

## A Balaton hullámai

Egymás után gördülnek ki a hullámok a Balaton homokos partjára, csendes, morajló zúgással. Minden hullám lódít egyet a homokszemeken, kiteszítja őket a part felé s amikor zúgva tört össze habzó taraja, akkor visszahúzódni látszik a partról a víz s magával rántja ismét a homokszemeket. Örökös játék. Kísérjünk csak figyelemmel valami kagylóhéjat, vagy nádtörmeléket. Minden hullámmal kilődül a partra, majd ismét visszahúzódik. Miféle mozgás lehet ez a hullámozás, hogy ilyen ritmikus, szabályosan ide-oda való lóbálózást okoz?

Figyeljük meg a hullámokat a hajókikötő hídjának végén, amikor a hullámok a híd mellett surrannak el. Dobjunk egy kis fadarabkát a vízre, vagy még jobb, kis orvosságos üveget, amelyet annyira megtöltöttünk vízzel, hogy csak éppen a dugója lássék ki a vízből. Ha figyelemmel kísérjük a mozgást, azt fogjuk látni, hogy a hullámhegy közeledésekor, amikor tehát a kis palack a hullámvölgyben van, az hátrafelé mozog. A hullámhegy lejtője azután fölemeli, a hullám taraja egy kissé előrelódítja, a hegy hátulsó oldalán ismét lesüllyed a völgybe s a völgyben ismét hátrafelé mozdul a következő hegy homloklejtője felé. Mozgása tehát: visszafelé, föl, előre, le, visszafelé, föl és így tovább, úgyszólván az unalmasságig. Mert sajtáságos hintáló mozgása mellett alig-alig közeledik a part felé, csak a szél taszigálja egy kissé a vízből kinyúló dugójánál fogva. Ezért jobb a kis orvosságos üveg, mert annak nagy része van a vízben s csak kis felületet nyújt a szélnek, míg a kis fadarabot gyorsan kihajtja a szél a partra s azt a hamis benyomást kelti, hogy a hullámok szállítják tova.

Ha a kis orvosságos üveget finomabban kísérjük figyelemmel, például a vízbe nyújtott bádoglepra odarajzoljuk a helyzeteit, mondjuk a pályáját, amint a bádoglep mellett himbálózik, azt fogjuk tapasztalni, hogy a kis üvegcsé tökéletes körpályán mozog, mindig visszatérve eredeti helyére (feltevéen, hogy a hullámok nem tarajoznak, a szél nem túlságosan erős).

Amilyen a kis üvegcsé pályája, olyan a hullámozó víz molekuláinak is a mozgása: minden egy kis körpályát ír le, amelynek átmérője egyenlő a hullámvölgy és a hullámhegy magasságának különbségével. A pálya síkja függélyes és merőlegesen áll a hullámok gerincére.

Nem haladó mozgás tehát a hullámozás, hanem ritmikus, rezgő mozgás, amint a fizikusok nevezik, t. i. a hullámozásban levő víz részecskéi zárt, folyton ismétlődő pályán mozognak.

A víz mozgásával most már tisztában vagyunk. Most még a hullám alakját kell pontosabban megismerni. Erre a célra ülünk egy csónakba érzékeny fényképező

műszerrel, amellyel igen gyors pillanatfelvételeket lehet tenni. Kormányozzuk azután a csónakot a hajókikötő töltése mellé, amikor szép, nagy hullámok futnak egyenesen a part felé, tehát végig a kikötőtöltés mellett. Amikor valami szép, szabályos hullám gördül végig a falazott töltés mellett, akkor kapjuk le a fényképezővel azt a vonalat, amely a kőfalra rajzolódik a hullám elvonulása alkalmával. E vonal a víz felső határvonala a fal mentén. A fényképen azután tanulmányozhatjuk a vonalat.

Meglehetősen lapos hullámvonalat látunk a fényképen, apró egyenetlenséggel tarkázza, ami a nagy hullámok hátán keletkezett másodrangú hullámoktól származik.

Ezeket a vonalakat tudományos nyelven cikloisnak nevezik, de mi csak tartjuk meg a hullámvonal elnevezést s kísérjük figyelemmel, hogy milyen változások mennek végbe ezen a vonalon, ha a szél erősödik, vagy gyöngül, mert ez vezet bennünket a legérdekesebb eredményekre.

Amikor már hosszabb ideje szélcsönd van a tó felett, akkor a tó vizének síma tükrén mindenféle zsíros anyag, apró állatok és növények milliárdja halmozódik fel, amely szinte csúnyává teszi a tó felszínét. Ha most kis szellő támad, az eleinte nem képes a tó felszínét összeráncolni: védi ez a sikamlós, vékony hártya, amely olyan feszesen simul a víz tükréhez, hogy nem engedi a szellő hatása alatt azt összeráncolódnia. Hogy milyen hatása van a zsiradéknak a víz felszínére, azt kísérletileg is előállíthatjuk. Ha a part felől fúj a szél s a partfal mentén apró borzolódás látszik a vízen, sűrű, apró, kis hullámok sietnek ki a tó felé, cseppentsünk egy csepp firniszt a vízre. Villámgyorsan terjed szét ez a csepp olaj a tó színén óriási területre. Felismerjük, hogy mennyire terjedt szét, mert ott megszűnik a borzolódás, a tó felszíne sokkal fényesebbnek látszik, mert elsimulnak róla a kis ráncok, amelyek más reflexiókkal sötétebb színben tüntetik fel a tó tükrét.

Ilyen védő burok gyanánt szerepel a hosszás szélcsönd után a tó színén felhalmozódott organikus anyag és az élő organizmusok kolóniái.

Erősebb szélnek azonban ez a védő burok nem áll ellent: szétszakadozik s lassankint a víz színe elveszti tükörsímaságát. Olyanforma ráncokba redőződik, mint a moirée-selyem finom redőzete. A szellő végig-végig borzol a vízen s a legelső kis, ceruza vastagságú hullámokat hozza létre. Ha jobban megfigyeljük ezt a finom borzolódást, a következő rendkívül fontos eredményre jutunk. A borzolódás kétféle hullámokból áll. Látunk ott egy nagyobbacska, amelynek hossza (hullámvölgytől hullámvölgyig mérve) mintegy tenyérnyi. Ennek a nagyobbacska hullámnak az éles taraja előtt tetemesen apróbb, mintegy ujjnyi hullámocskákat látunk.

A kétféle hullám közt lényeges különbség van! A nagyobbacska hullámok valódi szélhullámok, amelyek azonban igen élesek, nagyon túl vannak fejlődve (a magasságuk igen nagy a hosszukhoz képest) s miután apróságuknál fogva nem képesek elég gyorsan futni, a szél valósággal taszigálja őket, előredönti a kis hullámhegyet s egészen részaránytalan lesz: az az oldal, amelyet megfúj a szél, az lankás, míg a másik meredek, szinte túlhajló!

A kis hullámhegy előtt feltűnő, igen apró hullámok azonban más jellegűek. Ezeket a tudósok kapilláris hullámoknak nevezik s akkor keletkeznek, ha a víz felszínén valami tárgy, vagy csak egy tű hegye is, gyorsabban mozog, mint másodpercenként 30 cm.

Próbáljuk meg valami vízzel telt edényben egy gombostű hegyét lassan mozgatni. A víz tükrén semmi változást nem veszünk észre. Mozgassuk most a tű hegyét vala-

mivel gyorsabban. Semmi változás. Ha azonban a sebesség, amivel a tű hegye a víz felszínét súrolja, nagyobb lesz másodpercenként  $1/3$  méternél, akkor a víz felszínét finom redőkbe látjuk ráncolódni, amely redők éppen olyanok, mint amelyek a kis hullámok taraját megelözik.

Nagyon fontos ezt tudnunk! Ezek a kis hullámok azt bizonyítják, hogy a hullám tarajában a vízmolekulák nemcsak a rendes, hullámzó mozgásban vesznek részt, hanem egyszersmind előre is haladnak!

Majd meglátjuk, hogy milyen rendkívül nagy jelentősége van ennek! A kapilláris hullámok minden kétségen felül bizonyítják, hogy az ilyen kis, apró hullámok taraján a víz molekuláit a szél tényleg előre taszigálja. A tóban keletkező áramlások és vízszín-ingadozások magyarázatára ez igen fontos észlelésünk volt!

De ez a tünemény magyarázza azt is, hogy miképpen nőnek a hullámok. Az eleinte tenyérnyi kis, idétlen hullámocskában a víz molekulái már a rendes hullámzó mozgás körforgását végzik, persze nem is szólva arról a rendetlenségről, amely a kis hullámocskák taraján keletkezik a szél lökődése miatt.

A tarajra került molekulán taszít egyet a szél s az most nagyobb sebességgel, nagyobb körpályán mozog. Amint egynehány másodperc múlva megint a tarajra kerül, ismét kap egy lökést a szélről, megint növekszik sebessége és körpályájának átmérője. Ez azután így megy tovább mindaddig, amíg a hullám tetemes nagyságúvá nőtt s a tarajon a molekulák sebessége éppen olyan nagy lesz, mint a szélé. Ekkor azután a szél többé nem tudja a molekulák sebességét növelni s a hullám nem növekszik magasabbra, hanem szépen, simán, egyenletesen gördül tovább.

Világos már most az eddig elmondottakból, hogy annál magasabb és nagyobb hullám keletkezhetik, minél erősebb a szél. Hogyan van az mégis, hogy a Balatonon, ahol szintén igen erős szelek járnak, mégsem keletkeznek olyan nagy hullámok, mint a tengeren? Az óceánokon van olyan hullám is, amelynek hossza 100–200 méter s magassága 8–10 méter! A mi Balatonunkon még sohasem láttam hosszabb hullámot 7–8 méternél s magasabbat  $1\frac{1}{2}$  méternél, még a legdühösebb orkán idején sem.

Ha a molekulák mozgását a hullámzás alkalmával nemcsak "felületesen", hanem behatóan tanulmányoztuk volna, már ismernők a feleletet erre a kérdésre. Azért mondom felületesen, mert mi csak a felszínen, a víz felületén levő molekulák mozgását ismertük meg az imént, míg a mélyben, a halak országában rejtőzködő csepcecskék mozgásáról nem szóltunk.

Gondoljuk el, hogy a víz belsejében, mondjuk egy méter mélyen a felszín alatt, töménytelen sok apró halacska helyezkednék el egy vízszintes sík mentén. Nem tudom, a halak tudnak-e így aludni, de tegyük fel, hogy ezek az egy síkban elhelyezkedett kis néma lények teljesen nyugalomban maradnának s engednék magukat a víz mozgásával ragadtatni, minden ellenállás nélkül; mintha ők maguk a víz látható részecskéivé váltak volna.

Jöjjön most egyszerre valami hullám, például amit a gőzhajó kerekei vertek föl. Amikor ez a hullám a halak fölött elgördül, azt látjuk, hogy a halak is mozognak és pedig a halak névján éppen olyan hullám, éppen olyan sebesen gördül végig, mint a felszínen, csak egy különbség van: ez az egy méter mélységben, teljesen hallgatagon tovasurranó hullám alacsonyabb, mint a felszíni hullám, habár ugyanolyan hosszú és éppen olyan sebesen is halad.

Süllyesszük most le a jelző halakat két méter mélységre s ott figyeljük meg a hullám tovagördülését: ismét ugyanolyan hosszú és éppen olyan sebesen tovarohanó hullámot látunk, de ez még alacsonyabb.

Legyen három méter mélységben a tó fenéke, megfigyelésünk helyén. A fenéken a hullám tovagördülése alkalmával nem látunk hullámot, csak gyors ide-oda való mozgást. Amikor hullámhegye van a fenéknek valamely könnyű homokszeme fölött, akkor ez a homokszem előre mozdul. Amikor a hullámvölgy fut el a homokszem fölött, akkor az kissé visszafelé fut. Ez a homokszem is ritmusos, szabályos mozgást végez tehát, de körpálya helyett csak ide-oda mozog vízszintes irányban. Már az egy méter, illetőleg két méter mélységben levő molekulák sem mozognak igazi körpályán, hanem lapított körön, mert nagyobb volt a mozgásuk előre-hátra, mint fel és le. Ez a pálya vízszintesen fekvő ovális, amely annál laposabb lesz, minél közelebb vagyunk a fenékhez.

Képzeltethetjük már most, hogy a fenéken levő vízcseppek ide-oda való mozgásuk közben mennyire súrlódnak a talajhoz! Ez a súrlódás az oka annak, hogy a hullám nem nőhet kellő magasságúra! Ez a fenékhez való súrlódás nem engedi a molekulákat elég sebes körszerű, hullámozó mozgásba jönni, s ezért nem lehet azoknak a pályája igen nagy.

Egészen másként van a dolog az óceánokban, ahol a víz néhány ezer (közepesen 4000) méter mély s ahol a hullámozó mozgás valószínűleg nem is ér le ezekre az örületes mélységekre. Mert a hullámozó mozgás lefelé való elterjedését akadályozza a vízrészecskének egymáshoz való súrlódása is. Ez azonban sokkal, de sokkal kisebb, mint a fenéken való súrlódás ellenállása.

Mi lesz most már annak a következménye, hogy a hullámok a felszínen nem fejlődhetnek ki oly nagy mértékben, mint ahogy azt a szél kívánná?

Legelső következménye az lesz, hogy a hullámok taraján a szél mindig nagyokat lódít, összekuszálja a szabályos körmozgásokat s a hullám taraja tajtékot túrva omlik össze, persze mindig előre, amerre a szél eltaszította. Hasonlót ez a tünemény ahhoz, amelyet a parton látunk, amikor a kigördülő hullámok tajtékot túrva, szabályosan buknek előre s zúgva, harsogva futnak ki a partra. Amíg az előbb a szél taszította le a hullám taraját, most a felszínen levő molekulák saját nagy sebessége okozza az átbukást. Ha ugyanis a hullám a part felé gördül, mind sikérebb és sikérebb vízre jut s a mélyebb részecskék mind kevésbé és kevésbé tudják követni a felszíni molekulák sebes mozgását, végre is ezek a felszíniek az alsókat egészen megelőzik, a hullám keresztülesik önmagán, mint a futó ember, akinek elgáncsolták a lábát. – Ezzel a parti tajtékszálal, vagy ahogy már az egész világon nevezik, ezzel a brandunggal még majd foglalkoznunk kell. Nevezzük mi hullám-morajlásnak.

A tó sikérségének első következménye tehát az, hogy a tó közepén is tajtékozó, átbukó hullámok keletkeznek, aránylag nem is olyan erős széllel. A második igen fontos következménye az, hogy a tó felszíni molekulái nemcsak a hullámozó mozgásban vesznek részt, hanem ezeket a szél valósággal előre is taszigálja, magával hurcolja olyannyira, hogy a felszínen erős áramlás keletkezik a szélllel egy irányban. A szél valósággal viszi a vizet a partok felé, s erős duzzadást okoz a szél alatti partokon. A keszthelyi fürdőházban felállított önműködő vízjelző-készülék minden kétségen kívül megmutatta, hogy a víz Keszthely előtt erősen felduzzad, ha a tóról a part felé fúj a szél.



Ezzel ellenkezőleg aztán a víz a mélységben visszaáramlik, persze sokkal lassabban, mert hisz vastag rétegben mozog s a lassú mozgással ki is tudja egyenlíteni a szél által okozott duzzadást. Valóságos keringő áramlásba hozza a szél a siker tó vizét. Fenn a széllal repül a felszínnek egy vékony rétege, lenn a mélységben pedig csendesen áramlik vissza a víz s csak ott mutat erősebb áramlást, ahol a tó medrét valami összeszorítja. Így például a tihanyi szorosban a víz néha roppant sebességgel folyik keresztül – szemben a szélnek, magával ragadva hálót, kompot és révészt egyaránt.

De hisz nem is kell, hogy a víz nagyon hullámozzék, elég ha egy kicsit borzolja a szél a víz felszínét, máris nagy a felszíni és mélységbeli áramlás. A felszíni áramlást, a felszín molekuláinak tovaragadtatását mi sem bizonyítja jobban, mint azok az apró kapilláris hullámok, amelyek megjelennek azonnal, amint a szél csak tenyérnyi hullámokat is kelt. Az önműködő vízjelzők nyugtalan, szeszélyes járása innen származik: a tó vize megérez minden kis szellőt, a szélnek minden kis fordulását.

Foglaljuk össze már most az eddig mondottakat. A keletkező szél legelőször is feltöri a víz felszínén elhelyezkedett olajos réteget s forgó mozgásba hozza a legfelső molekulákat. Ezek az ő forgásukat mind tovább és tovább adják a mélyebb rétegeknek. Amíg a felszíni vízcseccskék mozgása nem olyan gyors, mint a szél, addig a szél a hullámokat előre lökdösi, a hullámok homloktetője meredek s a taraj nemcsak a hullámzó mozgásban vesz részt, hanem előre is halad s áramlást indít a felszínen. Ez az áramlás a szél erősségével és a hullámok nagyságával folyton nő.

Vége a hullámok elérik lehető legnagyobb magasságukat, ami a szél erejétől és a víz mélységétől függ. A mély tengereken tetemesen nagyobb hullámok keletkezhetnek, mint a mi siker Balatonunkon, de a Balaton hullámai talán rosszabbak, mint a nyílt tenger hullámai, mert meredekebbek. Gyakrabban buknak át s így a kis hajókra nézve igen kellemetlenek.

Ha a szél abbamarad, akkor a hullámok még sokáig gördülnek ki a partra egyhangú morajlással, de most már nem okoznak felszíni áramlást, mert egészen szabályosak, sima felszínűek, de jól meglóbbálják a kis hajót. Ezt nevezi a zalai halásznép lógó-nak s nem szívesen csolnakázik rajta, mert könnyen tengeri betegséget kap tőle még az erős szervezetű ember is.

A súrlódás azonban a ritmusos, hullámzó mozgást lassanként teljesen megszüntetni, a tó kisimul s tündéri pompában tükrözi vissza az alkonyég bíboros színeit...

Ez röviden a hullám születése, élete és halála. De élete nem múlik el nyom nélkül. A hullámok dolgoznak és néha hatalmas munkát végeznek, amely eltörölhetetlenül fel van jegyezve a föld történelmének nagy fóliánsában, a geológiai képződmények beszédes lapjaira.

Amikor a víz egészen csendes, figyeljük meg a fenék homokját ott, ahol még a víz elég siker, hogy át lehet rajta látni a tó fenekére. A homok nem fekszik simán, hanem finom, apró ráncokba van szedve, olyanforma redők vagy fodrok borítják, amilyeneket a futóhomok felszínén látunk. Csakhogy a futóhomok fodrai egyoldalúak: az egyik lejtőjük lankás, a másik meredek, ellenben a tófenéken látható fodrok szimmetrikusak, mindkét lejtőjük egyforma. A futóhomok fodrocskáit a szél egyirányú mozgása csinálja, a tófenéken látható fodrokat a hullámzás okozza és pedig amint tudjuk, a hullámok a fenéken csak ide-oda való mozgásból állanak. Ez a szabályos lóbbálzás okozza a fodrokat.

Igen régi tengeri rétegek között, kemény homokkővé válva szintén megtaláljuk a hajdani víz alatti homokrétegeket: felszínükön még most is ott vannak a kis fodrok, kőkeményre merevedve, mint örök kőbevésett jelei a hajdani hullámzásnak.

Honnan került a tóba az a sok homok, ami különösen a déli partok mentén olyan kellemessé teszi a fürdőket? Azt hiszem, minden olvasóm látta már azokat a meredek partokat, amelyek Kenese, Akarattya, Aliga, Gamásza körül, aztán meg Földvár, Szemes, Fonyód és Berény körül emelkednek a tó szélén, alig hagyva helyet a Déli-vasútnak.

Ezek a meredek partok azt tanúsítják, hogy hajdan a szárazföld messzebb benyúlt a tóba ezeken a helyeken, mint ma. A tó vize azonban megtámadta a partokat, alámosta s azok omladozni kezdettek. A leghatalmasabb eszköze a tónak ebben a nehéz munkában éppen a hullámzás, amely megőrli, szétpusztítja a meredek falak lábát s a szétszedett anyag törmelékét, a homokot messze beviszik a hullámzás által keletkezett áramlások a tó belsejébe. A hullámzás okozta heves vízszínváltozások, amelyeket a keszthelyi önműködő vízjelző mutatott ki, szintén nagy jelentőségű tényezők a partok alámosásakor. Ezenkívül még az abszolút vízállásváltozások, a jég, az eső és a hóvíz is hozzájárul a partok pusztulásához.

A leomlott anyagot aztán még dühösebben, még nagyobb eréllyel szedik szét a hullámok s szállítják el az áramlások. A tó folyton terjed kifelé, mindig több és több szárazföldet hódít meg s mint rendkívül siker víztükör kerül el a hajdan magas halmok helyén. A hullámoknak ezt a működését abrázióknak nevezzük s rendkívül fontos szerepe van a Föld fizikai felszínének kialakulásában. Bizonyára sokan látták már kedves olvasóim Veszprém körül azokat az egyhangú, természetlen síkságokat, amelyek a Bakony lábától egészen a Balatonra lecső hegyekig terjednek ki s amelyek itt-ott rossz erdők, de legnagyobbbrészt majdnem értéktelen legelők, köves térségek foglalják el a helyet. Ez a vidék a símaságát, síksághoz hasonló voltát tengeri abrázióknak köszöni. Mintha csak nemrégén húzódott volna le róla a tenger: találunk rajta kagylófúrta köveket, koptatott kavicsokat s a tenger egyéb nyomait. Hullámok jártak tehát hajdan, régi geológiai időkben (az úgynevezett mediterrán korban) ezen a térségen s a hullámok valószínűleg a Bakony lábainál törtek meg, amely akkor már szigetcsoportként emelkedett ki a tengerből.

De hagyjuk az elmúlt időket, s térjünk vissza a hullámokhoz, amelyek ma járnak a kedves tó színén, s majd andalító morajjal, majd meg vad zúgással gördülnek ki a partokra. Ezek a hullámok teszik a tó tájképét legváltozatosabbá. Ha tükörsima a víz, akkor a partok tükröződnek és az ég színe szerint kékes, fehéres, vagy szürkés a tó vize. De amint a szellő bodorítja az első hullámocskákat, azonnal megváltozik a színjáték. A kis hullámok ferde lapjai mint kis ferde tükrök, az égnek sokkal magasabb pontját tükrözik s olyan színben mutatják a tavat, mint amilyen az égboltozat magasabb része: derült időben igen sötétkék, borús időben sötétebb szürke, vagy vakító fehér a felhők szerint. Ha a hullámok igen nagyok, akkor is hasonló a tünény, csak egy esetben módosul, tudniillik ha az eget igen sötét, majdnem fekete felhők borítják. Ilyenkor a nagy hullámok meredek lejtői nem kapnak felülről fényt, amelyek tükröznének, s belelátunk a hullámlejtőkön át a tó vizébe, amely, természete szerint, smaragdzöldnek látszik. Ehhez jön még a nagy hullámok tarajozásának fehér színe s felölti a tó azt a félelmes zöldes haragosan tajtékos színét, amely a zivatarok kitörését szokta megelőzni. Ha erős hullámzáskor derült az ég, ezt az

ijesztő zöld színt nem látjuk, hanem ehelyett sötétkék a tó, olyan, amilyenek rendszeren a tengert szokták festeni.

Az a változatosság, amit a nyughatatlan tó vize hoz a tájképre, valósággal elkényeztetni a tó partján lakókat. Nem is tud már gyönyörködni a tájképben, amelyet nem élénkít ez a morajló, ez a minden órában más arcú részlet. Mit ér a holdvilágos tájkép, ha a Hold alatt nincs ott az aranyhíd, amelyet a hullámokon vert végig a fényugár; mit ér a hegy, ha nem tükrözik vissza csendes tó tükrében s mit ér a kilátás, ha annak határát nem növeli óriássá a végtelen, a mindig szög, a mindig változó Balaton.