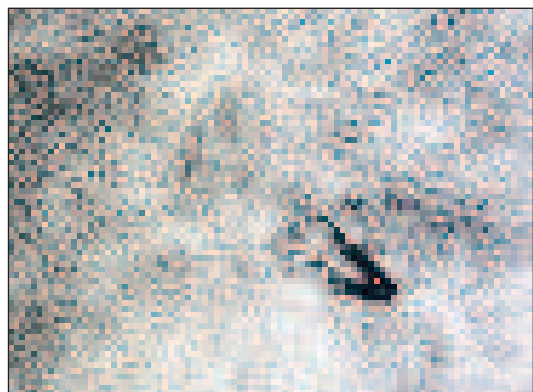


Kármán-örvénysor Szent Ilona térségében

Szent Ilona egy kicsiny, egyenetlen felszínű vulkanikus sziget az Atlanti-óceán déli medencéjében. A sziget arról lett nevezetes, hogy 1815-ben a britek ide száműzték Napóleont, aki 1821-ben itt is halt meg. Most azonban nem a sziget történelmi aspektusát vizsgáljuk, hanem egy érdekes meteorológiai jelenséget mutatunk be, amelynek ráadásul magyar vonatkozása is van.

A sziget hozzávetőlegesen 10 x 20 km kiterjedésű, legmagasabb pontja a Diana Peak, amely 820 méterrel emelkedik a tengerszint fölé. Ez a magasság már elég ahhoz, hogy az alacsonyszintű felhők áramlásában zavarokat okozzon. Ez történt 2012. november 15-én, amikor a NASA Terra műholdja a déli órákban áthaladt a sziget felett (1. ábra)

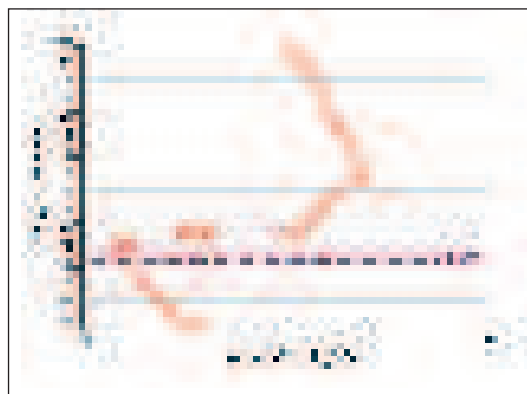


1. ábra. Szent Ilona-sziget térsége a NASA Terra műholdjának felvételén 2012. november 15-én 11 UTC-kor

Ha egy sima felszín felett mozgó légtömeg akadályba ütközik, az addigi egyenletesnek mondható áramlásban örvények vagy légtörési hullámok keletkeznek. Megfelelő szélsebesség és légköri stabilitási viszonyok esetén az akadály mögött létrejön az úgynevezett Kármán-örvénysor, ám láthatóvá csak akkor válik, amikor felhőzet borítja a térséget. Természetesen nem csak a Szent-Ilona-sziget térségében fordulnak elő ilyen örvénysorok. A mostani eset viszont abból a szempontból izgalmas, hogy a szigeten üzemel egy rádiószondázást végző meteorológiai mérőállomás. Sőt az állomás elhelyezkedése is megfelelő volt ez alkalommal, mivel nem a

hegy mögötti, zavart áramlású zónában, hanem attól keletre található. Ez tette alkalmassá a lokális hatásoktól mentes, nagytérségű meteorológiai viszonyok tanulmányozására.

Az említett napon a sziget környezetében alacsonyszintű, gomolyos szerkezetű felhők borították az eget, 900–950 méteres magasságban pedig egy hőmérsékleti inverzió volt (ez azt jelenti, hogy a hőmérséklet ebben a rétegben növekedett a magassággal), amely fölött rendkívül erős kiszáradást lehetett tapasztalni. Ezt jól mutatja a november 15-én 12 UTC-kor,



3. ábra. A Szent Ilona-sziget feletti hőmérséklet-profil 2012. november 15-én 12 UTC-kor

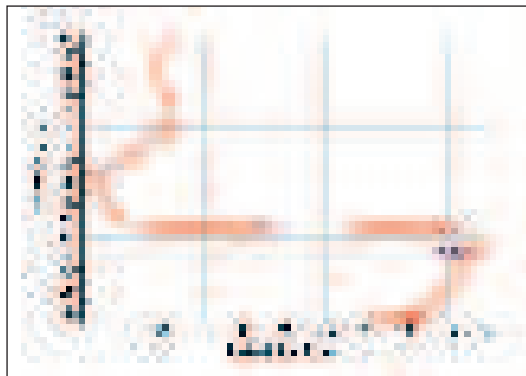
tehát a műholdkép készülésevel közel egy időbe eső magassági mérés (2–3. ábra). A felhők tehát kevéssel a legmagasabb hegycsúcs fölött helyezkedtek el. Az anticiklon északi peremén a magasabb rétegekben keleties áramlás alakult ki. Ugyanakkor a felszín közelében dél felől hidegebb levegő áramlott a térségbe. Az inverzió feletti meleg, száraz levegőtömeg eredetét a délnyugati afrikai térségre lehet visszavezetni (4. ábra).

Az örvénysor a híres, magyar származású Kármán Tódorról kapta a nevét. A jelenség felfedezése a repülőgép szár-

nyai körül áramló levegő ellenállása témájában végzett kísérletekhez köthető. Nem csupán a levegő sűrűdése, hanem a szárny mögött kialakuló sodorörvény is ellenállást jelent a repülőgép számára. Habár Kármán Prandtlnak tulajdonította a jelenség felfedezését, kétségtelül ő volt az első ember, aki matematikai modellt állított fel a jelenségre – mindezt több mint 100 évvel ezelőtt, 1911-ben, a repülés tudományának a kezdeti időszakában (megjegyzés: a jelenséget még Kármán és Prandtl előtt a francia fizikus Bénard is megfigyelte, de matematikai-fizikai leírást nem adott rá). Kármán Tódor egy viszonylag leegyszerűsített elmélet segítségével meghatározta, hogy stabil örvénysorok akkor alakulhatnak ki, amikor a két sor és az örvények közötti távolságok aránya (5. ábra) nagyjából 0,28.

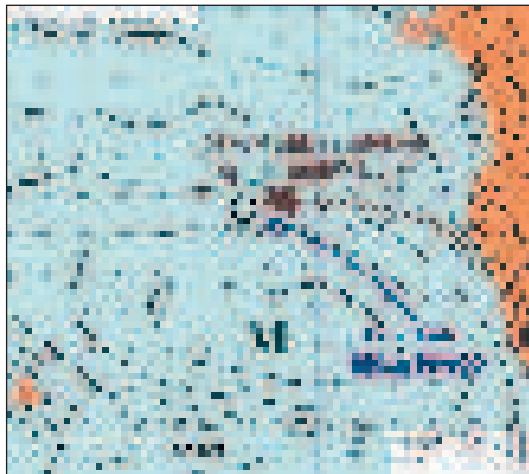
A mechanikai hasonlóság következtében az örvénysor nem korlátozódik csupán a repülőgépek szárnyaira. Örvénysorokat láthatunk, ha folyó közepén a folyásiránnyal ellentétes oldalon megnézzük a víz áramlását egy híd lába körül. Talán a legnagyobb méretekben a hegyek mögött áramló levegőben jönnek létre ezek a szabályos örvények. Ugyanakkor nem az örvénysor keltette rezonancia miatt szakadt le 1940-ben a Tacoma Narrows híd Amerikában (Billah és Scanlan, 1991). Valószínű, hogy a híd összeomlását az úgynevezett belebegés (angolul flutter) okozta. Ennél a jelenségnél a szél több szabadságfokú, önvezérelt kilengéseket okoz a szerkezetben.

2. ábra. A Szent Ilona-sziget feletti légnedvesség-profil 2012. november 15-én 12 UTC-kor. Az inverziót a rendkívül erős, 95-ről 10%-ra csökkenő nedvességtartalom jelzi



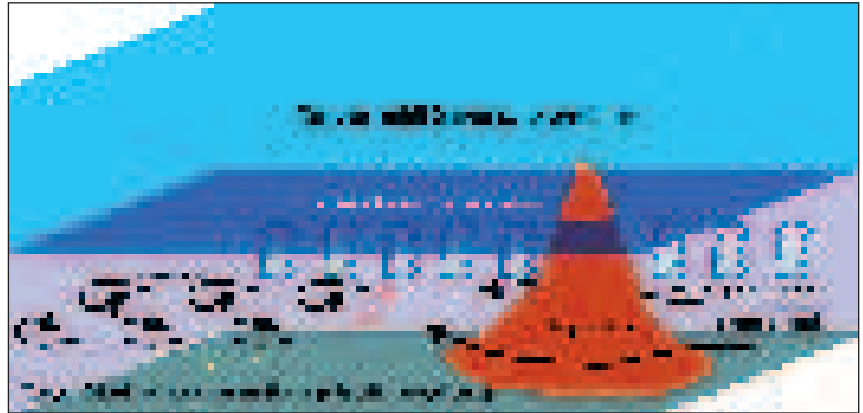
A szigetek mögött kialakuló hosszú (száz kilométert meghaladó) örvénysorokat először a 60-as évek elején figyelték meg az első generációs meteorológiai műholdak (TIROS I) felvételein (Bowley et al., 1962). Ezeknek az örvényeknek a szerkezete nagyon hasonlít a „klasszikus” Kármán-örvénysorokhoz, amiket laboratóriumban szoktak vizsgálni. A kisméretű örvények kialakulását olyan környezetben feltételezik, ahol a közegre (gázra vagy folyadékra) ható tehetetlenségi erők lényegesen nagyobbak, mint a sűrűlő erők hatása. Ennek a két tényezőnek az arányát Reynolds-számnak nevezik, ami az áramlás sebességétől, a közeg kinematikai viszkozitásától és az akadály méreteitől függ (Lajos, 1992). Kicsi Reynolds-számoknál az áramlás lamináris, a közeg egymással párhuzamos rétegekben áramlik. A Reynolds-szám növekedésével az akadály mögött zavarok keletkeznek, az áramlás turbulenssé és instabillá válik. Szabályos örvénysorok általában 50 és 5000 közötti Reynolds-számoknál észlelhetők, ezt a tartományt az irodalomban átmenetnek tartják a lamináris és a turbulens áramlás között.

A nagyméretű légköri örvénysorok kialakulása azonban ennél bonyolultabb és



4. ábra. Tengerszinti légnyomás (izovonalak) és 10 m szél (nyílak) 2012. november 15-én 12 UTC-kor. Az M (A) betűk a magas (alacsony) nyomást jelzik, a kör a Szent Ilona-sziget térségét mutatja

erősen függ attól, hogyan változik a hőmérséklet a magassággal. Hasonló hőmérsékleti inverziókban – ami a Szent Ilona-sziget felett volt tapasztalható – a levegő nagyon stabil és akadályozza az alatta levő labilisabb levegőben létrejövő függőleges mozgásokat. Emiatt a sziget környezetében áramló levegő fölfelé nem tud átbukni a hegygerincen, hanem oldalról kényszerül megkerülni azt. A



5. ábra. A Kármán-örvénysor kialakulásának általános körülményei. A h/a (a két sor és az egy sorban lévő két szomszédos örvény távolságainak az aránya) paramétert először Kármán Tódor határozta meg. Nagyméretű örvénysoroknál ez a szám 0,36 és 0,47 között változik (Young és Zawislak, 2006). A Szent Ilona-örvénysor esetében a sziget legmagasabb hegycsúcsa nem nyúlik bele a stabil rétegződésű zónába, de az örvénylő áramlás ettől függetlenül létrejön

hegy közelében a sűrűlő miatt kialakuló szélnyírás és a hőmérséklet eloszlása (baroklin zónák kialakulása) egyaránt azt okozzák, hogy az áramlás periodikusan örvénylővé válik (5. ábra).

Bár az utolsó évtizedekben a Kármán-örvénysorokról számos tudományos vizsgálat készült (gyakran finomfelbontású, számítógépes modellek segítségével), még mindig nem ismerjük teljesen kialakulásuk körülményeit és okait. Az eddigi tanulmányok szerint nagyméretű örvénysor létrejöttéhez szükséges, hogy a hegycsúcs belenyúljon a magasabb, stabilabb levegőrétegbe (Schär és Smith, 1993). Ez az eset azonban mutatja, hogy az örvények alakulásához elég, ha a hegy nagyméretben akadályozza az inverzió alatt beszurolt levegő áramlását.

A műholdas megfigyeléseken alapuló tudományos cikkek szinte kizárólag olyan örvénysorokról számolnak be, melyek az óceáni szigetek, illetve magas, egyedülálló hegyek szélárnyékában keletkeznek. A Szent Ilona-szigeti örvénysornál észlelt hőmérsékleti rétegződés Közép-Európában viszonylag ritkán fordul elő. Télen, amikor erős magassági inverziók alakulnak ki, a hegyek árnyékában inkább hullámszerű áramlást lehet megfigyelni. A nagyfelbontású műholdképfelvételeken ritkán sodráshoz hasonló jelenséget is lehet látni, például a Tihanyi-félsziget szélárnyékában (Kern et al., 2010). A mostani ismeretek és megfi-

gyelések alapján arra lehet következtetni, hogy kisebb méretű örvények egyes időjárási helyzetekben Magyarország dombjai, hegyei mögött is létrejöhetnek, azonban látványos és hosszú (több 10 vagy több 100 km) örvénysorok kialakulásának kicsi a valószínűsége.

PÁTKAI ZSOLT–SIMON ANDRÉ

Irodalom

- Billah, K. Y.; Scanlan, R. H., 1991 Resonance, Tacoma Narrows bridge failure and undergraduate physics textbooks. Amer. J. Phys. 59, pp. 118–124
- Bowley, C. J., Glaser, A. H., Newcomb, R. J., Wexler, R., 1962. Satellite Observations of Wake Formation Beneath an Inversion. J. Atmos. Sci., 19, 52–55.
- Lajos, T. 1992. Az áramlástan alapjai. Előadási jegyzet. BME, 196 pp.
- NASA Earth observatory: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=79720&src=eoaiotd>
- Schär, C., Smith, R. B., 1993. Shallow-Water Flow past Isolated Topography. Part I: Vorticity Production and Wake Formation. J. Atmos. Sci., 50, 1373–1400.
- Roland B. Stull (1988), An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers. 666 pp.
- Kern A., Bartholy, J., Csaba, F. (2010), MODIS adatok vétele és feldolgozása az ELTE-n 35. Meteorológiai tudományos napok. Előadás.
- Lee Edson és Kármán Tódor: The Wind and Beyond (1967), magyarul megjelent 1994-ben az Akadémiai Kiadónál, 339 pp.
- Young, G.S., Zawislak, J., 2006. An Observational Study of Vortex Spacing in Island Wake Vortex Streets. Mon. Wea. Rev., 134, 2285–2294.