

Áramlások, örvények és egyéb érdekes jelenségek

VII. rész

A helikoptertől a rotorhajóig

A repülőgépeknek egy sajátos csoportját képezik a forgószárnyas gépek, a helikopterek. A forgószárny egy függőleges tengely körül forgó légsavarhoz hasonló forgó lapát, amelyet rotornak neveznek. A rotor a forgástengelyhez többnyire csuklósan van rögzítve, ezáltal az állítható forgó lapát bizonyos szöggel elhajolhat a forgástengelyre merőleges síktól, ez biztosítja a gép vízszintes irányba való repülését. A forgó lapátok teszik lehetővé a gép függőleges irányban való felemelkedését, vagy egyhelyben való lebegését. A rotor működtetését belsőégésű motor vagy sugárhajtómű biztosítja. A helikopterek nagy előnye a repülőgépekhez képest, hogy nem igényelnek kifutópályás repülőteret, bárhol leszállhatnak ahol egy kisméretű sík terület áll a rendelkezésükre.

Az az elképzelés, hogy egy repülőgépet függőleges tengely körül forgó légsavar segítségével emeljenek fel a magasba, már a XV. században felvetődött. Leonardo da Vinci már 1475-ben felvázolt egy függőleges tengely körül forgó lapátkerekes berendezést, amelyet a híres Codex Atlanticusban publikált, de az eszköz előállítására nem került sor. A technika története ettől az időponttól számítja a helikopterrel való repülés gondolatának a megjelenését, de közel öt évszázadnak kellett eltelnie ahhoz, hogy a helikopter bevonuljon a repülőgépek arzenáljába. Az első komoly kísérletezés a francia Bréguet fivérek nevéhez fűződik, akik 1907-ben egy benzinmotoros meghajtású helikopterrel 1,5 méter magasra tudtak felemelkedni és huzamosabb ideig lebegve maradni. Martin Lajos, a kolozsvári egyetem matematika professzora 1893-ban szabadalmaztatott egy helikopter típust, melynek forgószárnyát, a billenthető kerékagy és az állítható lapátok segítségével különböző állásszögbe lehetett beállítani, ezáltal biztosítani tudta a felemelkedésen kívül a vízszintes irányú mozgást. A lapátok forgássíkjának a változtatása első ízben Martin Lajos szabadalmi leírásában található meg, ezért Martin munkássága alapvető jelentőségű. Martin Lajos a „lebegő kerék” néven ismert szerkezetét 1896. augusztus 30-án ki is próbálta és a szemtanúk szerint a gép felemelkedett és egy rövidebb távolságot is megtett vízszintes irányban. A helikoptereknek ez az őse ma is látható a kolozsvári történeti múzeumban, ennek fényképét láthatjuk a hátsó borító belső oldalán.

1920 és 30 között számos kísérletezés történik a helikopter fejlesztés terén, de viszonylag lassú az előrehaladás, nagy nehézséget jelent a gép tetszőleges irányban történő repülés közbeni stabilitása és a gyors irányváltás megvalósítása, amely csak automatikus vezérléssel valósítható meg.

Az első olyan helikopter típust, amely nagyobb teher szállításra is alkalmas, 1937-ben fejlesztette ki Németországban H. Focke. A hadsereg számára a németek a Focke-Anghelis Fa-223-as típusból mintegy 20 példányt állítottak elő a háború végéig. Az amerikai hadsereg a 40-es évek elején a Sikorsky által tervezett R-5-ös helikopterek alkalmazására tért rá, amelyeket mentő repülőként alkalmaztak a háború utolsó szakaszában. A múlt század 50-es éveitől kezdve rohamos fejlődésnek indul a helikopter gyártás, ennek egyik oka, hogy a modern hadviselés egyik alapvető eszköze lett a helikopter. Napjainkban is a legjobb technikai paraméterekkel rendelkező gépek a

katonai célokra gyártott típusok. A XXI. században már egy lényeges szállítóeszközzé vált, amely számos területen nélkülözhetetlennek bizonyult.

Az elmúlt 50 év során számos helikopter típust fejlesztettek ki, ezek közül egyesek már csak a múzeumokban láthatók, de a jelenleg alkalmazott helikopterek is több típusba sorolhatók. A helikoptereknél a húzóerőt minden esetben a forgó lapátok, a rotorok, biztosítják, amelyeknek húzóereje egy vízszintes és egy függőleges irányú komponensből áll. Ahhoz, hogy a gép tetszőleges irányban elmozdulhasson e két komponens nagysága és iránya könnyen változtatható kell legyen. A tervezők e cél megvalósítása érdekében különböző technikai megoldásokat dolgoztak ki.

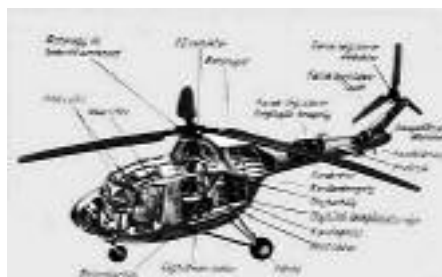
Az 51. ábrán látható az USA repülési múzeumában kiállított típus, amelynél a forgólapátok a hajtóművel együtt elforgathatók.

Ez a gép lényegében abban különbözik az előző FIRKA számban a 49. ábrán látható repülőgéptől, hogy a légszárak ferde szögben is beállíthatók. Ennél a gépnél a légszárak állásszögének változtatása nehézkes, lassú folyamat, mivel egy nagytömegű motorral együtt kell mozgatni a forgástengelyt, ezért ez a megoldás, bár elég nagy sebességet biztosít, nem állta ki az idők próbáját.

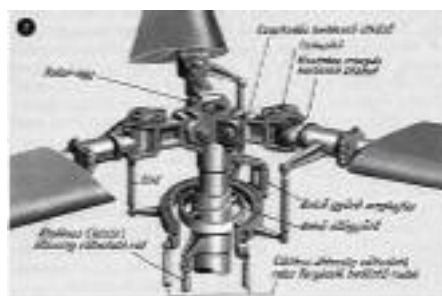
Az 52. ábrán látható a helikopterek egy gyakran alkalmazott típusa, melynél a vízszintes irányú húzóerőt a faroklégszár biztosítja. Ha a faroklégszár tartója a függőleges tengely körül elfordítható, akkor ez a vízszintes síkban való forgásra is alkalmas. A nagy feszítvolságú forgólapátok a függőleges emelőerőt biztosítják. Ha a forgólapátok rotorfeje csuklós kivitelű, akkor a lapátok állásszöge a vízszintestől eltérő ferde síkba is beállítható. Ebben az esetben a nagyobbik rotor is létre hoz vízszintes irányú húzóerőt, ezáltal nagyobb haladási sebesség valósítható meg, de sokkal komplikáltabb a technikai megoldás kivitelzése. Az 53. ábrán a rotor forgató és szabályozó rendszere látható. Ahhoz, hogy a helikopter vízszintes és függőleges irányú mozgását egyidejűleg, vagy külön-külön lehessen megvalósítani, a viszonylag nagy sebességgel forgó lapátok állásszögét forgás közben kell gyorsan megváltoztatni.



51. ábra



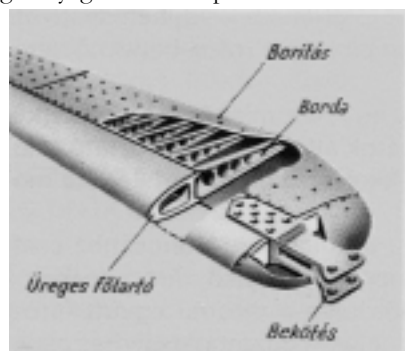
52. ábra



53. ábra

Az állásszögbeállítást nem csak gyorsan, de nagy pontossággal és biztonságosan kell megvalósítani. A megfelelő irányba ható vízszintes húzóerőt leggyakrabban úgy valósítják meg, hogy a rotorlapát állásszögét a forgási periódusnak megfelelően ciklikusan változtatják. A helikopter legkényesebb része a képen látható rotor rendszer, amelyhez természetesen hozzátartozik a képen nem látható belső szabályozó berendezés (botkormány, lábpedálok, szervomotorok). A modern, nagyteljesítményű gépeknél ezek működtetése a rotorokat meghajtó motorokkal összehangolva automatikus vezérlés útján történik, amelyet számítógépes rendszer biztosít. A képen jól látható, hogy a lapátok keresztmetszete ún. aerodinamikus alakzatnak felel meg, amely csökkenti az örvényleszakadás következtében fellépő ellenállási erőt. A nagy sebességgel forgó nagy húzóerejű lapátok rendkívüli dinamikai igénybevételnek vannak kitéve, ezért könnyű és nagy szilárdságú anyagból kell a lapátokat kialakítani.

Az 54. ábrán egy korszerű helikopter, üreges szerkezetű bordás merevítésű lapátja látható. Újabban kompozit felépítésű lapátokat alkalmaznak, ahol a merevítő bordák könnyű fémből a burkolat pedig nagy szilárdságú üvegszálas műanyag lemezből készül. A rotor forgásakor az impulzusnyomaték megmaradási törvénye értelmében a helikopterre hat egy, a rotor forgási irányával ellentétes irányú forgatónyomaték, amely a gépet elforgatja. Ha ezt a forgatónyomatékot nem kompenzáljuk a gép állandó forgást végez a vízszintes síkban.



54. ábra

Ezen forgatónyomaték kompenzálására többféle megoldás kínálkozik. Az 52. ábrán látható típusnál a farok-légszár forgássíkjának a megváltoztatásával történik. Ezt a módszert főleg a kis sebességű géptípusoknál alkalmazzák. Egy másik kompenzációs lehetőség a kettős rotor alkalmazása. Ebben az esetben két identikus rotort alkalmaznak ellentétes forgásiránnyal, ezáltal a rotorok forgatónyomatékai nulla erőt eredményeznek. A CH-47-es géptípusnál a rotorok két külön tengelyen vannak (55. ábra), míg a Ka-50-es gépnél egy közös tengelyre van szerelve a két ellentétes irányban forgó rotor (56. ábra).



55. ábra



56. ábra

A helikopter irányítására szolgáló kormányzó szervek a repülőgépéhez hasonló felépítésűek. Így minden helikopteren megtalálható a *botkormány*, amely magassági- és csűrőkormányzásra szolgál és a *lábpedál*, amely a vízszintes síkban forgatja a gépet azáltal, hogy hosszabb vagy rövidebb időre megbontja a forgatónyomaték egyensúlyi állapotát, amely vagy a farok-légcsavar forgássíkját, vagy a rotor-lapátok állásszögét változtatja meg.

A helikoptergyártás napjaink repülőgép iparának leggyorsabban fejlődő ágazata, nagyon sok változatban gyártják a különböző alkalmazási területnek megfelelően. A kis méretű kis sebességű és rövid utazótávolságú ún. „helikopter taxiktól”, a hatalmas 10 tonnás teherszállító gépekig, vagy a legkorszerűbb elektronikával és csúcstechnológiával készült berendezésekkel rendelkező harci helikopterekig a legkülönbözőbb típusokkal találkozhatunk. A helikoptergyártás csúcsteljesítményét a katonai célokra gyártott harci helikopterek képviselik.

Az 57. ábrán a BOEING gyár által sorozatban gyártott Apache típusú harci helikopter látható. A nagymértékben automatikus irányítású gépet mindössze kétfős személyzet irányítja. Két turbinás hajtómotorral rendelkezik, melynek teljesítménye 1,26 MW. Maximális utazó sebessége 296 km/h, de rövid időre 400 km/h sebességre is felgyorsulhat. Elérhető csúcsmagassága 6,4 km. Legnagyobb repülési távolsága 1890 km, repülési ideje 6 óra, saját tömege 4880 kg, legnagyobb felszálló tömege 9525 kg, rotorátmérője 14,63 m.



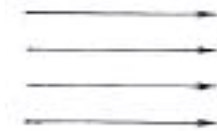
57. ábra

Az Apache az egyedüli harci helikopter, amely éjjel is bevethető, mivel infravörös fénycélkeresővel rendelkezik, ami lehetővé teszi az éjszakai tájékozódást.

A helikopterek maximális sebességét, a bűvös 400 km/h határt, már nem igen léphetik át. Ugyanis a sebesség növelése, csak a rotor fordulatszámának a növelésével érhető el. A rotor-lapátok végein erőteljes örvénylések lépnek fel, ez okozza többek között a forgó rotor kellemetlen hangját és ugyanakkor a fellépő örvényellenállás miatt a rotor fordulatszáma a jelenleg alkalmazható technikai megoldásokkal már nem növelhető. Ez a sebesség is csak nagy szilárdságú (kompozit szerkezetű) és az örvényképződést csökkentő, speciális alakzatú (nyílhegy alakú) rotor-lapátokkal érhető el.

Magnus-effektus

Az 58a. ábrán egy homogén áramlási tér párhuzamos áramlási vonalai láthatók (az áramlási tér minden pontjában a sebesség $v = \text{állandó}$). Ha az áramlási térbe egy hengert helyezünk, az áramvonalak a henger körül módosulnak, és az 58b. ábrán látható szimmetrikus áramvonal-eloszlás alakul ki. Az ábra az áramlási tér egy sík metszetét mutatja (lásd a 7 a és b ábrát a FIRKA előző évfolyamának 1-es számából).

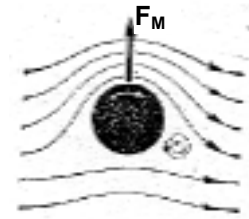


58a. ábra



58b. ábra

Ha a henger forgó mozgásba hozzuk, az áramlás képe megváltozik, és az 59. ábrán látható áramvonal-eloszlás alakul ki. Ez a változás annak a következménye, hogy a folyadék és a test között súrlódás lép fel, és a forgó henger a vele érintkező folyadékreszecséket a határréteg tartományán belül (lásd FIRKA 4-es szám, 2004/2005), cirkulációs áramlásra készíti.



59. ábra

A henger alatt és felett a forgás miatt ellentétes irányú cirkuláció alakul ki, a henger fölött az áramlással megegyező, alatta pedig azzal ellenkező. Emiatt az áramlás végső képe egy aszimmetrikus eloszlást mutat.

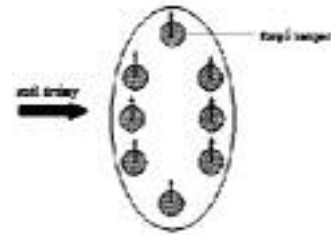
A henger fölött sűrűsödnek, alatta pedig ritkulnak az áramlási vonalak. Bernoulli-törvényének megfelelően a henger felső részén a megnövekedett sebesség folytán lecsökken a statikus nyomás, ezért a felső felére egy szívó hatás, míg az alsó felén a lecsökkent sebesség miatt megnő a statikus nyomás, így arra a részre nyomóerő hat. A két hatás létrehozza az eredő F_M erőt, amelyet jó közelítéssel a 21. összefüggés (Kutta-Zsukovszkij formula) ír le:

$$F_M = \rho \cdot \Gamma \cdot v \cdot L \quad (21)$$

ahol Γ jelenti az r_0 sugarú hengerre vonatkozó áramlás cirkulációját, ρ a folyadék sűrűsége, v a sebessége és L a henger hossza. $\Gamma = \oint_c \mathbf{v} \cdot d\mathbf{s} \approx 2\pi \cdot \rho_0 \cdot \omega$; ω a forgó

henger szögsebessége. Az F_M erő iránya merőleges a v áramlási sebességre és a henger forgástengelyére. Tehát az F_M erő a hengert igyekszik az áramlás irányára merőleges irányba kimozdítani. Térbeli áramlás esetén a henger súlypontja a henger forgástengelyére és az áramlás irányára merőleges síkban fog elmozdulni. A Magnus-effektus folytán fellépő erő hatása sok esetben jelentősen befolyásolhatja a test mozgását, ezért érdemes egy konkrét példán megvizsgálni ennek az erőnek a nagyságát. Ha egy 1 m átmérőjű forgó hengert egy 10 m/s sebességű légáramba helyezünk (szélbe) és a henger forgási frekvenciája 10 Hz, akkor a henger 1 m hosszúságú darabjára kb. 1000 N nagyságú erő hat. Ez már egy elég tekintélyes nagyságú erő, melynek hatását a forgó testek mozgásánál sok esetben figyelembe kell venni.

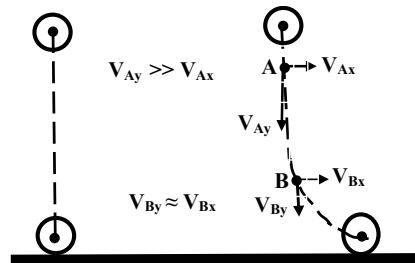
A Magnus-effektus gyakorlati alkalmazására tett érdekes próbálkozás volt a Flettner-féle rotorhajó megépítése, melynek elvi vázlata a 60. ábrán látható. A nagy fordulatszámú és magas hengerekre ható F_M erő lesz a hajtóerő. Ez a rotorhajó a vitorlást helyettesíti, mivel ugyancsak a szél energiáját használja fel a hajó mozgatására. A gyakorlatban ez a megoldás nem vált be, mert energetikailag nagyon kis hatásfokúnak bizonyult. A Magnus-effektust könnyen ki lehet mutatni egy egyszerű, otthon is elvégezhető kísérlettel. Készítsünk



60. ábra

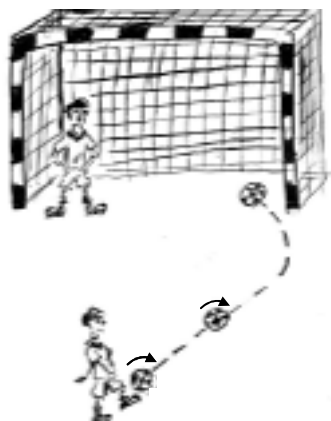
kartonpapírból, egy mindkét végén zárt, 80-100 cm hosszú, 10-12 cm átmérőjű hengert. Ha ezt a hengert 2-3 m magaságból, vízszintes helyzetbe állítva szabadon engedjük, a szabadon eső test a függőleges síkban végzi mozgását. Tekerjünk fel cérnát a henger mindkét végére (kb. 4 m hosszúságú darabokat). A feltekert cérna végeit megfogva az előző magasságból engedjük szabadon esni a hengert. Ebben az esetben a cérnáról letekeredő henger a szabadesés mellett egy forgó mozgást is fog végezni, amely a Magnus-effektust eredményezi. Ennek hatására fellép az F_M kitérítő erő, melynek hatására a henger súlypontja nem a függőleges, hanem (amint a 61. ábrán látható) egy görbe mentén fog mozogni. A 61. ábrán a hengerrel történő kísérlet vázlata látható; a rajzban a henger forgástengelyére merőleges síkmetszetei láthatók. Megfigyelhető, hogy a mozgás kezdetén a henger súlypontja gyakorlatilag a függőleges mentén esik és csak a mozgás vége felé görbül el a pályája. Ennek magyarázata a következő: a mozgás kezdetén a henger függőleges irányú V_y sebessége nagyságrenddel nagyobb a vízszintes irányú mozgás V_x sebességénél. Ezért kezdetben a henger súlypontja majdnem a függőleges mentén mozog. A mozgó testre hat a közegellenállási erő, amely a sebesség értékével és a megtett úttal arányosan csökkenti a sebesség értékét.

Mivel vízszintes irányban az elmozdulás kicsi, ezért a függőleges sebesség-komponens nagyobb mértékben fog csökkenni, mint a forgó mozgásból származó vízszintes komponens. A mozgás vége felé a két komponens már azonos nagyságrendű lesz, így a vízszintes irányban való elmozdulás már lényeges lesz. Amint az ábrán is látható, a henger súlypontjának a pályája elhajlik, és lényegesen eltér a függőleges iránytól.



61. ábra

A Magnus-effektussal magyarázható számos labdajátéknál, a labdának a normális röppályától való oldalirányú kitérése. Így a futball labdánál a „nyesett” lövés (62. ábra), vagy a ping-pong labdánál a „pörgetett” ütés (63. ábra) következtében a röppálya ívének a mozgás vége felé való hirtelen elgörbülése. De a forgó lövedéknél vagy a nem centrális irányban meglökött biliárd golyónál is ugyancsak a Magnus-effektus hatása jelentkezik.



62. ábra

rajzolva Puskás Sarolta



63. ábra

Puskás Ferenc

Kémiai biztonság – biztonságos, érdekes kémia

A múlt nagy ipari balesetei és azoknak az emberi közösségek számára okozott tragikus következményei tudatosították, hogy az emberi egészségvédelem, a környezetvédelem érdekében a kémiai biztonság fejlesztése minden ország kiemelt feladata (a Rioi Földcsúcsértekezleten elfogadott nemzetközi dokumentum célkitűzése lett). 1980-ban a kémiai biztonsággal foglalkozó nemzetközi programot (IPCS) indítottak el. Ennek keretében 1995-ben az ENSZ különböző szervezetei, melyek között az Oktatási és Kutatási Intézet is (UNITAR), a vegyi anyagok helyes kezelésére irányuló programot dolgozott ki. Ez a program megállapítja, hogy a kémiai biztonság fogalmával már kiskorban, az iskolában kell megismerkedni. A veszélyes anyagokkal kapcsolatos ismeretek oktatása az iskolák feladata. A tanulóknak a megfelelő kémiai biztonsági tudást a kémiaoktatás során kell elsajátítaniuk.

A kísérletezésnek, a kémiai anyagokkal való munkának mindig lehetnek veszélyes következményei magunkra, társainkra, környezetünkre. Ezért a biztonságos munkának jól meghatározott előírásai, alapvető szabályai vannak, amelyek országosan és nemzetközileg is elfogadottak és kötelezőek.

Az anyagokkal való emberi foglalatosság különböző veszélyforrásokat jelenthet, amennyiben az anyagi tulajdonságokat, ezeknek a körülményektől való függését nem ismerjük eléggé.

A veszély különböző formában nyilvánulhat meg:

- fizikai hatás: a vegyfolyamatok, tüzek robbanáshoz vezethetnek, a lökéshullámok károsíthatják az épületeket (ablaktörés, leomló szerkezetek, szétrepülő törmelékek)
- hőhatás: tűz (gyúlékony gázok, folyadékok, porok égése), fagyás (sűrített gázok hirtelen kiterjedése, hűtőfolyadékok): égési sérüléseket, kihűlést okozhat
- fulladás: oxigén hiánya, amelyet füst, vagy a terjedő gázok okoznak