

Áramlások, örvények és egyéb érdekes jelenségek

V. rész

A közegellenállástól a szélcsatornáig

Ha az áramló közegben valamilyen test (akadály) található, akkor az áramlás egy sajátos erővel hat a testre. Ezt az erőt a szakirodalomban különböző elnevezéssel illetik. A fizikában leginkább közegellenállásnak nevezik, az áramlástanban hidrodinamikai vagy aerodinamikai ellenállásnak hívják. Ez az erő akkor is fellép, ha nyugvó közegű gázban vagy folyadékban, mozgatunk egy testet. Ideális folyadékoknál, ahol nincs súrlódás, közegellenállás sem tapasztalható. Ha egy test v sebességgel mozog egy nyugvó viszkozus közegben, akkor a testre hat a közegellenállási erő, amely két tényezőtől függhet. Kis sebességeknél csak a belső súrlódási erő hozza létre és ezért ebben az esetben súrlódási ellenállásnak is szokták nevezni. A közegellenállási erő kis sebességeknél egy lineáris törvénnyel írható le :

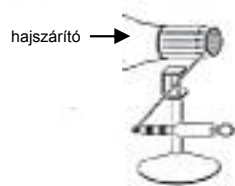
$$F = c \cdot v \quad (16)$$

ahol a c arányossági tényező függ a mozgó test alakjától és a közeg viszkozitásától. Gömb alakú test esetében c értéke : $6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta$, r a gömb sugara, így ez az összefüggés a kísérleti fizikából jól ismert Stokes-törvényt eredményezi: $F = 6\pi r \eta v$.

Nagyobb sebességeknél, erős örvényképződés alakul ki a test mögött, amely lényeges ellenállási erőt eredményez. Ebben az esetben a közegellenállást két tényező befolyásolja, a közeg viszkozitása és nagyobb mértékben az örvényképződés. A közegellenállási erő a sebesség négyzetével lesz arányos és a nem túlságosan nagy sebességek tartományában a közegellenállási erő a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$F = \frac{c \cdot S \cdot \rho \cdot v^2}{2} \quad (17)$$

Ahol c , egy dimenzió nélküli szám, csak a test alakjától függő ellenállási tényező, S a test homloklapfelülete. A nagyobb sebességgel haladó járművek tervezésénél nagyon fontos ismerni a közegellenállási erő értékét. Mivel az F erő pontos értéke repülőgépek, hajók, autók esetében számításokkal nem határozható meg, ezért értékét szélcsatornában történő mérésekkel határozzák meg. A szélcsatornába a vizsgálandó test (repülőgép, autó, hajó, híd stb.) kicsinyített mását, a hasonlósági modelljét helyezik el. A modellen végzett mérésekből meghatározható c_d értéke. Könnyen előállítható, házilag is elkészíthető mérőeszközzel vizsgálható a különböző alakú testeknél levegőáramban fellépő közegellenállási erő. A 29. ábrán látható eszköz az ún. aerodinamikai mérleg, egy kétkarú emelő. Az egyik karjára rögzítik a vizsgálandó testet, a másik karhoz egy dinamométer csatlakozik, amely mereven rögzített helyzetben van. A testre légáramot fújunk egy nagyobb teljesítményű hajszáritóval. A testre jutó légáram okozta közegellenállási erő a mérlegkart kilendíti, ennek következtében a dinamométer rugója megnyúlik és a skálájáról közvetlenül leolvasható a közegellenállási erő. Ha a test mögé egy vékony pamutszálat helyezünk annak, lobogó mozgásából következtethetünk a test mögött kialakult örvényképződésre.



29. ábra

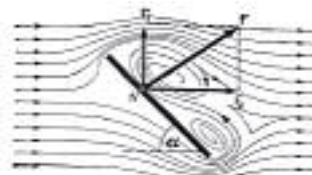


30. ábra

Azonos homlokfelületű de különböző alakú testek esetében az F erő nagysága igen nagymértékben függ a test alakjától, ami a c ellenállási tényező különböző értéke miatt adódik. Repülőgépek és járművek tervezésénél ezt figyelembe kell venni. A 30. ábrán látható azonos homlokfelületű kör keresztmetszetű testek esetében mért ellenállási tényező értéke, ahol a körlemez ellenállási tényezőjét egységnyiinek tekintik. A legkisebb érték az áramvonalas (csepp alakú) testnél adódik, míg a legnagyobbat a kivájt félgömbnél kapjuk. Azoknak az élőlényeknek amelyeknél a gyors mozgás lényeges, a testük formája megközelíti az áramvonalas alakot (halak, madarak). Ha a mozgó test sebessége igen nagy, megközelíti a hang sebességét, a levegő már nem összenyomhatatlan közegként viselkedik, ekkor a (17) összefüggés nem érvényes, és ebben a sebességtartományban már nem a csepp alakú áramvonalas formánál a legkedvezőbb a közegellenállás. Hajók esetében, mivel azok nem merülnek teljes terjedelmükkel a vízbe (kivéve a tengeralattjárókat), az ellenállás nagy részét, a hajó oldalához felcsapódó hullámok okozta, hullámellenállás eredményezi. Ezért a hajók esetében az optimális alak meghatározása áramlási csatornában végzett modell-kísérletekkel történik.

Dinamikai felhajtó erő

Párhuzamos áramlásba ferdén elhelyezett sík lemez körül az áramlási vonalak aszimmetrikus alakzatot mutatnak (31. ábra). Ugyanez az áramlási kép alakul ki, akkor is, ha egy nyugvó folyadékban egy sík lemezt a normálisától eltérő irányba mozdítunk.



31. ábra

A 31. ábrán látható áramlási kép aszimmetrikus alakzata annak a következménye, hogy a lemez felső szélé felé haladó folyadékrészecskék nagyobb irányváltozást szenvednek, mint az alsó szél mentén haladók. Ezért, amint az ábrán is látható, a lemez mögött a felső részen erősebb lesz az örvényképződés mint az alsón. Emiatt a lemezre ható nyomóerők F eredője nem annak geometriai középpontjában, hanem a lemez felső széléhez közelebb eső N pontban fog támadni és iránya nem lesz merőleges a lemez felületére. Az F eredő erőt felbonthatjuk két egymásra merőleges összetevőre. Az áramlás irányával párhuzamos F_c komponens a lemez mozgásakor az ellenállási erőt képviseli, míg a rá merőleges F_f a felhajtó erőt jelenti. A felhajtó erő elnevezés onnan származik, hogy a repülőgépeknél ez a felfelé irányuló erő a gépre ható emelő erőt jelenti és a repüléstanban aerodinamikai felhajtó erőnek nevezik. Ez az erő lendíti a sárkányt (lásd FIRKA 2003-2004/5), a vitorlázó repülőt vagy a sárkányrepülőt is a magasba.

Az áramlásba szimmetrikusan elhelyezett testeknél csak az ellenállási erő hat, a felhajtó erőnek az eredője, a szimmetria miatt, nulla lesz. Ez figyelhető meg az előző IV. részben (FIRKA 2004-2005/4) található 28. és 29. ábrán bemutatott áramlások esetén. Ugyanis ebben az esetben a szimmetria miatt a test mögött keletkező két örvény egyen-

ló nagyságú, de ellentétes forgásirányuk miatt ellentétes irányú, azonos nagyságú (függőleges) erőket hoz létre.

A ferdén elhelyezett lemezre ható F eredő erő komponenseire is felírható a (17). összefüggésben megadott erőtvény, amely az erőnek a sebesség négyzetétől való függését fejezi ki. Így az F_f felhajtó erőre és az F_e légellenállásra (levegő esetén) a következő összefüggés adódik:

$$F_f = \frac{c_f \cdot \rho \cdot S \cdot v^2}{2} \quad (18)$$

$$F_e = \frac{c_e \cdot \rho \cdot S \cdot v^2}{2} \quad (19)$$

Ahol c_f és c_e a test alakjától és az α állásszögtől függő, dimenzió nélküli szám. Az α állásszög alatt a test alapfelületének (érintő síkjának) az áramlás irányával bezárt szögét értjük (lásd 33. ábrát), míg az S felület síkidomszerű testeknél, nem a homloklapfelületet, hanem a test felületét jelenti. A felhajtó erőt és a légellenállási erőt külön-külön is meg lehet mérni a két komponensű aerodinamikai mérleggel. Egy egyszerű változata a 32. ábrán látható. A 29. ábrán látható aerodinamikai mérlegtől abban különbözik, hogy a mérleg karja a függőleges tengely körüli forgás mellett egy vízszintes tengely körüli forgásra is képes, így az ábrán látható két dinamométerrel mind a két erőkomponenst meg lehet mérni.



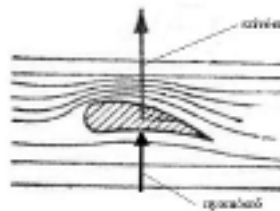
32. ábra

A felhajtó erő és a légellenállás aránya, amint a (18) és (19)-es képletekből következik a c_f/c_e aránnyal egyenlő. A repülőgépek tervezésénél ez egy igen fontos paraméter. A repülőgép szárnyának, a szárny profiljának a kialakítását ez határozza meg. Sík lapfelületnél ez az arány nem kedvező a repülés szempontjából. A kis sebességű repülőgépeknek a legelőnyösebbnek a 33. ábrán látható, ún. Zsukovszkij-profil bizonyult.

Ennél a profilnál a legkedvezőbb állásszög $\alpha = 16^\circ$, ekkor a c_f/c_e arány eléri a 20-at, de még $\alpha = -5^\circ$ negatív állásszögnél is van felhajtó erő.



33. ábra



34. ábra

A Zsukovszkij-profilú szárnyfelületnél a felhajtó erő keletkezése a következő képpen magyarázható. Ha ezt a szárnymodellt egy párhuzamos áramlási térbe helyezzük, akkor a 34. ábrán látható aszimmetrikus áramlási vonalak alakulnak ki a test körül. Ugyanezt az áramlási képet kapjuk akkor is, ha nyugvó légtérben állandó sebességgel mozgatjuk a profilt. Megfigyelhető, hogy a profil felett az áramvonalak sűrűsödnek, alatta meg ritkulnak. Ez azt jelenti, hogy a légáram sebessége a profil felső felén megnövekedett, míg az alsón lecsökkent. A Bernoulli-törvényből következik, hogy a felső részen a megnövekedett sebesség folytán lecsökken a sztatikus nyomás, ezért a felső szárnyfelületen szívó hatás lép fel, míg az alsó részen a lecsökkent sebesség miatt megnő a sztatikus nyomás, nagyobb lesz a környezeti légköri nyomásnál, ami felfelé mutató nyomóerőt

eredményez. Így a Zsukovszkij szárny-profilra felfelé mutató eredő emelő erő (aerodinamikai felhajtó erő) fog hatni. Ez az erő fogja a repülőgépet a magasba emelni. Ennek az erőnek a 2/3 része a szárny-profil felső részén ható „szívóerőből”, míg 1/3 része az alsó részen ható nyomóerőből származik. A repülőgép légcsavarja (propeller, 35. ábra) is hordfelületként működik. A légcsavar mindkét szára kivájt domborzatú, amelynek keresztmetszete a forgás irányában egy Zsukovszkij-profilt képez.

A légcsavar forgatásakor fellépő felhajtóerő közelítőleg a forgástengely irányába mutató húzóerőt eredményez, amely a repülőgépet a forgástengely irányában előre húzza. Hasonló elv alapján működnek a hajók mozgását létrehozó hajócsavarok is.



35. ábra

Szélcsatorna

A nagy sebességű járművek estében lényeges, hogy minél kisebb legyen a légellenállás és ugyanakkor nagy stabilitást biztosítson a választott test-profil. Ez a két feltétel részben egymásnak ellentmond, mert a kis légellenállás esetén általában megnő az emelő erő a közegellenállási erőhöz viszonyítva, ami rontja a jármű stabilitását, hiszen megemeli a gépet. Ezért a megfelelő alak-profil szélcsatornában végzett kísérletek alapján választják ki. Főleg a repülőgépek tervezésénél és a végleges géptípus-modell tesztelésénél elengedhetetlen kísérleti és mérőberendezés a szélcsatorna, amely a modern aerodinamika legfontosabb vizsgálati berendezése. A 36. ábra egy szélcsatornában készült felvételt mutat be.

A képen jól láthatók a prototípus autó, kicsinyített hasonlósági modellje körül kialakuló áramlási vonalak, amelyeket füst marker (nyomjelző) módszerrel állítottak elő. Attól függően, hogy milyen feladatot kell megoldjon a szélcsatorna, mérete és műszerezettsége nagyon különböző lehet. A kisméretű mikro szélcsatornától, amelyekben a repülőgépek vagy az autók kiinduló alakmértézését, a szimulációs programokhoz szükséges kezdeti feltételeket vizsgálják, vagy a szimuláció során nyert eredményeket ellenőrzik, az óriás méretű szélcsatornáig, amelyben a prototípus repülőgép utolsó földi tesztelését végzik, nagyon sokfajta szélcsatorna típust fejlesztettek ki.



36. ábra



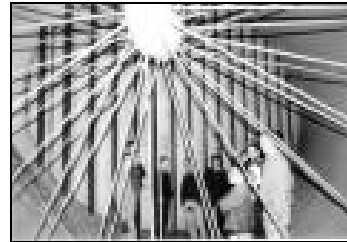
37. ábra

A 37. ábrán egy közepes méretű szélcsatorna látható. A képen megfigyelhető, hogy több személy is kényelmesen elfér a csatorna mérőterében.

A szélcsatornában elérhető sebességtől függően megkülönböztetünk szubszonikus, transzszonikus, szuperszonikus és hiperszonikus típust. A szélcsatornába beszívott levegőt különleges turbina-légcsavar (38. ábra) gyorsítja fel a kívánt sebességre, majd különleges terelő lapátokon és a turbulenciát eloszlató rácsokon átvezetve (39. ábra), egy fúvóka rendszerbe vezetik, ahol tovább növekszik a sebesség (az áramlási keresztmetszet csökkenése miatt), ezután jut a nagysebességű sztacionér áramlás a szélcsatorna mérőterébe.



38. ábra



39. ábra

A szélcsatornában kialakított áramlás jellege szerint három típus lehetséges: nyitott, zárt és félig zárt áramlási terű. A nyitott típusúnál a külső légtérből beszívott levegőt visszajuttatják a külső légtérbe, míg a zárt típusúnál, a mérőtérből kijutó légáramlatot visszavezetik a légáramlást felgyorsító turbinához. Ennél a típusnál ugyanaz a levegőtömeg áramlik, és mivel a visszavezetett levegő áram még jelentékeny mozgási energiával rendelkezik, lényeges energiamegtakarítás adódik. A félig zárt szélcsatormánál a mérőtérből kiáramló levegőt egy nagy tölcsér fogja fel, és mielőtt a szabadba jutna egy csillapító rendszerrel az áramlási sebességet lecsökkentik, hogy a külső környezetben ne okozzon zaj és egyéb ártalmakat.

Különleges mérésekre készítenek függőleges tengelyű szélcsatornákat is, valamint az áramlási vonalakat füst csíkok által láthatóvá tevő füstcsatornákat, ahol a repülőgépek vagy különböző járművek (autók, mozdonyok) hasonlósági modelljein tanulmányozzák a kialakuló áramlási teret. A 36. ábrán egy ilyen kis modell áramlási terének síkmetszete látható. A függőleges tengelyű szélcsatornákban főleg a nagykiterjedésű légörvényekbe jutott repülőgépek mozgását vizsgálják, az úgynevezett dugóhúzó hatást. Az ilyen csatornákban rendszerint vákuumszivattyúkkal légnyomáscsökkentést is megvalósíthatnak. A korszerű szélcsatornák fejlett digitális mérőberendezésekkel vannak ellátva, amelyek segítségével mérik a hasonlósági modellek különböző pontjaira ható erőket, a rájuk ható nyomatékokat, a modell és a határréteg különböző pontjaiban a sebességet, a nyomást, a hőmérsékletet. A mért adatokat egy számítógép-rendszerbe táplálják, amely az adatok feldolgozásán kívül a program szerinti szimulációkat is elvégzi. A szélcsatorna a korszerű repülőgép és járműtervezés leglényegesebb eszköze.

Puskás Ferenc

A titokzatos E-szám

I. rész

Az emberiség történetében jelentős helye van az étkezési kultúra fejlődésének is. A táplálkozás kezdetben csak az életfunkciók fenntartására, a harci erő megtartására szorított, s a közvetlen élettér földrajzi adottságai határozták meg (vizek mentén élő fő tápláléka a hal, az erdős, sztyeppés vidéken élőké a vadhús, később a tenyészállatok húsa és a környezetben található növények és gyümölcsök, melyek nem bizonyultak túl veszélyesnek). Így a különböző földrajzi zónákban más és más táplálkozási szokások alakultak ki. A társadalmi tagolódás fejlődésével az étkezési szokások is változtak. Az ételek élvezeti cikk jellege is előtérbe került. Már 4000 évvel ezelőtti egyiptomi feljegyzések tanúskodnak arról, hogy só és fűszernövények mellett színezékeket és aromaanyagokat is alkalmaztak. A középkori európai feljegyzésekben is találkozunk a lakomákon különlegesen színezett,