

# fizikai szemle



2003/7

# MEXIKÓI HULLÁMOK GERJESZTHETŐ KÖZEGBEN

Hogyan jön létre az összehangolt mozgás az arra váró nézők között

Farkas Illés, Vicsek Tamás

ELTE, Biológiai Fizika Tanszék

Dirk Helbing

Drezdai Műszaki Egyetem, Gazdasági és Közlekedési Kar

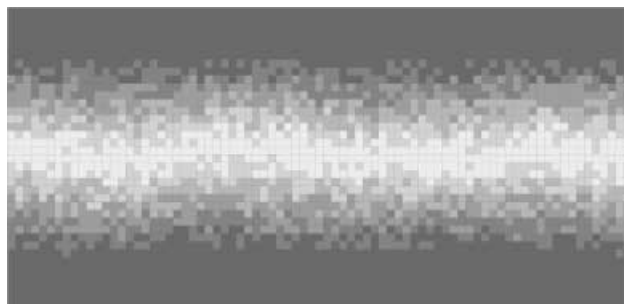
A mexikói hullám – más néven La Ola – az 1986-os mexikói futball-világbajnokság során vált világszerte ismertté. Valahol feltartott kézzel felugranak az emberek, és amikor leülnek, akkor már a mellettük lévők ugranak fel: így a hullám végigszalad a stadion közönségén. E kollektív emberi mozgás megmagyarázásához és kvantitatív leírásához olyan modellekből indultunk ki, amelyeket eredetileg gerjeszthető közegek – például szívizomszövetek – leírására fejlesztettek ki. A tömegnek a hullámindítási kísérletekre való reagálásából megérthetjük, hogyan jön létre a mexikói hullám, és az eredmények hasznosak lehetnek olyan események közben tartására is, ahol izgatott emberek vannak jelen.

Videofelvételek segítségével 14 olyan hullámot vizsgáltunk meg, amelyek futballstadionokban jelentek meg; mindegyik stadionban több mint 50 ezer néző tartózkodott. A hullám (1. ábra és folyóiratunk címképe) általában az óramutató járásának megfelelő irányban terjed, jellemző sebessége 12 m/s (azaz körülbelül 20 ülés másodpercenként) és a szélessége 6–12 méter körüli (20 ülésnyi). Néhány tucat ember indítja el a hullámot azzal, hogy egyszerre felállnak; ezután a hullám kiterjed az egész tömegre, és felveszi a stabil, közel egyenes alakját. (Részletek és interaktív szimulációk a <http://angel.elte.hu/wave> címen találhatók.)

A mexikói hullám viszonylag egyszerű kollektív jelenség, ezért képesek voltunk kialakítani néhány olyan modellt, amelyek elemzésével és számítógépes szimulációjával pontosan reprodukálhatóak és megjósolhatóak a jelenség egyes részletei. Azt találtuk, hogy a csoportos emberi viselkedés vizsgálatára is használhatóak (általánosít-

hatóak) azok a jól bevált elméleti módszerek [1–3], amelyek eredetileg a gerjeszthető közegek leírására születtek, többek közt olyan jelenségek értelmezésére, mint például az erdőtüzek vagy a szív szöveteiben való hullámterjedés.

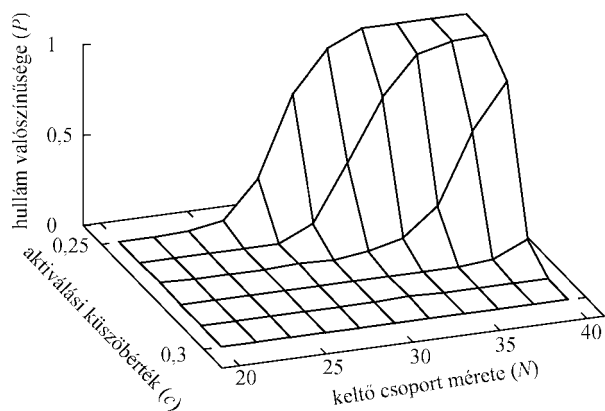
2. ábra. A mexikói hullám egy modellje. Ha egy néző körül az  $R$  távolságnál közelebb lévő aktív állapotú nézők súlyozott koncentrációja kisebb, mint az adott ember  $c_i$  gerjesztési küszöbértéke (ezt a  $[c-\Delta c, c+\Delta c]$  intervallumból választjuk véletlenszerűen), akkor a néző aktiválódik. A súlyok a távolsággal exponenciálisan csökkennek, és az irány koszinuszával lineárisan változnak úgy, hogy a nézőtől balra lévő emberek hatása  $u_l$ -szor erősebb, mint a jobbra lévőké. A hullám terjedési irányát ez az anizotrópia határozza meg, amely a hullám keletkezésekor fellépő spontán szimmetriasértésből ered: a nézőknek a korábbi tapasztalataikból eredő elvárásai és az érzékszervei együtt okozzák ezt az anizotrópiát (hiszen a legtöbb ember jobbkezes). Pillanatsfelvételek az  $n$  állapotú modellből, amelyben az aktiválás után egy ember minden esetben ugyanolyan módon végighalad az  $n_a$  aktív állapoton (a felállás állapotai), majd az  $n_r$  refrakter (visszaülés) állapoton. A hullámnak a keltés után 0,5, 2, illetve 15 másodperccel felvett állapota látható egy 80 soros nézőtérben; a sötét színű nézők ülnek, a legvilágosabb színű nézők állnak a legmagasabban. A használt paraméterek:  $n_a = n_r = 5$ ,  $c = 0,25$ ,  $\Delta c = 0,05$ ,  $R = 3$  és  $u_l = 0,5$ .



A *Nature* című folyóiratban (vol. 419, pp. 131-132, 2002. szeptember 12.) megjelent közlemény fordítása.

1. ábra. A közönségen végigsöprő mexikói hullám (más néven La Ola). Néhány szurkoló felemelt kézzel feláll, majd leül, de ekkor már a mellettük lévők ugranak fel, megismétlik az előző mozgást, és így továbbviszik a hullámot.





3. ábra. Egy hullám keltésének  $P(N,c)$  valószínűsége a hullámot keltetni próbáló  $N$ -fős csoport méretének és a  $c$  gerjesztési küszöbértéknek a függvényében. A paraméterek a 2. ábrán használtakkal azonosak; a grafikon pontjai 128 szimuláció átlagát mutatják.

Két matematikai modellt készítettünk a számítógépes szimulációkhoz: egy minimális és egy részletesebb modellt. Az embereket – a gerjeszthető közegek modelljeihez hasonlóan – gerjeszthető egységeknek tekintjük: egy ember aktiválódik, ha a külső gerjesztés ereje meghalad egy  $c$  gerjesztési küszöbértéket. (A külső gerjesztés ereje: az adott emberhez közel található, aktív állapotban lévő emberek távolság- és irányfüggő módon súlyozott koncentrációja). Ha az aktiválás megtörténik, akkor utána mindenki ugyanazt a belső „programot” követi, és végighalad az aktív (álló és kezét a magasban tartó), majd a passzív (refrakter) állapot(ok)on, mielőtt ismét visszakerülne az aktiválható (gerjeszthető) állapotba.

Az egyszerű modell három állapotot különböztet meg (gerjeszthető, aktív és passzív), és az egyes emberek között tapasztalható különbségeket a három állapot közti átmeneti valószínűségek segítségével veszi figyelembe. A részletesebb modell az aktiválás utáni mozgáshoz több, egymás utáni aktív és refrakter állapot konkrét sorozatát

használja. A modell két változata abban különbözik, hogy az említett mozgási mintázatok során hogyan vesszük figyelembe a mozgás sztochasztikus részét, azaz az egyes emberek közötti, illetve az egy-egy ember viselkedésén belüli eltéréseket. (A <http://angel.elte.hu/wave> címen további részletek találhatóak.)

A leírt modellek segítségével megvizsgáltuk, hogy mi a feltétele egy hullám keletkezésének. A 2. ábra egy hullám fejlődését mutatja, a hullámot egy kis csoport egyszerűen történő gerjesztése keltette (a kis csoportban mindenki egyszerre állt fel). Ha a jelenségben szereplő különböző távolságokat és karakterisztikus időket (kölsönhatási sugár, reakcióidő / aktiválási idő, illetve a megfelelő valószínűségek) a videofelvételekből kapott paraméterek alapján határoztuk meg, akkor reprodukálni tudtuk a hullám méretét, alakját, sebességét és stabilitását.

A 3. ábra azt mutatja, hogy egy változó méretű kis csoport különböző gerjesztési küszöbértékek esetén milyen valószínűséggel képes hullámot keltetni. Eredményeink szerint a hullám keltésének valószínűsége a hullámot keltetni próbáló csoport méretének igen gyorsan változó függvénye, tehát a mexikói hullám keltéséhez a keltő csoport méretének egy kritikus értéket kell elérnie.

Az itt leírt megközelítés valószínűleg embertömegek viselkedésének befolyásolása szempontjából is érdekes lehet. Például demonstrációkkal vagy sportrendezvényekkel kapcsolatos, erőszakos utcai cselekmények esetén fontos tudni, hogy kis csoportok mikor képesek a tömeget befolyásuk alá vonni, illetve hogy milyen gyorsan és milyen formában fog ez a megváltozott (perturbált) viselkedés a tömegben terjedni.

#### Irodalom

1. N. WIENER, A. ROSENBLUETH – Arch. Inst. Cardiol. Mexico 16 (1946) 205–265
2. J.M. GREENBERG, S.P. HASTINGS – SIAM J. Appl. Math. 34 (1978) 515–523
3. G. BUB, A. SHRIER, L. GLASS – Phys. Rev. Lett. 88 (2002) 058101