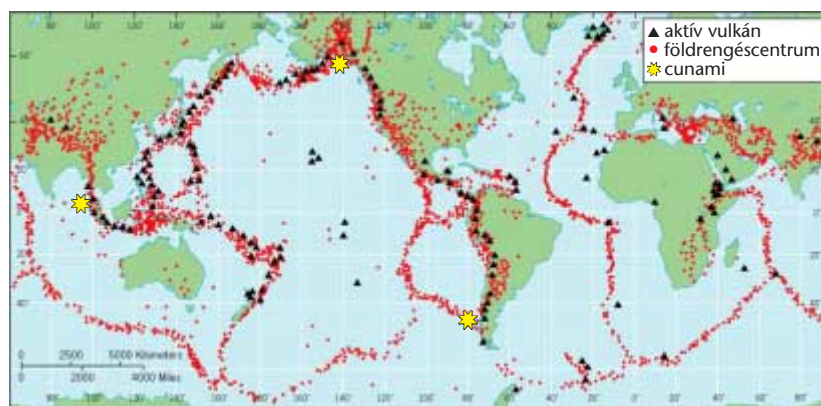


A gyilkos, partmenti hullám

A cunami

A cunami (japánul „cu” = kikötő, „na-mi” = hullám) egy óceánfelszíni hullámfajta, amely a nyílt vízben rendkívüli sebességgel terjed, de ott csekély magassága miatt alig észrevehető. A partközeli sekély vízben azonban lelassul, több méter magasságúra torlódik fel, és a partra csapva akár kilométeres mélységben okozhat óriási puszt

Nem mindegyik erős földrengés okoz veszélyes nagyságú cunamit. Ennek oka, hogy a hasonló hullámok keltéséhez a vízfelszín lökészerű, jelentős nagyságú kiemelkedése szükséges. Ez viszont csak akkor következik be, ha a földrengés során megcsúszó kéreglemezek elmozdulásának elegendően nagy a függőle-



1. ábra. Földrengés-epicentrumok (1990–2000) és aktív vulkánok földrajzi elhelyezkedése. Az utolsó száz évben feljegyzett három legnagyobb cunamiforrás: 1958 Alaszka, 1960 Chile, 2004 Szumátra.

títást. Éppen emiatt övezi különleges figyelem a cunamikkal kapcsolatos ismereteket, ugyanis a remények szerint jobb megértésük elősegítheti a károk csökkentését, a 2004-es szumátraihoz hasonló katasztrófák esetleges megelőzését.

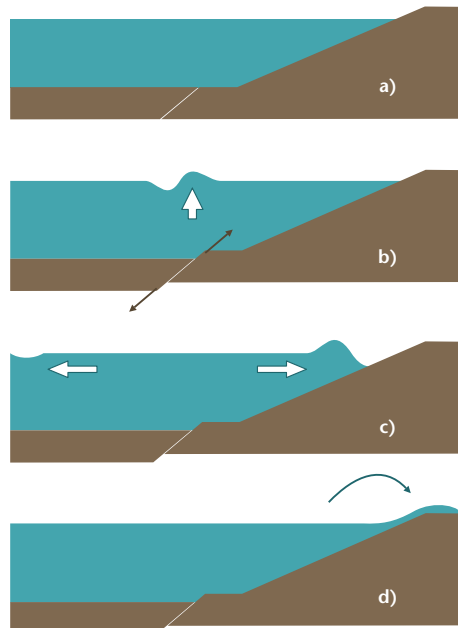
A cunamik 86%-át tenger alatti földrengések okozzák. Jól ismert tény, hogy a földrengések hely szerinti eloszlása nem egyenletes, a szilárd kéreg mozgó tektonikus lemezeinek határán különösen nagy az aktivitás. Az 1. ábra mutatja, hogy 10 év rengési epicentrumainak térképen történő ábrázolása a vulkánokkal együtt meglehetősen jó képet ad a kéreglemezek elhelyezkedéséről. Nem csoda hát, hogy a legnagyobb feljegyzett cunamik forrása is ezen „forró zónákban” található.

ges irányú komponense (2. ábra). A földrengések mellett cunamit okozhatnak a tenger alatti földcsuszamlások (ilyen következett be 1998-ban Pápua Új-Guinea partjai mentén), vulkáni tevékenység (Hawaii környékén gyakori), vagy a tengerbe csapódó nagyméretű aszteroidák (ilyenről modern megfigyelés szerencsére nincs).

A cunami előfordulása egyáltalán nem olyan ritka, mint gondolnánk, évente átlagban körülbelül tizet észlelnek (3. ábra). Szerencsére többségük nem okoz károkat, mert a part menti legnagyobb hullámmagasságuk nem haladja meg az adott helyen jellemző árapály-ingadozás, vagy a szokásos viharok hullámjainak nagyságát, amire a part menti építményeket méretezték.

A vízfelszíni hullámok fizikája jelentős múltra tekint vissza. A súrlódásmentes folyadékok mozgásegyenletét Euler 1755-ben írta fel. (Az csak véletlen, hogy ugyanebben az évben az Európa környékén valaha feljegyzett legerősebb cunami – a kiváló földrengéssel együtt – teljesen lerombolta Lisszabont, a közvetlen áldozatok számát az akkori 250 ezres lakosság negyedére becsülik.) A cunamihoz hasonlóan „elkent”, viszonylag csekély magasságú, gyengén csillapodó, alakját őrző hullámformát John Scott Russel „fedezte fel” 1834-ben. E nemlineáris hullámok viselkedését jól közelíti a

2. ábra. A cunamik leggyakoribb fajtájának vázlata. a) Kezdőállapot: nyugodt vízfelszín. b) Jelentős függőleges elmozdulással járó tenger alatti földrengés, amely lökészerű kiemelkedést okoz a felszínen. c) A forrástól gyorsan távolodó, nagyon széles, kis magasságú hullámok a sekély partmenti vizekben összehúzódnak, de eközben fel is torlódnak. d) A szárazföld közelében a meredek hullámok átbuknak (hullámtörés) és a partra csapnak, energiájuk legnagyobb része ilyenkor szabadul fel.



Korteweg–deVries-egyenlet (1895), melynek első analitikus (szoliton) megoldása csak mintegy ötven éve ismert. A cunamik fizikája lényegében nem különbözik a „közönséges” felszíni hullámokétól, a viszonylag jól értett jelenségek közé tartozik.

$\sqrt{gh}$ egyszerű formulának eleget téve (g a nehézségi gyorsulás), ez körülbelül 800–1100 km/h értékű, ami megfelel egy utasszállító repülőgép sebességének. A nagy kiterjedés és szédlítő sebesség mellett csúcsmagasságuk a nyílt vízen alig haladja meg a néhány decimétert. A hason-

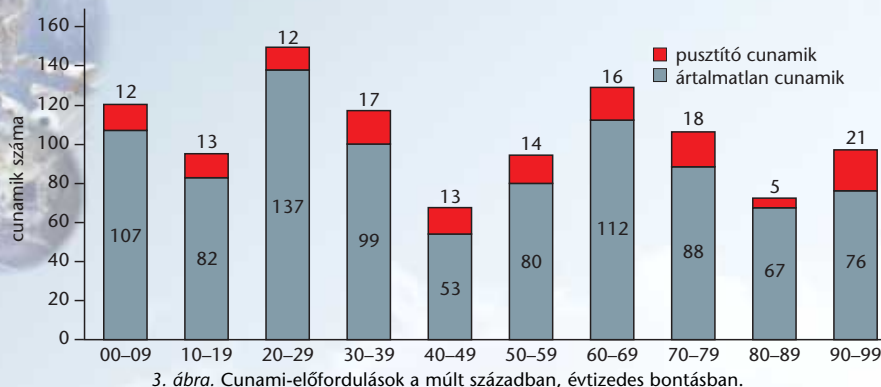
rövidebb, ám egyre magasabb hullámhegyben összpontosul. Tetszőleges magasságú hullámok azonban nem alakulhatnak ki, mert egy kritikus frontoldali meredekség elérése esetén a hullám hegye átbukik, és lejátszódik a hullámtörés jelensége. Az átbukáshoz tartozó kritikus a_c magasságot szintén a vízmélység határozza meg elsődlegesen. A kísérletek és numerikus szimulációk segítségével megerősített $a_c/h \approx 0,8$ empirikus összefüggés minden esetben teljesülni látszik.

Ezen egyszerű összefüggés ismeretében gyaníthatjuk, hogy – például az interneten oly kedvelt – felhőkarcoló magasságú „cunamik” nem fordulhatnak elő a valóságban, hiszen az legalább 200 méteres vízmélységet feltételez a part közelében, ez pedig valóságos tengeröblökben igen ritka.

A szumátrai katasztrófát (4. ábra) követően ismét felvetődött egy világméretű cunamifigyelő és -figyelmeztető hálózat kiépítésének ötlete. Ezzel kapcsolatban a fő gond az, hogy a földrengések mai tudásunk szerint egyáltalán nem jelezhetők előre. Minthogy nem minden rengés vált ki erős cunamit, a valódi veszély detektálásához tengerfenékre telepített nyomásérzékelők szükségesek. Az USA partjai mentén hat hasonló szonda már üzemel, de ez csak a Csendes-óceán medencéjében használható előrejelzésre. Biztató azonban, hogy ha egy földrengés a partoktól elegendően távol következik be, melynek hullámkeltő hatását nyomásmérő szondák is megerősítik, akkor a létrejött cunami terjedése viszonylag jól modellezhető. Japánban például igen komoly figyelmeztető rendszer üzemel, mert az előző száz évben feljegyzett 1043 kisebb-nagyobb cunami közül (3. ábra) mintegy 200 Japán partjait közvetlenül is érintette.

Jánosi Imre

ELTE TTK Komplex Rendszerek
Fizikája Tanszék,
Kármán Környezeti Áramlások
Laboratórium



A viharos szél által keltett felszíni hullámok 100–200 méteres tipikus hullámhosszához képest a cunami vízszintes kiterjedése sokszorosan nagyobb, jellemzően 100–500 kilométer (nem elírás). Minthogy az óceánok mélysége nem nagyon haladja meg az 5–6 kilométert, a cunami terjedésének jellemzésére jól használhatóak az úgynevezett „sekély folyadék” egyenletek. Eszerint a c terjedési sebességüket lényegében a h vízmélység határozza meg a $c =$

lóan szétkent, lapos hullámok a szomszédos folyadékelemek rendkívül csekély relatív elmozdulásával terjednek, ezért a belső súrlódás (viszkózitás) szerepe elhanyagolható: ha csak a víz belső súrlódása fékezne a cunamikat, lecsengésükhöz több száz évre lenne szükség.

A mélységfüggő sebesség a part közelében szükségképpen lassuláshoz vezet, a hullám eleje lefékeződik. Ez a kontinuitás miatt torlódáshoz vezet: a szállított energia egyre

4. ábra. A 2004. december 26-án Szumátrától nyugatra létrejött cunami közel 300 000 életet követelt, a hullám több mint 30 magasságot ért el, hatása Dél-Amerikáig terjedt.

