

.: Hungarian Aviation Training Online .:

...:HATON Oktatóanyag:...:

ALAPFOK – 2. fejezet

Repüléselmélet

2.2.1 FOLYADÉKOK ÉS GÁZOK ÁRAMLÁSA

Mint tudjuk, folyadékok és gázok között az a legfőbb különbség, hogy a folyadékok összenyomhatatlanok, a gázok viszont nem. Kis sebességű (hangsebesség alatti) áramlásban viszont a gázok sem nyomódnak össze, így a folyadékokhoz hasonlóan viselkednek.

Folytonosság törvénye

Ha egy csőben folyadékot áramoltatunk, akkor azt tapasztaljuk, hogy a keskenyebb keresztmetszetű részen gyorsabb lesz az áramlás. Ezt egyszerű belátni, hiszen a folyadékok összenyomhatatlanok, és mivel a keskenyebb részen is ugyanannyi folyadéknak kell áthaladnia adott idő alatt, mint a szélesebben, ezért itt gyorsabbnak kell lennie. Modernebb felfogásban: vizsgáljuk meg egy modern sugárhajtású gép hajtóművének belépő-, és kilépő keresztmetszetét. A keresztmetszet, majdhogynem a felére csökken a kilépési szakasznál, ezzel elősegítve a hajtómű tolóerejének növekedését.

Bernoulli törvénye

Ha a változó keresztmetszetű csövünk széles és keskeny részénél megmérjük a cső falán a nyomást, akkor azt tapasztaljuk, hogy a keskenyebb részekben, így ahol gyorsabb az áramlás, ott a nyomás kisebb. Egy hétköznapi példát nézve: nyugodt időben a háztetőn egy cserép tetején, és alján is, állandó, ugyanolyan nyomás uralkodik, ám széles időben a cserép tetején felgyorsul a levegő, csökken a statikus nyomás, így felhajtóerő termelődik, és rosszabb esetben lerepül a cserép.

Kármán-féle örvénysor

Áramlásban lévő tárgyak alakját nem feltétlenül követi időben állandósult áramlás (stacionárius áramlás), előfordul, hogy nem igazán áramvonalas testek mögött örvények alakulnak ki – így minden mozgó test körül ilyen örvények alakulnak ki. Ezek az örvények periodikusan keletkeznek, és hagyják el a testet, az áramlás irányába, forgásirányuk pedig ellentétes az áramlás irányával.

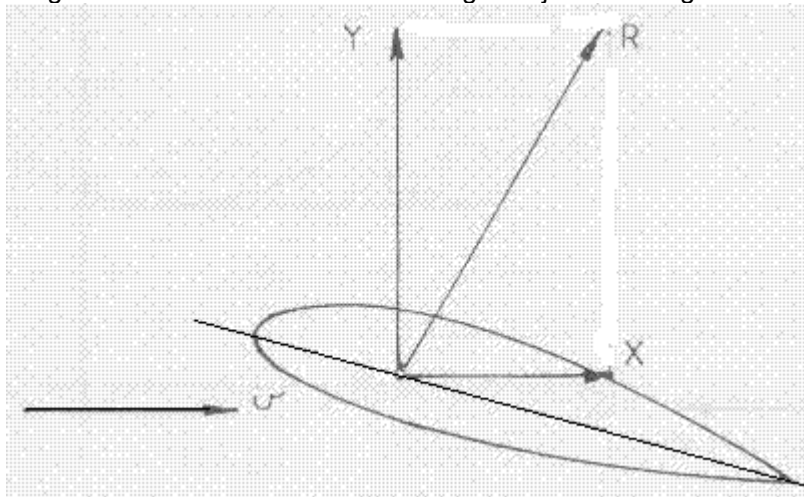
Közegellenállás

Áramló folyadékba vagy gázba helyezett tesre mindig hat egy, az áramlással megegyező irányú erő, amit közegellenállásnak hívunk. Nagysága először is függ a közeg sűrűségétől, és az áramlásba helyezett tárgy alakjától is – minél áramvonalasabb egy tárgy, annál kisebb a közegellenállás. Az erő függ még továbbá a sebességtől, méghozzá négyzetesen: így egy kétszer olyan gyors repülőnek kétszer akkora közegellenállást kell leküzdenie.

2.2.2 SZÁRNY KÖRÜLI ÁRAMLÁS ÉS A RÁ HATÓ ERŐK

Állásszög, felhajtóerő

Bár eddig csak ellenállásról írtam, az áramlásba helyezett testre nem feltétlenül az áramlással megegyező irányú erő hat. Ezért megtehetjük azt, hogy az így keletkező erőt felbonthatjuk egy áramlással megegyező irányú (ellenállás) és merőleges erőre (felhajtóerő). Természetesen, ha az áramlás irányát szimmetriatengelynek véve szimmetrikus testünk van, akkor arra nem hat felhajtóerő. Ellenállás azonban minden esetben van. Fontos, hogy észrevegyük: nem mindegy, hogy hogyan teszünk az áramlásba egy testet, ha csak nem gömbről van szó, hiszen az minden, a középpontján áthaladó tengelyre szimmetrikus. Egy repülő szárnyánál az a lényeges, hogy a szárny síkja milyen szöveget zár be az áramlással. Ezt a szöveget hívjuk állásszögnek.



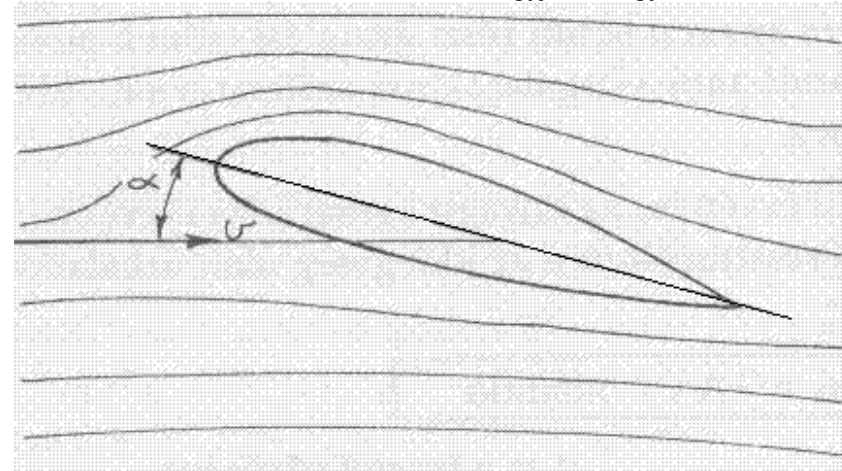
Végtelen fessztávú szárnyon

Egy szárny tulajdonságait az határozza meg, hogy mekkora a felülete, hogy milyen geometriája van (hogy néz ki felülről, illetve szemből), és az, hogy milyen a profilja (azaz milyen formát látnánk, ha keresztbe elválnánk a szárnyat, mint egy kolbászt). A felületet már megbeszéltük, azzal nem kell foglalkoznunk, azonban a geometriától, és a profiltól függő tulajdonságokat érdemes külön tárgyalni.



Sebesség és nyomáseloszlás

Ha két dimenzióban szemlélünk egy szárnyszelvényt, aminek van egy kicsi (0-10°-os) állásszöge, (mondjuk valamilyen módon, pl. füstcsíkokkal láthatóvá tesszük az áramvonalakat), akkor azt tapasztalhatjuk, hogy az áramvonalak kicsivel a szárny belépőélének elérése előtt már nem párhuzamosan haladnak, hanem kezdenek kissé távolodni egymástól. Általában nem csak távolodnak, de inkább a szárny felső része felé veszik az irányt. Ebből az következik, hogy felül sűrűbben lesznek az áramvonalak, alul pedig távolabb egymástól. A folytonosság törvénye miatt, felül nagyobb, míg alul kisebb sebességgel kell a levegőnek áramolnia. Ez így is történik, és mivel a nagyobb sebességű áramlásban kisebb lesz a nyomás, mint a kisebb sebességűben, ezért a szárny alján nagyobb lesz a nyomás, mint a felső részén, így az alul lévő nyomás nagyobb erőt fejt ki a szárnyra, mint a felül lévő, tehát a szárny egész felületén a nyomás által kifejtett erők eredője alulról fölfelé fog mutatni, tehát felhajtóerő keletkezik. Ha az állásszöget növeljük, akkor az így keletkező nyomáskülönbség, és az ebből adódó felhajtóerő is növekszik, nagyjából az állásszöggel egyenesen arányosan. E közben azt lehet megfigyelni, hogy habár a légellenállás sokkal kisebb, mint a felhajtóerő, az állásszög változtatásával az is növekszik, viszont nagyjából négyzetesen.



Aztán az állásszög növelésével elérünk egy bizonyos értéket, akkor azt tapasztaljuk, hogy a felhajtóerő növekedése hirtelen egyre kisebb, majd csökkenni kezd, az ellenállás pedig sokkal jobban növekszik. Ilyenkor az történik, hogy az áramvonalak a túl nagy állásszög miatt már nem követik a profil vonalát, hanem a szárny feletti részben örvénylések jelennek meg. Ezért a nyomás megemelkedik, hiszen már nincs gyors áramlás a szárny fölött, és ez a felhajtóerő drasztikus csökkenését okozza. Ezt a jelenséget szokták átesésnek hívni, az állásszöveget pedig, aminél bekövetkezik, átesési, vagy kritikus állásszögnek hívják.

Különböző szárnyprofilok, ívelőlap, orrsegédszárny

Nem árt tudni, hogy milyen alakú profiloknak milyen tulajdonságaik vannak. Szimmetrikus profilokra az a jellemző, hogy nulla fokos állásszögnél nem keletkezik rajtuk felhajtóerő, és a polárdiagrammjuk a negatív részen éppen a pozitív résznek a tükörképe a vízszintes tengelyre, ami azt jelenti, hogy mindegy, hogy „hason” vagy „háton” repülnek vele, ez nem változtat a tulajdonságain. A profilok többsége azonban enyhén ívelt, ezért nulla fokos állásszögnél is keletkezik felhajtóerő, és ha azt az állásszöveget vesszük pozitívnak, amikor a szárny kevésbé „domború” része van alul, akkor pozitív állásszögnél nagyobb felhajtóerő keletkezhet, mint negatívban. Méghozzá minél íveltebb egy szárnyprofil annál nagyobb a legnagyobb felhajtóerő, ami keletkezhet rajta. Az ívelt profiloknak viszont nagyobb az ellenállásuk is. Ezért találták ki az ívelőlapot (flaps), ami fel-, és leszállás közben, amikor szükség van a kis sebesség miatt a nagy felhajtóerő tényezőre, növeli a szárny íveltségét. Repülés közben pedig, amikor a gép gyorsabban megy, és kisebb felhajtóerő tényező is elegendő, az ellenállásnak viszont lehetőleg minél kisebbnek kell lennie, az ívelőlapokat alaphelyzetbe lehet állítani, ezzel csökkentve a szárny ellenállását. Az orrsegédszárny feladata ugyanez, csak mivel nem a kilépőél íveltségét, hanem a belépőélét növeli, ezért nem csak plusz felhajtóerőt, de nagyobb kritikus állásszöveget eredményez.

Véges fesztávú szárnyon

Ilyenkor már a szárnyvég is változtat az áramláson, és így a légerőkön is. A probléma az, hogy a szárny alatt és felett nyomáskülönbség van, és a levegő a nagyobb nyomású rész felől a kisebb nyomásúhoz szeretne eljutni, és ezt a szárnyvégnél meg is teheti, hiszen ott véget ér a szárny felülete, ami eddig megakadályozta ebben. Így a szárnyvégnél az áramvonalak alulról fölfelé kanyarodva, egy spirál alakú örvényt kialakítva bemennek a szárny fölé, így csökkentve a nyomáskülönbséget, és ezzel a felhajtóerőt. Ez ugyanakkor az ellenállást is növeli. Persze, hogy ez a jelenség milyen mértékű, az attól függ, hogy mekkora a nyomáskülönbség. Tehát ha nagyobb a felhajtóerő, akkor nagyobb az indukált ellenállás is. Emellett még a szárnygeometria is befolyásolja, hiszen ha a szárny jobban hasonlít egy végtelen fesztávú szárnyhoz, azaz felülről nézve minél karcsúbb, annál kisebb lesz az indukált ellenállás. Erre jó példa, hogy a vitorlázó-repülőknél nagyon karcsú szárnyuk van, mert számukra nagyon fontos, hogy minél kisebb legyen az ellenállás. Szintén az indukált ellenállás csökkentésére szolgálnak még a wingletek, amik a szárnyvégen lévő kis függőleges „szárnyacsokk”.

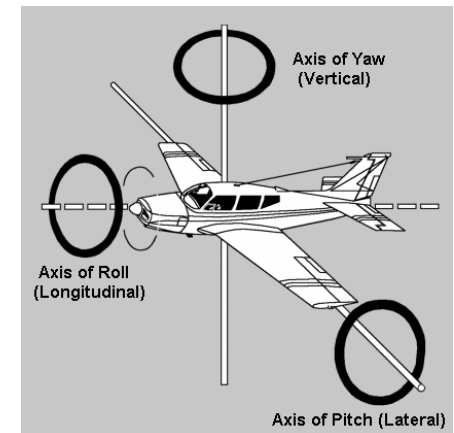
2.2.3 REPÜLŐGÉP TENGELYEI

Repülőgép stabilitása, egyensúlya

Egy test egyensúlyi állapota háromféle lehet: biztos, bizonytalan és közömbös. A egyensúlyi állapot akkor biztos (stabil), ha a testet kissé kimozdítva, a rá ható erők hatására eredeti helyzetébe igyekszik visszatérni. Ha az egyensúlyi helyzetből való kimozdítás után a kimozdulást az erők még tovább növelik, akkor bizonytalan (instabil, labilis) az egyensúly. A harmadik esetben, vagyis ha a test új helyzetében is egyensúlyban marad, közömbös (indifferens) állapotról beszélünk. Ezeket az állapotokat leginkább úgy tudjuk elképzelni ha egy golyót helyezünk el homorú, sík, és domború felületeken. A homorú a biztos, sík a közömbös és a domború a bizonytalan. A repülőgépeknél is beszélhetünk stabilitásról. A repülőgépet akkor nevezzük stabilnak, ha – miután valamiféle zavaró hatás (pl. szélleökés) eredeti helyzetéből kimozdította, – kormánykitérítés nélkül – rövid idő alatt magától visszatér abba. Ha a repülőgép a zavarás után kormánykitérítés nélkül nem tér vissza eredeti helyzetébe, hanem a zavarás hatására felvett új helyzetében repül tovább, akkor indifferens egyensúlyi helyzetben van. Ha viszont a zavarás hatására megkezdett mozgást minden további külső ok nélkül folytatja, a gép labilis.

Repülőgép tengelyei

A törzs orrát a törzs végével összekötő egyenes a gép hossz tengelye, erre merőlegesen a szárnyvégtől szárnyvégig húzódó tengely a kereszt tengely, végül mindkettőre merőleges a függőleges tengely. Igen fontos, hogy a repülőgép mindhárom tengely körül merőleges legyen, és a pilótának ne kelljen már a legkisebb zavaró hatásokat is kormánykitérítéssel ellensúlyoznia.



Az instabil repülőgép könnyen kilendül normális helyzetéből, és egyensúlyi helyzetét már kis kormánymozdulatok is megzavarják. Az ilyen repülőgéppel igen fárasztó repülni. A kereszt tengely körüli stabilitást hossz-stabilitásnak nevezzük. A repülőtulajdonságok szempontjából ez a legjelentősebb. A kereszt (azaz a hossz tengely körüli) és az iránystabilitás (azaz a függőleges tengely körül) általában már a repülőgép szimmetrikus kialakítása miatt biztosítottak tekinthető.

2.2.4 TENGELYEK KÖRÜLI MOZGATÁS

A repülőgép tengelyei körüli mozgatót az arra kitalált kormánylapok végzik: a függőleges tengely körül az oldalkormánylap, amely a függőleges vezérsíkkal egybe van építve; a hossz tengely körül a csűrőkormánylapok, amelyek a szárnyvég kilépőjénél találhatók, de vannak egyes repülőgéptípusok, amelyeknél az egész szárny kilépője a csűrő. Ezek lehetnek ultrakönnyű gépek, vagy akár vitorlázók is. Végül a kereszt tengely körül: itt a magassági kormány végzi a mozgatót, amely egybe van építve a vízszintes vezérsíkkal és erre a függőleges vezérsík merőleges. Bizonyára mindenki látott már vadászgépet, és fel is tűnt neki, hogy ezeken a gépeken szinte teljesen máshogy néznek ki a kormányok, mint egy kishajó vagy egy utasszállító. A kitérés mértéke, és a kitérés megoldása is teljesen más, hiszen a vadászgépeken, de egyes vitorlázókon is a vízszintes vezérsík a magassági kormány, tehát ha a pilóta a magassági kormányt mozgatja, akkor nem csak a vezérsík hátsó része, hanem maga az egész vezérsík is kitér. Ennek jelentősége, hogy a gép jobb manőverezési tulajdonságokat kap, amely egyértelműen elengedhetetlen a vadászgépeknél.

2.2.5 VÍZSZINTES REPÜLÉS

Ha repülünk változatlan sebességgel, ugyanabba az irányba siklik, akkor az fizikailag megfogalmazva egyenes vonalú egyenletes mozgást végez. Ilyenkor Newton I. és II. törvénye szerint a rá ható erők eredőjének nullának kell lennie. Amiben biztosak lehetünk, hogy a repülőkre a gravitáció eredményeképpen hat a nehézségi erő, függőlegesen lefelé. És mivel egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, ezért ellenkező irányba, tehát függőlegesen felfelé kell mutatnia a légerőnek, ami felhajtóerőre, és ellenállásra bontható fel. Azt, hogy a függőleges összetevő lefelé mutat, tapasztalatból tudjuk, hiszen kevés olyan papírrepülő van, ami elhajítás után többet nem ér földet, tehát a repülőnek siklás közben van merülősebessége. Viszont nem olyan egyértelmű, hogy a felhajtóerő és ellenállás aránya megegyezik a merülősebesség és a vízszintes sebesség arányával, tehát azzal, hogy a repülőgép adott magasságból milyen messzire tud siklani. Ezt a számot szokás siklószámoknak, vagy egy rövidítéssel L/D-nek (Lift/Drag) nevezni, és nagyon fontos szerepe van a vitorlázórepülőknél, illetve a motoros gépeknél is, ha leáll a hajtómű.

Ahhoz, hogy gépünk egyenes vonalú egyenletes mozgás közben ne veszítsen magasságából, tehát emelkedjen, vagy vízszintesen repüljön, a nehézségi és légerő mellé szükség van egy harmadik erőre is, ami előrefelé mutat. Motoros gépeknél ezt az erőt a motor adja.

2.2.6 TRIMM

A magassági kormányon található kisméretű lap (lehet, hogy egy 747-esnél nem olyan kicsi ☺) a trimmlap. A pilóta az üléséből ezt a kis lapot tetszőleges helyzetbe állíthatja úgy, hogy a botkormányon ne lépjen fel kormányerő, tehát hogy ne kelljen erőfeszítéseket végezni vízszintes repülés során. Egy „ornnehéz” géppel nehezebb emelkedni, mint egy farok nehéz géppel, de ez igaz fordítva is, egy „faroknehéz” géppel nehezebb süllyedni, mint egy „ornnehéz”. Ezek megkönnyítésére szolgál a trimm. Farokra trimmelve könnyebb az emelkedés, orra trimmelve pedig a süllyedés. Az igazi pilóták így képesek akár a botkormány teljes mellőzésével is emelkedni, adott magasságon repülni avagy süllyedni, így a szimulátoros karrierünk során is hasznos kitanulni a trimm működését.

2.2.7 TERHELÉSI TÖBBSZÖRÖS

Ezzel a fogalommal nem kellett foglalkoznunk, amíg azt feltételeztük, hogy repülőgépünk egyenes vonalú egyenletes mozgást végez. Ha viszont gyorsul valamilyen irányba, például fordul közben a körpálya középpontja felé, vagy bukfcen közben, ami szintén körpályán történő mozgás, más nagyságú és irányú légerő szükséges, mint siklásnál. Ahányszor nagyobb ez a légerő, mint siklásnál, annyiszor nagyobb erők keletkeznek a repülő belsejében, a pilóta és az utasok ülepe, valamint az ülés között. Ezért érezzük ilyenkor úgy, hogy súlyunk a többszörösére nőtt. Terhelési többszörösnek azt a számot hívjuk, ahányszor nagyobb az épp keletkező légerő, mint amekkora siklás közben keletkezne. Természetesen minden repülőnek megvan az a terhelési többsége, aminek még ki szabad tenni, és az is, ami után már biztos, hogy eltörik.



2.2.8 FORDULÓK

A forduló leírása

Amikor bedöntjük a repülőt forduló előtt, a csűrőkormányt használjuk. Ilyenkor az történik, hogy a belül, tehát a forduló iránya felé lévő szárnyon a kormányfelület csökkenti az íveltséget, és ezáltal a keletkező felhajtóerőt is, a kívül lévő szárnyvégen pedig növeli őket. Ennek kellemetlen mellékhatása viszont, hogy a külső szárnyvégen a nagyobb indukált ellenállás a kívánt fordulóiránnyal, azaz a csűrő kitérítés irányával ellenkező irányba forog a függőleges tengely körül. Ezért ilyenkor, azaz a csűrő használatával összhangban az oldalkormányt is „be kell lépni” a kívánt irányba, hogy ne „csússzon” meg a repülő, ne sodródjon el a másik irányba.

A repülőgépre ható erők

Fordulóban a fordulósugár irányába gyorsul a repülő, amihez ilyen irányú eredő erő is kell. Ezt az erőt hívják centripetális erőnek, és a repülőn úgy keletkezik, ha a gép bedől a forduló irányába, ezzel bedöntve a felhajtóerőt is. Természetesen ahhoz, hogy függőlegesen ne gyorsuljon, a felhajtóerő függőleges összetevőjének meg kell egyeznie a nehézségi erő nagyságával, ezért vízszintes repülés során kicsivel növeljük az állásszöveget a magasság tartásához.

Fordulók mértéke

Kis bedöntésű fordulók esetében az oldalkormányt folyamatosan, de csak nagyon kis mértékben belépve tartjuk a forduló irányában: ezt olyan mértékben hajtsuk végre, hogy a turn coordinator nevű golyós műszeren a golyó a megadott skála közepénél legyen – ilyenkor a gép nem csúszik egyik irányba sem. Nagy bedöntésű fordulók esetén a két kormány szerv szerepet cserél: az oldalkormánnyal tartjuk a repülő orrát a horizonton, és a magassági kormánnyal ügyelünk arra, hogy a gép ne csússzon. Ha befelé csúszik, akkor jobban kell húzni a magassági kormányt, ha kifelé, akkor kevésbé. Természetesen kicsi és nagy bedöntésű fordulók között nincs egyértelmű határvonal, ezért gyakran a magassággal, és oldalkormánnyal is egyszerre szabályozzuk a csúszást és tartjuk a gép orrát a horizonton.