



Dr. Óvári Gyula¹ - Dr. Urbán István²

MEREVSZÁRNYÚ REPÜLŐGÉPEK VEZÉRSÍK-RENDSZEREINEK KIALAKÍTÁSA³

A cikk(sorozatban)ben a merev szárnyú repülőgépek vezérsík rendszerinek tervezését és építését követheti nyomon lépésről lépésre az olvasó. A repülés története folyamán terveztek olyan farokfelületeket, melyek aerodinamikai szempontból messze megelőzték korukat, ugyanakkor strukturális szilárdságtani és elasztikus problémáik miatt nem voltak gyakorlatban megvalósíthatóak. Szándékaink szerint az összes napjainkban alkalmazott főbb elrendezési formákat tárgyaljuk majd, azzal a céllal, hogy a stabilitási alapoktól kiindulva meghatározhatóak legyenek a méretezési alapelvek, valamint a függőleges/vízszintes vezérsík elrendezési formák előnyei és hátrányai.

DEVELOPING OF FIXED WING'S AEROPLANES TAIL SYSTEMS

In this (serial)article You can follow step by step the planning and producing process of a fixed wing's aircraft tail systems. During time in the history of the aviation were planned such tail systems which were a big fore step according to the aerodynamic, but besides that they were not able to produced due to structural instability and elastic problems. By our intention we will describe all the main shape and form of the tail systems. Our goal is to determine the main principes of engineering from the bases of the stability, and the pros and cons of the tail systems as well.

REPÜLŐKÉPESSÉG

1. A szárny instabilitása

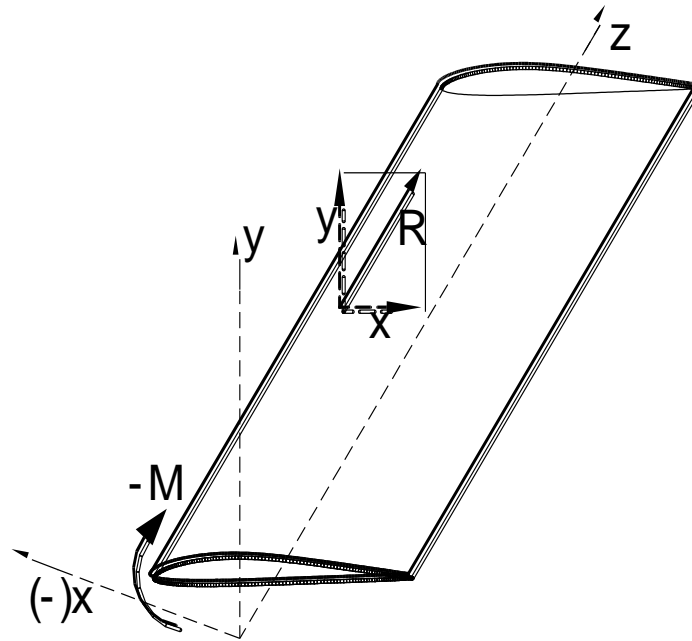
A gyakorlati aerodinamikából ismert az a jelenség, hogy a hagyományos (nem csupaszárny repülőgépek szárnyprofiljairól van szó) szárnyszelvényvel ellátott izolált, egyenes szárnyon keletkező eredő légerő a szárny állásszög növekedésekor növekszik, ugyanakkor támadáspontja, a „nyomásközéppont” a szárny belépő éle felé, előre vándorol. Az állásszög csökkenésekor ez a légerő csökken, támadáspontja pedig a kilépő él irányába mozdul el.

A nyomásközéppont húrirányú elmozdulása eredményeképpen, a szárny súlyvonala a z tengely (a mozgást úgynevezett testhez kötött koordináta rendszerben vizsgáljuk) körüli nyomatékokat kell értelmeznünk. Az 1. ábrán látható, hogy ha a tengely pillanatnyi légerő hatásvonala mögé esik, akkor a légerő „feroknehéz” nyomatékokot ad. A nyomásközéppont előre vándorol, nagyobb állásszög növekedésekor ez a nyomaték igyekezik a szárnyat kiforgatni pillanatnyi egyensúlyi helyzetéből mivel a folyamatot megindító nyomaték is nő, így a magában repülő, hagyományos szelvényű szárny helyzete a kiindulási állapottól rohamosan eltér.

¹ ny. mk. ezds., egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

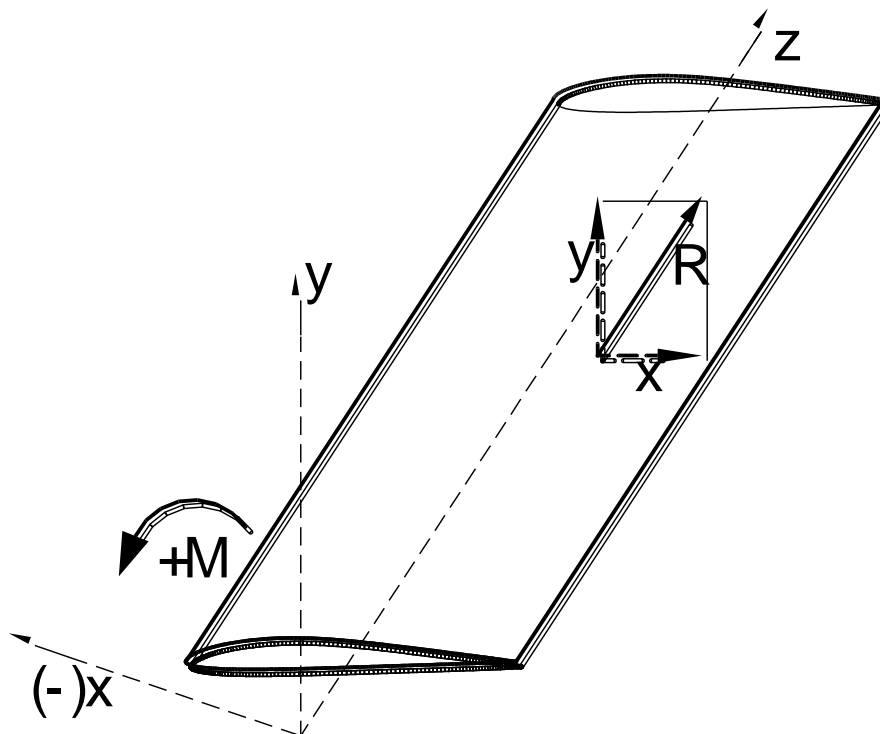
² ny. örgy., főiskola docens, Kecskeméti Főiskola Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, urban.istvan@gamf.kefo.hu

³ Lektorálta: Dr. Kavas László okl. mk. alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, kavas.laszlo@uni-nke.hu



1. ábra nyomásközéppont vándorlás a belépő él felé (készítették: a szerzők)

Hasonló folyamat játszódik le akkor, ha a súlyvonal a légerő hatásvonalá előtt van. Ebben az esetben a légerő „ornnehéz” bólintó nyomatékot hoz létre a z tengely körül, ez az állásszög csökkenését vonja maga után. A csökkenő állásszög miatt a nyomásközéppont hátra vándorol, amely a megindult állásszög csökkenéssel járó folyamatot gyorsítja. A magában repülő egyenes szárny helyzete tehát ebben az esetben is a kiindulási ponttól rohamosan eltér. (2. ábra)



2. ábra nyomásközéppont vándorlás a kilépő él felé (készítették: a szerzők)

Ha a pillanatnyi légerő hatásvonalá a súlyvonalat (súlypontok dinamikus helyzetét) metszi, akkor a tehetetlenségi főtengyelre vett nyomatékok pillanatnyi eredője zérus, a szárny egyen-

súlyi helyzetben van. Ennek azonban csak teoretikus jelentősége van, mivel a legkisebb zavarás hatására valamelyik már említett helyzetébe megy át az izolált szárny.

A nyomatékközéppont vándorlással rendelkező, hagyományos profillal ellátott egyenes szárny ezért nem képes stabil repülésre [1]

Tehát a stabil repülés feltétele, hogy az állásszög és az eredő nyomaték változása (mely a „z”, vagyis a kereszt tengely körül forog) ellentétes legyen. A repülőgép stabil, ha növekvő felhajtóerő tényezőhöz „ornehéz” bólintó nyomatékváltozás, csökkentő felhajtóerő tényezőhöz „faroknehéz” bólintó nyomatékváltozás tartozik. Az utóbbi megállapítás azért szükséges, mert a gyakorlati aerodinamikai mérések során a felhajtóerő tényező könnyebben határozható meg, mint az állásszög.

A bólintó nyomatékot M_z -vel jelöljük, ez a tehetetlenségi fő tengellyel egybeeső z tengely körüli forgatónyomatékra utal. A stabilitás (a repülőképesség) vizsgálatánál a légerők és nyomatékok helyett azok dimenzió nélküli tényezőivel célszerűbb számolni.

$$c_y = \frac{Y}{q \cdot A} \quad (1)$$

$$c_x = \frac{X}{q \cdot A} \quad (2)$$

$$c_{mac} = \frac{M_{Ac}}{q \cdot A \cdot h} \quad (3)$$

$$m_z = \frac{M_z}{q \cdot A \cdot h_a} \quad (4)$$

Ahol:

- c_y felhajtóerő tényező,
- Y felhajtóerő,
- q az áramló közeg dinamikus, vagy torló nyomása,
- A vetületi szárnyfelület,
- c_x légellenállás tényező,
- c_{mac} nyomatéki tényező, melyet a szárnyprofil aerodinamikai centrumára állapítunk meg,
- M_{AC} aerodinamikai centrumra számított forgató nyomaték,
- h a szárnyprofil húrhossza,
- m_z a z tengely körüli forgató nyomaték nyomatéki tényezője,
- M_z a z tengelyre számított forgató nyomaték,
- h_a a szárny közepes aerodinamikailag húrhossza, amely bármely felülnézeti alakkal rendelkező szárny esetében:

$$h_a = \frac{S}{A} \int_0^{s/2} h^2 dz \quad (5)$$

míg trapéz alakú szárnynál:

$$h_a = \frac{S}{A} \frac{h_t^2 + h_v \cdot h_t + h_v^2}{3} \quad (6)$$

összefüggés alapján számítható. Az 5. és 6. egyenletben S a szárny fesztávot, h_t a szárny töben mért, míg h_v pedig a szárnyvégen mért húr hosszát jelöli.

A hosszstabilitás alapproblémája matematikai úton: $\frac{\delta m_z}{\delta c_y}$ hányados, tehát az m_z nyomatéki

tényező c_y szerinti megváltozása pozitív, azaz ha c_y növekedése m_z növekedését, c_y csökkenése m_z csökkenését vonja maga után akkor a repülőgép instabil. Ez kielégíti a fent leírt feltételt, mivel az állásszög növekedése az M_z bólintónyomaték növekedését, csökkenését, csökkenése a bólintónyomaték csökkenését eredményezi. [3]

2. Hosszstabilitás számítása és tipikusan vizsgált esetei

Így a statikus hosszstabilitás feltétele: $\frac{\delta m_z}{\delta c_y} < 0$

A statikus instabilitás feltétele: $\frac{\delta m_z}{\delta c_y} > 0$

A stabilitási indifferencia feltétele: $\frac{\delta m_z}{\delta c_y} = 0$

Annál nagyobb a repülőgép stabilitása, minél nagyobb abszolút értékű negatív számmal jellemezhető a fenti hányados (alap kiképző repülőgépeknél ennek szokásos értéke 0,4-0,6, pl. ennyi az R-26 Góbé típusú vitorlázó repülőgépnél is), ezért ez a stabilitást kifejező viszonyszám is. Deduktív alkalmazásával megállapítható, hogy ez egyben az $m_z = f(c_y)$ függvény görbe meredeksége is, így ez a függvény jól szemlélteti a statikus hosszstabilitási viszonyokat az adott repülőgép esetében.

A függvény értelmezési tartományában feltétel, hogy a metszésponttól balra pozitív, jobbra negatív metszései legyenek, ugyanis ez jellemzi a stabil állapotot. A görbe rendelkezhet pozitív meredekségű, instabil szakaszokkal is, mivel ez nem befolyásolja döntően a stabilitási követelményeket. De elengedhetetlenül fontos, hogy a metszéspont közelében negatív iránytangensű legyen, valamint hogy egyetlenegy metszéspont legyen. [4]

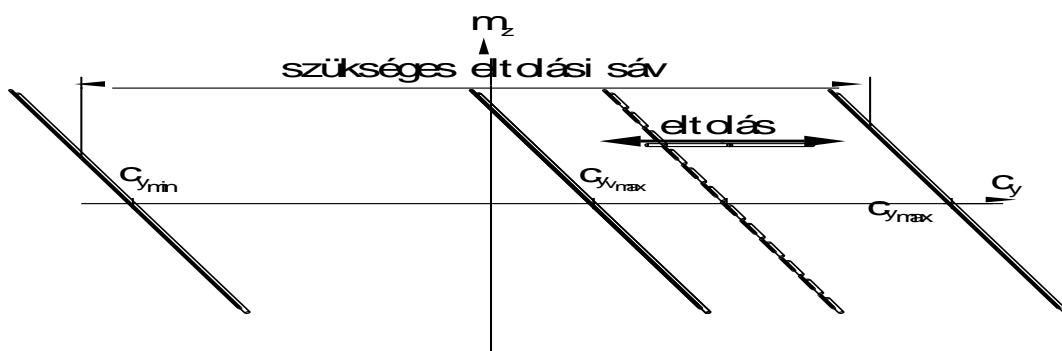
Az első feltétel biztosítja, hogy a repülőgép az előállítható és a megengedett sebességhatárok között egyenes vonalú pályán, egyenletes sebességgel repülhessen. A repülőképeség második feltétele, hogy az $m_z = f(c_y)$ görbe a felhajtóerő tényező tengelyt a szárny profilja által előállítható felhajtóerő tényezők tartományában metsze. Ez a gyakorlati aerodinamikában azt jelenti, hogy c_{ymin} , $c_{y,vmax}$, c_{ymax} értékek közé kell esnie a függvény zérus helyének. Ennek az eddigi két feltételnek a kielégítése biztosítja azt, hogy az egyenes vonalú pályán, egyenletes sebességgel repülő légijármű egyensúlyából kibillentve – az ébredő stabilizáló nyomaték hatására – a zavarás előtti állapotába újból rövid időn belül visszatér. E két feltételt kielégíti az alábbi képen ábrázolt, a jól beállított, a FAI által a legnépszerűbbnek tartott, F1A kategóriájú, szabadon repülő repülőmodell (1. kép) is, amely képes stabilan repülni. [2]



1. kép FAI F1A kategóriájú, szabadon repülő repülőmodell
(forrás: [http://w-hobby.com/?p=Electronic Superba Model](http://w-hobby.com/?p=Electronic+Superba+Model))

3. Vízszintes irányfelület, a magassági kormány szükségessége

A repülőgépekkel szemben támasztott fontos követelmény, hogy a stabilan, egyenes vonalban repülő gép sebességét az úgynevezett átesési és soha nem túlléphető sebességek által határolt tartományok között szabadon változtathassuk, és a kívánt értékre bármikor beállíthassuk. Ez tulajdonképpen matematikailag azt jelenti, hogy az $m_z = f(c_y)$ görbe önmagával párhuzamosan eltolható legyen. (3. ábra)



3. ábra repülőképeségi feltételek (készítették: a szerzők)

Az eltolás folytán a c_y teljes előállítható tartományban, de legalább a gyakorlatilag használt $c_{y_{\max}}$ és $c_{y_{v\max}}$ közé eső intervallumban a repülőképeség második feltételének kielégítése mellett az első feltétel is bárhol megbízhatóan realizálható legyen.

Ezt az eltolást, más néven a harmadik repülőképeségi feltételt a gyakorlatban a repülőgép magassági kormányával valósítható meg. Utóbbi ezért úgy kell méretezni, hogy segítségével a repülőképeség harmadik feltétele kielégíthető legyen. Pontosítva, általában a magassági kor-

mány felületét - alapvetően repülőgép prototípusok tervezésénél - egy biztonsági tényező meghatározott értékének figyelembe vételével nagyobbra szükséges kialakítani a lentebb ismertett empirikus értékeknél. A gyakorlati aerodinamikában és a kormány mozdításának gyakorlati kivitelezésekor ezt rendszerint az úgynevezett „kettős aránnyal” (azaz, a mozgó szervomotor tengelyének szögelfordulását csökkentve), ezáltal a magassági kormány kitérését - akár mindkét irányban - határolva. Ezzel biztosítják a legkedvezőbb (függvény) eltolási mértéket.[5]

Az irányfelületeknél általánosan megállapítható követelmény az is, hogy geometriai méreteik és elhelyezésük a teljes repülési sebesség és magasság tartományban biztosítsa az adott repülőgépre előírt hossz-és iránystabilitási jellemzőket, melyeknek számszerű értékeiket általában szabványban rögzítik.

A vízszintes irányfelület helyét és méretét a szükséges statikus hosszstabilitás mértékéből számítjuk. A hosszstabilitás arányos a vízszintes irányfelület statikai nyomatékával ($A_{vi} \cdot x_{vi}$).

$$\frac{A_{vi} \cdot x_{vi}}{A \cdot h_A} = 0,3 - 0,8 \quad (7)$$

$$\frac{A_{vi}}{A} = 0,15 - 0,35 \quad (8)$$

Ahol:

x_{vi} a repülőgép súlypontja és az irányfelület nyomásközépponti vonala közötti távolság;

A_{vi} a vízszintes irányfelület felülnézeti alapterülete;

A a repülőgépszárny felülnézeti alapterülete;

h_A a szárny közepes aerodinamikai húr hossza;

A_{vi}/A reláció nagyobb értéke, a nagyobb felületi terhelés esetén adódik.

4. A függőleges farokfelület

A repülőgép függőleges farokfelületén a sárkány valamennyi eleme közül a legnagyobb stabilizáló (un. legyező) nyomaték keletkezik, mely az áramlás irányával szembefordítja a repülőgépet, a csúszási szöget csökkenteni igyekszik. Statikai nyomatékokat meghatározó tényezők:

- a repülőgép kereszt- és iránystabilitása közötti kapcsolat;
- többhajtóműves repülőgépeknél, felszálláskor egy külső hajtómű leállása esetén, illetve repülés közben egyik oldali hajtómű(vek) működésképtelenné válásakor a vízszintes repülés képessége;
- 15 m/s (más előírások, például volt szovjet/országi szerint 12 m/s) erősségű, 90, vagy 270 fokos azimutú oldalszél esetén is a repülőgép biztonságos leszállása.

A tapasztalati adatok alapján:

$$\frac{A_{fi} \cdot x_{fi}}{A \cdot S} = 0,05 - 0,1 \quad (9)$$

$$\frac{A_{fi}}{A} = 0,1 - 0,25 \quad (10)$$

A nagyobb érték a szárnyon elhelyezett többhajtóműves, és hosszú orr- résszel ellátott repülőgépekre jellemző.

Ahol:

x_{fi} - a repülőgép súlypontja és az irányfelület nyomásközépponti vonala közötti távolság;

A_{fi} - a függőleges irányfelület területe;

A - a szárny felülnézeti alapterülete;

S - a szárny fesztávolsága.

A főbb geometriai adatok (amelyek adott esetben szélső értékeiben igen tág, akár 100%-os eltérést is jelenthetnek (9)), valamint a kívánt nyomatékok kiszámítása után kiválasztható a kívánt vezérsík elrendezést.

Cikkünk következő részeiben a különböző farokfelület elrendezési módok előnyeit-hátrányait, valamint kialakításának repülésmechanikai és szerkezettani problémáit szándékozunk publikálni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Rác Elemér: Repülőgépek a BKGME Egyetemi jegyzete azonosító: 740676
- [2] <http://www.modellsport.hu/szabalyzatok/szabardonrepulo.pdf> 2011.05.05.
- [3] Dr. Kesselyák Mihály: Repülés mechanikája a NYMGF főiskolai jegyzete s.sz.: 230/1983
- [4] <http://adg.stanford.edu/aa241/stability/staticstability.html> 2011. 05. 10
- [5] <http://aircraftcomponent.net/the-primary-requirement-for-longitudinal-static-stability-trimmed-flight-conditions.html> 2011. 05.10