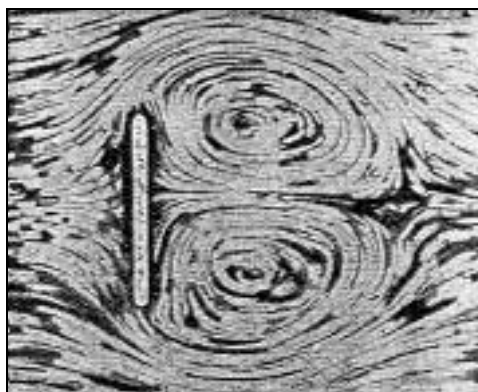


Áramlások, örvények és egyéb érdekes jelenségek

IV. rész

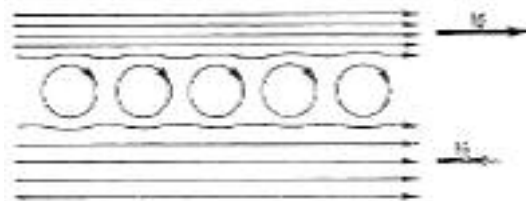
Örvények keletkezése, a határréteg szerepe

A folyadékok (gázok) örvénylő mozgása akkor áll elő, ha a folyadékreszcskék a haladó mozgáson kívül forgó mozgást is végeznek. Ez a feltétel az áramlások *kinematikai kritériuma*, amely az áramvonalak alapján értelmezi az áramlás jellegét. Ugyanis, ha a folyadékreszcskék forgó mozgást végeznek, akkor az áramlási vonalaik jellegzetes zárt görbék, ún. örvényvonalak lesznek. A folyóiratunk előző számában (Áramlások, örvények, stb. 3. rész), megadtuk a turbulencia kritériumot a kritikus Reynolds-szám alapján. Ez a feltétel azonban csak homogén áramlási térben (az áramlási térben nincsenek akadályok, testek) és sima falú, kör keresztmetszetű csöveknél érvényes elég nagy pontossággal. Ha egy nagyobb kiterjedésű áramlási térbe egy akadályt helyezünk pl. egy korong alakú tárgyat, akkor amint az a 23. ábrán látható, az akadály mögött örvénylő áramlás alakul ki akkor is, ha az áramlási sebesség nem éri el a v_k kritikus értéket.



23. ábra

Örvények keletkeznek két különböző sebességű áramlás találkozásánál (összefolyás), két folyó/patak, találkozásánál, vagy egy folyadéksugárnak egy nyugvó folyadékba való beáramlásánál (lásd az előző FIRKA számban a 22b. ábrát). Két különböző sebességű áramlás összefolyásánál kialakul, a két áramlást egymástól elválasztó „választófelület” (lásd 24. ábra). A választófelület mentén a folyadékreszcskék forgó mozgást végeznek és így egy sajátos örvényréteg alakul ki a két áramlás között. A két különböző sebességű folyadékáram egy darabig egymás mellett siklik ezeken az örvényeken. A különböző sebességű folyadék rétegek úgy siklanak egymás mellett mintha golyócsapágy-golyókon gördülnének.



24. ábra

Ha folyadék vagy gázáram nagy sebességgel halad át egy kör alakú nyíláson, az áthaladás során örvénygyűrűk keletkeznek. Ezt a jelenséget bemutathatjuk a 25. ábrán látható eszközzel, amelyet házilag is könnyen előállíthatunk:



25. ábra

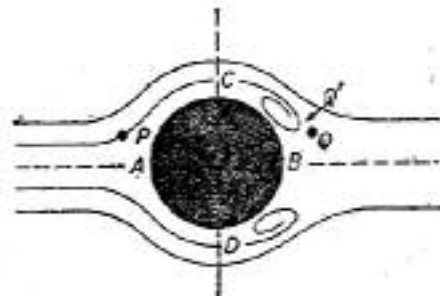
Egy vastagabb falú kartonpapír vagy műanyag doboz egyik falát egy rugalmas gumi lemez zárja le, míg az átellenes oldalfal közepén egy kb. 8-10 cm átmérőjű kör alakú nyílás található. A dobozba annyi cigaretta füstöt fújunk, hogy annak tere füsttel telítődjön. Ezután a gumifalra ráütünk és azt tapasztaljuk, hogy az ütés hatására a dobozból kiáramló füst, amint az ábrán is látható, örvénygyűrű formájában végzi mozgását és több méter távolságot is megtesz a levegőben mielőtt szétszarna. Ha a mozgó füstgyűrű útjába egy égő gyertyát helyezünk, a lángon áthaladó örvénygyűrű eloltja a lángot. Ez a kísérlet azt bizonyítja, hogy a mozgó örvénygyűrű egy elég nagy stabilitású képződmény, amely bizonyos szempontból úgy viselkedik mint egy merev test. Ezért jelentenek nagy veszélyt a folyóvizek örvényei az úszók számára.

A modern aero- és hidrodinamikának a legfontosabb kutatási területe a mozgó vagy álló szilárd testek környezetében kialakuló áramlási jelenségek vizsgálata. Ezen a területen végzet kutatási eredményektől függ napjaink légi és vízi közlekedésének a fejlesztése, de a technika és a tudomány más területeit is befolyásolják ezek a kutatások.

Az áramlástan legfontosabb elmélete a Prandtl által kidolgozott *határrétegelmélet*, amelynek legjelentősebb továbbfejlesztője, Prandtl magyar tanítványa, Kármán Tódor volt. Ez az elmélet abból a tapasztalati tényből indul ki, hogy a kis viszkozitású anyagoknál, amilyen a levegő, vagy a folyadékok esetében a víz, a belső súrlódást csak a testek közvetlen közelében az ún. határrétegben kell figyelembe venni, tehát a határréteg kívül az ideális folyadékok áramlástani törvényeit alkalmazhatjuk. A határréteg tartományában a súrlódási jelenségeket mindig számításba kell venni, még egészen kis viszkozitású anyagok esetén is. Ez azt jelenti, hogy ebben a tartományban a belső súrlódási erők, a testre ható többi erőkkel megegyező nagyságrendűek. A határréteg az a δ vastagságú réteg, amelyben a szilárd test mellett áramló folyadéknak a falhoz viszonyí-

tott sebessége a zéró értékről (a tapadás miatt), a δ távolság után v értékre növekszik. (lásd a 20. ábrát az előző lapszámából). Tehát a δ vastagságú határrétegen túl megszűnik a testnek az áramlásra kifejtett zavaró hatása.

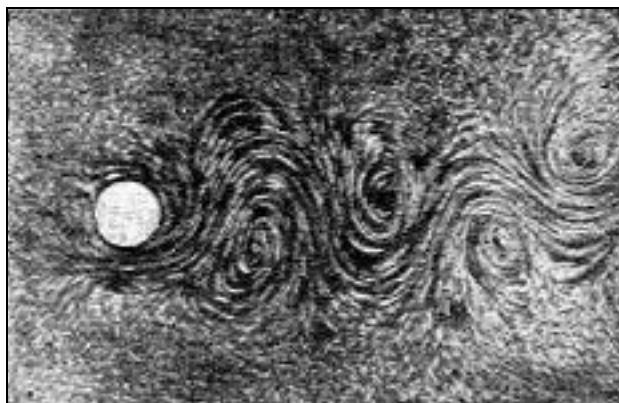
A határrétegelmélet szemléletes (kvalitatív) magyarázatot ad az áramlásba helyezett testek mögött keletkezett örvényképződés jelenségére. Vizsgáljuk meg ezen elmélet alapján, az örvényképződés jelenségének értelmezését egy konkrét példa esetében.



26. ábra

Egy nagyobb v sebességű (de jóval a kritikus sebesség alatti) párhuzamos áramlási vonalakkal rendelkező áramlási térbe helyezett henger esetén, hogyan alakulnak ki az örvények (26. ábra). Az áramlás megindulásakor vagy – ami ugyan annak a jelenségnek felel meg –, a henger egyenletes sebességgel történő mozgásakor a nyugvó folyadékban kialakul a henger körül az ideális folyadékoknál megismert szimmetrikus sebesség és nyomáseloszlás, amelyet a megfelelő áramlási vonalak jellemeznek (lásd a 26. ábrát, illetve a 7a. ábrát az 1-es FIRKA számból). A 26 ábrán látható **A** és **B** torlódási pontokban a sebesség zéró, de e két pont közeli tartományában is a sebesség nagyon lecsökken, így a szimmetrikus helyzetű **Q** és **P** pontokban is a sebesség értéke majdnem zéró, viszont e pontokban a kis sebesség miatt nagy lesz a sztatikus nyomás értéke a Bernoulli törvénynek megfelelően. Ugyanakkor a szimmetrikus helyzetű **C** és **D** pontokban nagy lesz a sebesség, viszont ott lecsökken a nyomás. A **P** pontból a **C** pont felé áramló folyadékrészecske sebessége és ezáltal a mozgási energiája növekszik, ez a nyomóerők munkavégzése folytán jön létre, ezért a **C** pontba érkező részecske nagyobb sebességgel rendelkezik, de egy kisebb nyomású helyről indul tovább. A mozgási energiájának a hatására el kellene jusson a **Q** pontig, ha a hengert körülvevő határréteget súrlódásmentes folyadéknak tekinthetnénk. Azonban a részecske egy súrlódó közegben mozog, így mozgása során a súrlódás folytán energiát veszít és nem jut el a szimmetrikus **Q** pontig, hanem már hamarabb, a **Q'** pontban a sebessége lecsökken zéróra és a nyomás a környezetében megnő. Így a következő helyzet alakul ki: a **Q'** pontban a részecske egy pillanatra megáll és most hogyan fog tovább haladni? Nyilvánvaló, hogy a kisebb nyomású hely felé kell elmozduljon. Hol lesz kisebb a nyomás? Ebben a határrétegen a legnagyobb a sebesség a **C** pontban, tehát ott lesz a legkisebb a nyomás, így a részecske visszafelé fog áramlani a **C** pont irányába, és egyúttal forgó mozgásba is jön, mivel a vele érintkező külső és belső rétegek felől különböző nagyságú súrlódási erők fekeznek a mozgását. Ugyanez a jelenség játszódik le a henger alatti térrészben. Így a henger mögött két ellentétes forgásirányú örvény keletkezik. Ezek az örvények bizonyos határig növekednek, majd eltávolodnak a testtől és az áramlás kiso-

dorja a határrétegből. A jelenség tovább folytatódik, az örvényleválás után ismét újabb örvények keletkeznek a henger mögött, miközben az előző örvények a hengertől távolodva tovább sodródnak. A 27. ábrán jól látható a henger mögött keletkezett *örvényssor*, amelyet a szakirodalomban, felfedezőjéről és a hozzá tartozó elmélet kidolgozójáról **Kármán-féle örvényútnak** neveznek. A henger mögött keletkezett örvénypár nem egyidőben távolodik el a hengertől, hanem előbb a felső, majd ezt követi az alsó örvény és ez a jelenség periodikusan folytatódik, tehát az örvényleválási folyamat egy periodikus rezgési folyamatként fogható fel.



27. ábra

1940-ben történt az Egyesült Államokban egy tragikus híd-katasztrófa, melynek során néhány perc leforgása alatt összeomlott egy igen nagy fesztávolságú híd, amely a Tacoma tengersizoros (Washington Állam) két partja között ívelt át. A hidat azelőtt négy hónappal adták át a forgalomnak és a sztatikai számítások, valamint a terhelési mérések alapján minden tekintetben megfelelt a biztonsági követelményeknek, mégis az erős szélviharban a híd függőleges irányban lengésbe jött, egyre nagyobb amplitúdójú lengések alakultak ki, amelyek a több méteres kilengéseket is elérték. Az oldalirányú nagysebességű szél meg is csavarta a hidat, amint azt a mellékelt képen láthatjuk (28/b. ábra). Így a nagy szélviharban, néhány perc leforgása alatt, a nagyon szép kivitelezésű és „jól megépített” híd összeomlott. Eleinte nem találtak magyarázatot a szakemberek a katasztrófa okára. Az egyre világosabbá vált, hogy valami rezonancia jelenséggel kapcsolatos a magyarázat, de mi okozta a rezgések kialakulását? Végül is a *Kármán-féle örvényút elmélet* adta meg a választ, ugyanis a Tacoma hídnál az történt, hogy az erős szélviharban a híd mögött periodikus örvényleválások jöttek létre. Ezek, mint a henger esetében láttuk (26. ábra), függőleges irányban (le és fel) távolodnak el a hidat körülvevő határrétegből, és a leválásuk során impulzust adnak át a hídnak, azaz meglökik a hidat. Mivel az örvénypárok nem egyidőben válnak le, ez egy periodikus rezgési állapotot gerjeszt a hídban. A Tacoma hídnál az történt, hogy a híd saját rezgési frekvenciája megegyezett az örvényleválás frekvenciájával, így rezonancia jött létre, melynek következtében a rezgés amplitúdói fokozatosan növekedtek, végül több méteres kilengések alakultak ki, és az oldalirányú szélnyomás a hidat meg is csavarta.

A Tacoma híd katasztrófáján okulva, azóta a híd-tervezésnél, de általában a magas épületek tervezésénél kötelező módon figyelembe kell venni, ezt a jelenséget. Azaz

ellenőrizni kell, hogy a szélviharok okozta örvényleválások ne alakítsanak ki rezonancia jelenséget. Nagy építményeknél, nagy fesztávolságú hidaknál, felhőkarcolóknál, ilyen jellegű pontos számítások nem lehetségesek, mivel az ilyen-számítások csak közelítő jellegűek. Ezért a lényegesebb paraméterek pontosabb meghatározását szélszatornákban, hasonlósági modelleken végzett mérésekkel és számítógépes szimulációkkal valósítják meg.



a)

A Tacoma híd



b)

A rezgő hidat az oldalirányú szél megcsavarta



c)

A leomlott híd

28. ábra

A nagy sebességű légáramlatok, pl. szélviharok esetében egyes testek, akadályok mögött leváló örvények sajátos hangokat eredményeznek. Erős szélben a villamos vezetékekről leváló örvények okozzák a huzalok zúgó hangját, de ugyancsak az örvényleválás okozza a gyorsan mozgatott pálca suhogását vagy az ostormozgatáskor keletkező csattanó hangot (ostor csattogtatás).

Puskás Ferenc

Az alkánok, mint jelentős energiahordozók

Az emberiség legrégebben hasznosított energiaforrása a Napon kívül a földgáz és a kőolaj. Több mint 5000 éves írásos bizonyíték szerint az emberek régóta használták a kőolajat, földgázt (fatárgyak konzerválására, világításra, hőforrásként). Az egyre növekvő gazdasági és kulturális igények kielégítésére mind nagyobb mennyiségű energiára volt és van szükség, melynek nagy részét még ma is szénből, földgázból és kőolajból nyerik égetésük során. Ezen anyagok energiatermelő kémiai átalakulásának reakcióegyenletei a következők: