkalmas a szárny spoiler vezérlésre és ne legyen egyáltalán csőrője. Canard + fő - szárnyak esetében feltétlenül ezt alkalmazzák. A jelenlegi változatokat talán jól példázza, hogy:

pl.: "Jaguar"-nál -spoiler az elsődleges orsózó felület a magassági TAILERON-ok csak kis sebességnél segítenek be az

országában. A "Tornádó"-nál viszont az elsődleges kormányfelületek a taileronok, spoilerok csak $\sigma \sim \sigma_{\min}$ környékén nyitnak.

A keresztengely körüli mozgásban, a hosszstabilitásban a vadászgép alapvető adottsága, hogy leginkább a törzs hossza korlátozza az $m_{z,M}$ nyomatókéi tényező értékét, vagy egyszerűen hiányzik a vízszintes vezérsík felülete e mozgás befolyásolására.

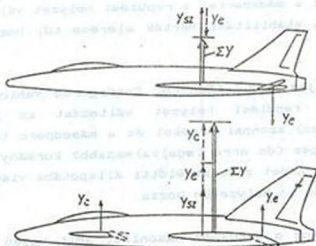


kis r_M -nél \longrightarrow $m_{z,M}$ jó értékhez \longrightarrow nagy c_{yM} (nagy c_x)
 nagy A_M (nagy c_x)

5. ábra

Ez utóbbi esetet reprezentálja a Mirage néhány korábbi sorozata, az újabb fejlesztésekből a MIRAGE-2000 és az izraeli KFIR. Ezeknél csak az elevonok (szárny kilépő élén elhelyezett csűrő és magassági kormány funkciójú, kiteríthető felületek) segítenek pl. a fel- és leszállásban. Mivel a kormányzóerő (a súlyponton átmenő keresztengely körül) rövid karon és kis hatásossággal működik, így a felszálló súlytól függően igen nagy lefelé mutató erőre van szükség, ami néhány tonnát is elérhet (7/a. ábra). Sajnos éppen akkor, amikor minden Newton felhajtóerő számít, hiszen a felszállás határozza meg a hasznos terhelés legnagyobb értékét is.

A Mirage - 2000 e problémát a be- és kilépődélen a profil változtatással csökkenti. Ezt a kérdést a VIGGEN oldotta meg alapvetően és



7. ábra

kedvezően 20 évvel ezelőtt egy jó törzspozícióba helyezett Canard (kacsa elrendezés) alkalmazásával. Ennek kilépődélen magassági kormányként tekinthető felület tér ki, így felszálláskor a felhajtóerő a $Y_{szárny} + Y_{elevon} + Y_{Canard}$ felfelé ható összetevők eredője (7/b. ábra). Ez az említett rendszerek alapvető különbsége.

2.4. A gép stabilitásában bekövetkezett fejlődés

Az 50-es években a szuperszónikus vadászpilóta nélküli repülőgépek hosszú, nehéz törzssel és viszonylag kis szárnyalattal rendelkeztek. Ezért az x-y tengelyek körüli orsó és keresztirányú elfordulások kapcsolódása először számos katasztrófához, majd nagyobb farokfelületekhez, törzs hátsó rész alatti, melletti viszonyokhoz és vágott, egyenes (nem csúcspanél végződő) szárnyvégekhez vezetett.

Tudjuk, hogy ma is van néhány típus, ahol a σ_{max} -nál olyan nagy függőleges vezérsík-felület kell, hogy rejtett stabilizáló felületek bújnak elő. A vadászpilóta nélküli repülőgépek fejlesztésében a stabilizáló és mozgatható kormányfelületek növelése nem előnyös gépfejlesztési irányzat. A jelenlegi időszakban a

tervezéseknél a "természetes stabilitás" szerepe látványosan visszaszorult. Nem a stabilitás szükségessége szűnt meg (sajnos), hanem ezzel a módszerrel a repülési helyzet változása esetén a kívánt stabilitási mérték elérése től hosszú időt igényel.

Mint tudjuk terjed a CCV (Control Configured Vehicle) technológia: minden repülési helyzet változást az FCS (Flight Control System) azonnal érzékel és a másodperc tört része alatt a szükséges (és erre legalkalmasabb) kormányfelület kitérítésével a gépet zavarás előtti állapotába vissza vezérli, vagy a kívánt új helyzetbe hozza.

Az ilyen gép ahhoz a dárdához hasonlít, amit ugyan jó irányba nagy sebességgel elhajítottak, de aztán repülés közben egy nagyon gyors kormányrendszerrel mégis irányítanak.

A technológia alapkövetelménye, hogy elég rövid reakció és rendszeridők legyenek. A jelenlegi adatok: a CCV száz vezérlő parancsot képes adni másodpercenként - ezek lehetnek mind jelentéktelen kormány kitérések is - és így a gépet vezérvonalban és egyensúlyi helyzetben tartják. Ehhez azonban ezek - a külsőre egyáltalán nem szokatlan gépek (A 320, F-16, Mirage 2000) - igényelnek:

- Fly by wire vezérlő rendszert (már nem is "wire"!);
- megfelelő helyi teljesítményt a kormánynál a kitérés azonnali létrehozásához (pl. $50^{\circ}/\text{sec}$. szögsebességgel);
- nagyon megbízható - és helyettesíthető - mozgató berendezést;

- olyan fedélzeti adatátviteli rendszert, amellyel nagyon sok információt igen rövid idő alatt továbbítható.

Jellemző e tekintetben pl. a kettős hidraulikus mozgatás a magassági kormánynál, illetve szenzorrendszerek duplikálása.

A CCV a vadászok számára minden repülési fázisban finomabb, könnyebb, hatásosabb gépirányítást tud adni, vagyis: nemcsak manőverekben segít.

A CCV megjelenésével megjelentek az átalakító - vállalkozások is azzal a természetes igénnyel, hogy a régebbi géptípusok, módosítva nyerjenek jobb harcászati teljesítményeket. Ezek a tervek nem hoztak a reményekkel arányos eredményeket. Példaként az MBB F-104-es átalakítását emlegetik, illetve néhány izraeli korszerűsítést. A kis sikerek (vagy sikertelenségek) oka: a CCV és az eredeti gép által megkívánt kormány és vezérsík felületek adatkülönbségeiben van (terület, forma, irány, nyílazás, terjedtség, de főként a kormány tömege).

3. A tervezés fejlődése

A vadászgép tervezési munkája a mindenkori alkotó tevékenységben "csúcstechnológiának" számít, mivel nemcsak műszaki tervezésről van szó, hanem a szó szoros értelmében a legkomplexebb tevékenységről. A "MŰ"-re (vadászgép) 20 év múltával is befolyása van a tervező gárdának. Ezért gépfejlesztési kérdések összefoglaló áttekintésénél a "Tervezési munka" fejlődése nem hagyható ki.

Elsőként érdemes néhány szóban összefoglalni a tervezési folyamat idejét. A II. világháborúban egy 50 fős team 5 £/hét bérrel egy vadásztervet 2 hónap alatt készített el. Ma 1000 mérnök (kb. 20 szakterületen) kb. 200 £/hét bérrel, a

grafikus terminálok tömegével egy vadásztervet kb. 6 év alatt indít gyártásba.

Ha elindul! De ehhez ma már szinte rituálisan hozzá tartozik az érintett kormányok hosszadalmas gazdasági vitája egy megelőző 10 évig (lásd pl. Panavia vagy EFA program).

A folyamat elhúzóddása sok hátrányt hoz:

- a tervező nem tudja, milyen lesz kb. $X > 6$ év múlva a legkorszerűbb hajtómű az ő gépébe;
- milyen kormányrendszerek, aviónika, szerkezeti anyagok, stb.

kerülnek elő a kutatók műhelyeiből X év alatt. Mindezek ellenére a fejlesztés (és gépigény) feltétele, hogy a tervezés időben meginduljon.

Egy másik kérdés a tervezés megindulása pillanatában: a gép tervezett sebességei. A döntő természetesen az alkalmas sebességzóna és nem a sebesség-maximum. Pl.: A forduló sugár a v^2 -vel nő; a gyorsulásból származó terhelések nem v -vel, hanem v^2 -vel nőnek, stb. (Ha egy forduló sebessége $v_f = 225$ m/s, akkor $R = 1720$ m sugarú fordulóban a centripetális gyorsulás ~ 3 g. Ha ez a sebesség $M = 3,5$ lenne, akkor ez a gyorsulás ~ 28 g !!)

Ha egy típusnál a sebesség-zóna is magasan van, akkor ezt a típust nehéz a légiflottán vagy a légierő egy egységén belül párosítani egy kisebb, könnyebb, olcsóbb stb. géptípus üzemeltetésével.

A szubszonikus tartomány egyre gyakoribb a légiharcokban; a $v = 140-230$ m/s zóna a jobb fordulóviszonyok miatt

meghatározó lett. Kialakult, hogy $M_{\max} \leq 2,5$ ideális, de jó forduló képességnél már $M_{\max} - 1,8$ is megfelelő.

Mi vezeti ma a tervezőt a "Tervezett élettartam" kérdésében? A vadászrepülés gyakorlatából az látszik, hogy:

- a II. világháborúban ez néhány hét;
- a Koreai háborúban 4 év volt;
- míg ma ez az idő ≥ 20 év.

(Pl.: az U.S. néhány bázisán van 1974-es F-15 is).

A polgári gépek élettartama tekintetében egy szokásos 30000 repült óra jelent esetenként 30 évet is, aminek a végén még maradó értékkel "árbecslik" a gépet. Az ok nem csak a felhasználási mód megváltozása. Elsősorban: a gépek egyszerűen drágák lettek. A PANAVIA program indulásakor egy Tornádó árát $5 \cdot 10^6$ \$ állítottak be. Ezért ma lassan csak egy könnyű repülőgépet lehet kapni a General Aviation területén.

Az új géparak átlaga a vadászoknál $1600 + 2000$ \$/kg Üres tömeg; amihez járul még a felszerelések igény és mennyiség (db, kg) szerinti költségnövekedése. Vagyis a tervezési fázis gazdasági megfontolásaiból kisebb légi erő esetében elkerülhetetlennek látszik: kis létszámú gépegységek kevés számú típusból való beállítás - legalább 20 évig az adott típus változataiból üzemeltetve.

A tervezés menetét a Légialkalmassági Előírások vezérlik (FAR-MIL, BMAR, stb), amik az "Operational Requirement" részei. A sárkány és rendszerei nagymérvű fejlődés következtében kb. 6 év alatt elavulnak és felújulnak. Mire a gép elkészül a világban az üzemeltetési követelmények újabbak, mint a tervezés kezdetén voltak (jelenlegi gépeink ilyen előírásait évtizedek óta nem láttuk, avulásukról konkrét ismereteink nem lehettek). Ezek aktuális hivatkozásait bizony

minden vitás kérdésben (garancia, javítási ciklus, stb.) naprakészen célszerű ismerni.

4. Vadászgépek szerkezeti fejlődése

A vadászgép sárkányszerkezetéhez közel 100 %-ban durvult használnak, kis kivételekkel (pl. a MIG-25 -ben kiemelkedően sok az acél, az SR-71-ben pedig a titán). Az utóbbi három évtizedben, a repülőgép-építésben bekövetkezett szerkezeti anyag forradalomról érdemes lenne egy magyar nyelvű összefoglalást készíteni. E helyen most csak megállapítjuk, hogy 1960-tól nagyütemben növekszik a fémek területén a polikristály öntvények és a LITAL-öntvények, illetve egyéb anyagoknál és a fémek helyett a szálak szerkezeti anyagok felhasználása.

A szerkezeti anyag fejlődésének a vadászgép szerkezeti kialakítására most csak egyetlen példát vegyünk, ez legyen az előrenyilazott szárny fejlődése. A szálak anyagok elterjedésének indoka a vadászgépen - a polgári repülés gépeitől eltérően - nem elsősorban a kisebb szerkezeti súly és a kiváló korróziós tulajdonságok voltak.

A vadász szerkezeti méretek szűkössége miatt a szálak szerkezet építés egy másik előnye lett a főszereplő: a szálirányok választásával elérhető irányított merevség kiépítése a szerkezeten belül (Pl. akár a lemez is lehet végtelen merev az egyik - a szál - irányban és végtelenül lágy arra merőlegesen). Ezt a tulajdonságot - éppen a vadászgép szempontjából - jól lehet hasznosítani kritikus aeroelasztikus jelenségek kivédésénél. Ezek közül vegyük rövid példaként az aeroelasztikus divergenciát. Tudjuk, hogy az előrenyilazott szárny építésének igen sok előnye van:

- a legtöbb repülési M számnál kisebb ellenállást ad mint a hátranyilazott;

- ezzel kisebb a tolderő és kevesebb az Üzemanyag-felhasználás;

- a következmény egy kisebb hajtóműsúly és a kevesebb Üzemanyag miatt lehetséges kisebb szárny ...

Vagyis a "hólabda effektus" kedvező köre alakul, mert a további előnyök:

- minden sebességen nagyobb manőverező képesség;

- kis sebességeknél jobb vezethetőség;

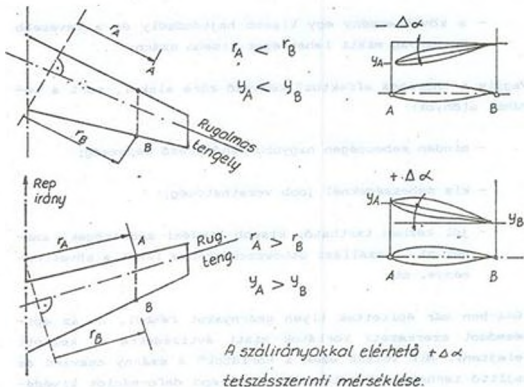
- jól kézben tartható, kisebb átésési sebességek, aminek pl. leszállási úthosszcscsökkentés lehet a következménye, stb.

1944-ben már építettek ilyen szárnyakat fémből, de az építésmódot szerkezeti korlátok miatt évtizedekre el kellett felejteni. Mik voltak ezek a korlátok? A szárny csavaró és hajlító terhelése következtében fellépő deformációk kivédéséhez szükséges szerkezeti merevség hiánya.

A 8. ábrán látható a nyilazási szög és az állásszög közvetlen összefüggése, aminek szoros következményei az említett szárnyterhelések. A szálas anyagok felhasználásával a megvalósítás hátrányai kiküszöbölhetők, hiszen - a grafit-szálak megfelelő irányba építésével - megvalósítható, hogy tipikus esetekben (szuperszónikus tartományban, illetve szőkfordulóokban) a divergencia határához tartozó terhelések lehetnek magasabbak is, és így a divergencia sebesség nagyobb lehet (amit persze a gép nem közelít meg).

Napjainkban közismert ilyen szárny kialakítása a Grumman X-29-A gépnek van (első repülése 1984 februárjában

volt). A gép az előrenyilazott szárny mellett igen jó manőverezési képességét azzal is fokozza, hogy a teljes kilépőél



8. ábra

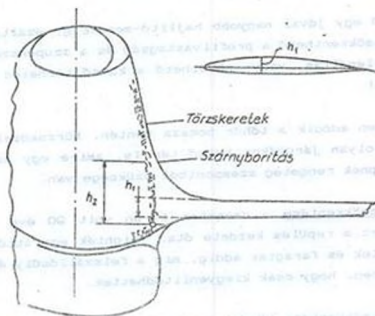
hosszban alkalmazott ráségitőkkel a profil nagymértékben ívelhető és elsődleges kormányfelületként használja Canard szárnyát is.

A szálasanyag alkalmazás előretörése a vadász űzemeltetésben lényeges változásokat ott okoz, ahol a típus szerkezetében már fő szerkezeti elemek készültek szálasanyagokból (pl.: a Harrier szárny-tartórész). Ilyen gépek karbantartási és javítási technológiáját a szokásostól eltérően kell tervezni, végrehajtani és (ami nagyobb beruházást jelenthet) ellenőrző berendezésekkel felszerelni.

A vadászgép szerkezeti fejlesztés egy másik tipikus irányzata: a BLENDED - ROOT - átmeneti szárnyrész kialakítás. Napjainkban az aerodinamika egy másik, az előrenyíláshoz hasonló szerkezeti előnye látható néhány géptípuson: a szárny-törzs, vezérsík-törzs, hajtómű-törzs, rakéta-szárny átmenetek kihangsúlyozása.

Régen ismert, hogy bizonyos tartományokban az interferencia ellenállás csökkenthető. Erre szolgál a jól ismert területszabály: az áramlásra merőleges keresztmetszeti felületek lehetséges állandósága (pl. a szárny-törzs átmenetben). Az e területen folytatott kísérletek hoztak újabb eredményeket is.

Kiderült: ha ez a görbült illesztő felület a belépőnél előtt kezdődik és a kilépőnél után is túlnyúlik a törzs mentén; akkor ezek a felületek - főleg a nagysebességű repülés ellenállásaiban - lényeges csökkentést jelentenek.



9. ábra

Ezen az úton már sok tervező haladt. Tulajdonképpen a SAAB gyár már a DRAKEN-nél létrehozott a szárny és a törzs között egy nagyhosszúságú belső szárnyat; a McDonnell igénybevette ezt a hatást az F-15 szárnyfelsőrész

átmeneténél (pl. a hajtómű-gondolák kialakítása tipikusan ezt szolgálja); de tudjuk milyen jellemző e tekintetben a General Dynamic F-16 szárny, illetve kisebb mértékben a Mirage 2000 szárny átmenete. A határ ebben az alkalmazásban természetesen az a mérték, ahol ezzel az interferencia ellenállás csökkentéssel szemben az alkalmazott felületek miatt a szuperszónikus ellenállás növekedni kezdene.

Azonban nagyobb az átmenetnek a jelentősége szerkezeti szempontból. Ismeretes, hogy a szárny szuperszónikus profil kis vastagsága jelenti a gép szerkezetében a legkritikusabb korlátot (0. ábra). Vékony szárny - kis hajlítómerevség - közeli v_D, v_F : ezek a szuperszónikus vadász elsődleges szerkezeti adottságai.

Ezen tud segíteni az említett aerodinamikai adottság:

- alkalmazható nagyobb gerinc-magasság ott ahol a törnyomatékok a legnagyobbak;
- elérhető egy jóval nagyobb hajlítómerevség, ezáltal tovább csökkenthető a profilvastagság és a szuperszónikus ellenállás, vagy: növelhető a külső terhelés a szárnyon!
- mellékesen adódik a törhúr hossza mentén, törzsközelben egy olyan járulékos belső tér is, amire egy mai vadászgépnél rengeteg szempontból szüksége van.

A gépsúly csökkentése - december 17-én volt 90 éve - egyfolytában tart a repülés kezdete óta. Wrighték egy autómotort köszörültek és faragtak addig, míg a felszállósúly és teljesítmény éppen, hogy csak kiegyenlítődhettek.

A mai súlycsökkentési küzdelemnek vannak ilyen a szerkezettel közvetlenül - a szerkezeti anyagsúlyon át - érin-

tett területei, de vannak közvetett törekvései is. Közvetlen súlycsökkentő hatás a már említett szálasanyag szerkezetek alkalmazásán túlmenően pl. új szerkezeti anyag a LITAL alkalmazása nagy jövővel a dural helyett. Tipikusan mai közvetett hatás pl. a Fly by wire alkalmazása néhány területen.

5. Propulzió fejlesztés területei

A hajtómű belső termodinamikai és szerkezeti fejlesztése témával más, kitűnő szakcikk foglalkoznak. Amit említeni szeretnék az a mai vadászrepülőgépek igényei a propulzióval - tehát nemcsak a hajtóművel - kapcsolatban.

Elsődleges a manőverek tolóerő igénye. Repülési oldalról azt látjuk, hogy mind a forduló sebességek, mind a be-döntési szögek, mind a kismagasságú fordulók egyre nagyobb tolóerőt igényelnek. Ezek a repülési állapotok más - dinamikai - paramétereket jelentenek a hajtóműre nézve, mint a klasszikus földi, statikus tolóerő maximum.

Az igény a hajtóművek által képviselt belső gyorsulási képességekkel, vagyis: a gép által igényelt tolóerő "válasz-idejével" kapcsolatos. Fly by wire gépvezérlés mellett nem lehet várni másodperceket a szükséges tolóerő megjelenésére. Ezt úgy oldják meg, hogy a gépek kétszeres tolóerővel rendelkeznek a manőverekhez, ami viszont üzemanyag túlfogyasztással jár.

Egy másik mai propulziós követelmény: a gép STOL tulajdonságainak elősegítése propulzióval. A követelményt a repülőter betonhoz kötöttségének feloldása hozta, amióta tudjuk, hogy bizonyos rakétacsapások komplett (egységeket), erőket semmisíthetnek meg.

A STOL képesség hagyományos aerodinamikai módszerei (határreteg-szabályozás, járulékos emelőerő (Harrier) mel-

lett a jelen évek lényeges fejlesztési irányai: az eredő propulziós erő irányának kitérítése a függőleges vagy vízszintes síkból.

Elterjedt elnevezése a VEKTORIZÁCIÓ. Egy kicsit a körkeresztmetszetű gázsugár négyszögösítésével kapcsolatos fejlesztési munka.

A kérdés alapjai kb. 20 évvel ezelőtti széleskörű gázdinamikai kísérletekre nyúlnak vissza, amikor is - a sugárfék fejlesztése során - a gázáram elfordításának feladatánál az eltérítő rácsok, illetve az eltérítő (gömb) felületek ki-nálkoztak gyakorlati megoldásként. Amiből akkor a sugárfék született, abból ma a STOL vadászgép akar megszületni, illetve inkább már elterjedni.

Azonban a vektorizáció nem csak STOL tulajdonságokat befolyásolhat, hanem -pl. oldalerőkkel- olyan manővereket tesz lehetővé, amik nélküle csak hosszabb idő alatt lehetségesek. Sajnos ezekre a hatásokra is vonatkozik a már említett időtényező: a repülés követelményei szerint $6-8^{\circ}$ irányeltérítést a sugárban 0,4-0,5 sec. alatt kell létrehozni.