

Nekrológ

Dr. Alföldi László

(Tiszadob, 1928. szeptember 23. – Budapest, 2015. május 5.)

Alföldi László okl. geológus, egyetemi doktor (1958), a földtani tud. kandidátusa (1978), majd doktora (1989).

1952-1956 között az Országos Tervhivatal bányászati osztályának munkatársa, majd a távlati tervezési főosztályon dolgozott, mint az ásványi nyersanyagkutatás és gazdálkodás felelőse. 1956 szeptemberében kinevezték a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) igazgató-helyettesének. A forradalmi események után lemondott, majd az Intézet uránkutató osztályának megszervezése után, annak vezetője lett. 1958-tól rövid megszakításokkal a Mongol-Magyar Vízkutató Expedíció hidrogeológusaként a Góbi sivatagban dolgozott, ahol a sivatagi vízkutatás területén szerzett tapasztalatokat és kb. 50 sivatagi kutat telepitett. 1964-től a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) tudományos főmunkatársaként hévízkutatási kérdésekkel foglalkozott, majd az Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalat főgeológus igazgató-helyettesének nevezték ki. 1978-ban a Budapest hévízei c. disszertációjával elnyerte a földtudományok kandidátusa fokozatot. Ehhez kapcsolódó kutatás során részletesen foglalkozott a bányászati víztelenítés környezetre gyakorolt hatásával. 1972-től újra a VITUKI-ban dolgozott. Először a felszín alatti vizek főosztályát vezette, majd a Vízrajzi Intézet helyettes vezetője lett. Ezt követően néhány évig a Országos Vízügyi Hivatalban (OVH) teljesített szolgálatot, mint a Kutatási és Műszaki fejlesztési

tési Főosztály vezetője, majd a Vízgazdálkodási Főosztály vezetője. 1981-ben a Nemzetközi Rendszerelmzési Intézetben (IIASA) a felszín alatti vizek nitrát-szennyezésével foglalkozó munkacsoport hidrogeológusaként a nitrát-szennyeződés hidrogeológiai vonatkozásait foglalta össze, és az erről szóló dolgozatát megjelentette az IIASA. 1985 elején kinevezték a VITUKI főigazgatójává. 1989-ben *A felszínalatti vizek védelmének hidrogeológiai alapjai* c. munkáját a MTA a földtudományok doktora címmel ismerte el.

1990-ben vonult nyugdíjba, de azt követően is tevékeny részt vett a szakmai közéletben. Társaságunk Hidrogeológiai Szakosztályának 1978 óta volt tagja. 1972-1986 között a Magyarhoni Földtani Társulatnak társelnöke volt. Tagja volt az MTA-OVH Vízügyi Bizottságnak, a Központi Földtani Hivatal Földtani tanácsának, valamint elnöke az MTA Hidrológiai Bizottságának és tagja az MTA Vízgazdálkodási Bizottságának. Ugyancsak tagja volt a Magyar UNESCO Bizottság természettudományi tagozatának.

Szakirodalmi munkássága is jelentős, öt könyvét adták ki, és több nemzetközi kiadvány szerkesztésében vett részt. Hazai és külföldi szaklapokban megjelent szakmai cikkeinek, tanulmányainak és egyéb publikációinak száma meghaladja a százat. (MTESZ.d. 1981)

F.L.

Hajók keltette hullámmzás hatásának terepi feltárása a litorális zónában

Fleit Gábor¹, Baranya Sándor¹, Krámer Tamás¹, Józsa János¹¹BME, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111. Budapest, Műegyetem rakpart 3.

Kivonat:

Jelen tanulmányban a hajók keltette hullámok partközeli megjelenő áramlási hatásait vizsgáltuk a Duna Sződligeti szakaszának egy limányos területén, különös tekintettel a fenék-csúsztatófeszültségre. Kellően nagy feszültségnövekmények esetén, a mederfenéken élő makrogerinctelenek és halikrák elsodródhatnak olyan áramlási sebességek uralta területekre, ahol túlélési esélyük zérushoz közeli. Ezen paraméter számszerűsítése szinkronizált akusztikus sebességmérő műszerek terepi alkalmazását igényelte. A nagy időbeli felbontású sebesség-idősorok alapján statisztikai módszerekkel jellemeztük különböző elhaladó hajók (szállodahajó, uszály, szármashajó, motorcsónak) hatására kialakuló hidrodinamikai változásokat a mederfenéken. A cikk továbbá bemutatja a Large Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) egy újszerű alkalmazását, mellyel a hullámmzás part menti mozgásának időben változó sebességmezővel való leírását végeztük el. Az eredmények rámutatnak a hullámjelenségek térbeli és időbeli összetettségére, de egyúttal igazolják azok kimérhetőségét is.

Kulcsszavak:

ADV, Duna, fenék-csúsztatófeszültség, hajók keltette hullámmzás, LSPIV, terepi mérés.

1. Bevezetés

A hajókkal történő utas- és áruszállítás napjaink egyik legkörnyezetkímélőbb fuvarozási formájaként ismeretes, mindazonáltal számos olyan káros mellékhatása is ismert, melyek nem elhanyagolhatók. Itt egyrészt gondolni kell a közvetlen vízminőségi problémákra, melyet a hajókból szivárgó olajok, üzemanyagok és más poliaromás szénhidrogének okoznak, de számos közvetett hatás is felismerésre került az utóbbi években, melyek hosszú távon a vizes élőhelyek biodiverzitásának degradációjához vezethetnek. Ilyen például a hajók keltette hullámmzás hatására a part közelben megnövekvő lebegtetett hordalék koncentráció, melynek a vízi ökoszisztéma szempontból messzemenő következményei lehetnek. Ezen túlmenően a hullámmzások jelentős hatással lehetnek egy adott területet jellemző hidrodinamikai paraméterek tér- és időbeli eloszlására is, melyek a vizes élőhelyek egyik legfontosabb abiotikus jellemzői.

A hajók keltette hullámmzás hatására a partközeli jelenő megnövekvő fenék közeli áramlási sebességek és fenék-csúsztató feszültségek alakulnak ki, melyek a mederfenék élővilágát veszélyeztethetik. Megfelelően nagy fenék-csúsztatófeszültségek esetén, a mederfenéken található halikrák, ivadékhalak, makrogerinctelenek, és más bentikus élőlények elsodródhatnak a számukra biztonságot nyújtó part közeli zónából olyan áramlási sebességek uralta területekre, ahol túlélési esélyük zérushoz közeli. A makrogerinctelenek kapaszkodási képességeinek, valamint a különböző halfajok megiramodási sebességének vizsgálata ugyan kívül esik a klasszikus vízmérnöki ismereteken, azonban fejlett, naprakész terepi mérési és adatfeldolgozási módszereink alkalmazásával lehetőség nyílik interdiszciplináris vizsgálatok végzésére, és a témát gondozó biológusok támogatására.

A hajók keltette hullámmzások hatását vízmérnöki szempontból már vizsgálták korábban (Krouzecky et al., 2013 és Liedermann et al., 2009). azonban ezek a vizsgálatok a hullámméleti paraméterek, jellemző hullámmagasságok hullámhosszak stb. meghatározására fektették a hangsúlyt. Különböző makrogerinctelen fajok hullámmzás hatására megjelenő fenék-csúsztatófeszültség növekmény okozta elsodródását már vizsgálták külföldi kutatók (Gabel, 2012), azonban a hangsúly itt a biológiai vizsgálatokon volt, a hidraulikai jelenségek részletes vizsgálata nem történt meg.

Jelen tanulmány a hajók keltette hullámok mederfenéken jelentkező hidrodinamikai hatásait vizsgálja, azonban fontos hangsúlyozni, hogy a hullámmzás csak egy a

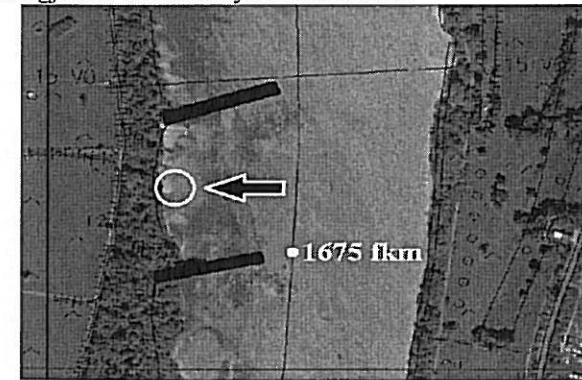
számos ismert kedvezőtlen hatás közül, valamint, hogy az általunk végzett vizsgálatok a hullámmzások hatásainak is csak egy szűk spektrumát ölelik fel.

Munkánk során teszteltük a Large Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) (Jodeau et al. 2013) sebességmérési módszer egy újszerű alkalmazását, a megtörő hullámok dinamikájának vizsgálatára, és annak kvantitatív jellemzésére. A PIV algoritmus videofelvételek alapján képes időben változó, felszín közeli áramlási sebesség mezők számítására. A módszert ilyen célokra a szerzők ismeretei szerint korábban még nem alkalmazták.

2. Vizsgálati terület

Az esettanulmányra kiválasztott terület a Duna 1675,3 és 1675,0 fkm szelvényei közt található. Ez Sződliget térsége, a folyó jobb partján a Szentendrei sziget, bal partján Sződliget községe található. A Duna teljes vízhozamának közel kétharmada folyik ezen az ágon, melyből következik, hogy a hajóforgalom is itt zajlik, mely esetenként kedvezőtlen hatással lehet a vízi ökoszisztémára.

A sződligeti Duna szakaszon két, a hajózóút biztosítására megépített sarkantyúpár helyezkedik el, melyek komplex áramlási és morfológiai viszonyokat kölcsönöznek a területnek. Jelen vizsgálatban az északi, jobb parton elhelyezkedő sarkantyúpár közötti áramlási holtterben végeztük a terepi adatgyűjtést (1. ábra), ahol kis- és középvízi állapotban a part menti áramlási sebességek zérushoz közeli, így közvetlenül a hullámmzás hatására megjelenő növekményeket mérhettük.

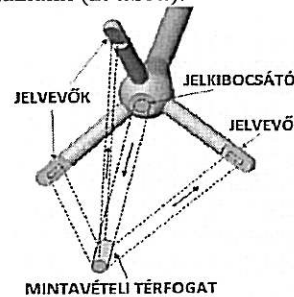


1. ábra – A vizsgálati terület és a mérések helye (fehér ellipszissel jelölve)

3. Mérőműszerek, terepi mérések

A mederfenék közeli áramlási sebességek három dimenziós, nagy időbeli felbontású adatsoraira volt szükségünk, hogy a kialakuló hidrodinamikai jelenségeket megértsük, valamint, hogy lehetséges legyen a fenék-csúsztatófeszültségek számszerű becslése. A terepi mun-

ka során ezért három korszerű, 16Hz-es mintavételi frekvencián működő akusztikus Doppler-elvű mérőműszert (ADV) alkalmaztunk (2. ábra).



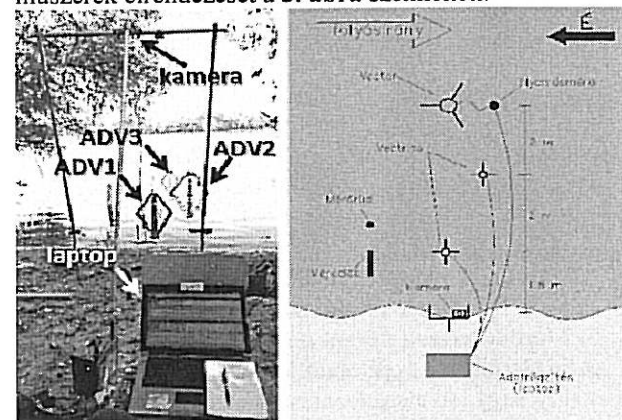
2. ábra – Az ADV és részeinek sematikus ábrája

Az ADV-k a Doppler-elvet használják ki méréseikhez, mely a következő: ha egy hangforrás a vevőhöz képest mozog, akkor a vevő által fogadott hang frekvenciája a sebességkülönbséggel arányosan megváltozik a kibocsátott hang frekvenciájához képest. A műszer hangsugarakat bocsát ki, melyek a vízben lévő és azzal együtt mozgó apró részecskékről (pl. lebegtetett hordalék) visszaverődnek a jelvevőre a víz áramlási sebességétől függő mértékű frekvenciaváltozással.

Az ADV rögzített geometriai kialakításából adódóan egy közel 1 cm³-es térfogatról gyűjt adatot, mely a kibocsátott és az érzékelt hangnyalábok metszetéből adódik. Az ADV tehát jó közelítéssel pontbeli sebességvektorok idősorainak mérése alkalmas.

A három műszert egymástól közel azonos távolságra helyeztük el a partra merőleges vonalban, egyre nagyobb vízmélységű pontokban. A műszerek rögzítésénél ügyeltünk arra, hogy a mintavételi térfogatuk közvetlenül a mederfenék fölötti vízrétegben legyen. Az ADV-k kezelését, valamint a mért eredmények szinkronizált rögzítését a partról végeztük egy laptop segítségével. A parttól legtávolabb elhelyezett ADV műszerhez egy nyomásérzékelő is tartozott, melyet a mederfenéken helyeztünk el, hogy detektálni tudjuk a hullámváz hatására változó nyomásviszonyokat.

A mérési installáció része volt továbbá egy Full HD felvételek készítésére alkalmas videokamera, melyet egy állványon rögzítettünk, a partvonal felett. A nagy látószögű kamera így rögzíteni tudta a partra kifutó és ott megtörő hullámokat. Ezeket a felvételeket később az LSPIV módszer segítségével dolgoztuk fel. A terepi mérőműszerek elrendezését a 3. ábra szemlélteti.



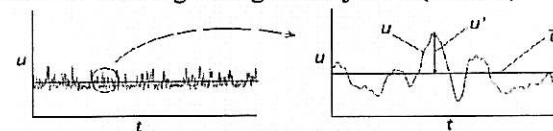
3. ábra – Terepi mérőműszer installáció fényképen (balra) és sematikus felülnézeti ábrán (jobbra)

A mérési kampányra 2014. szeptember 24-én került sor, 1750 m³s⁻¹-os vízhozam idején. Ez egy középvízi állapot, a folyó nem hágtá meg a sarkantyúkat, így a művek közötti zónában, annak part közeli részén az áramlási sebességek elhanyagolhatóan kicsik voltak.

A terepi munka során a www.marinetraffic.com címen elérhető honlapról tájékozódunk a közeledő hajókról, így megfelelően fel tudtunk készülni az általuk keltett hullámzások áramlási hatásainak mérésére. A mérési kampány során négy szállodahajó, egy uszály, valamint egy szárnyashajó által keltett hullámok hatásait rögzítettük, valamint további adatgyűjtés céljából a saját mérőcsónakunk által keltett hullámzást is vizsgáltunk.

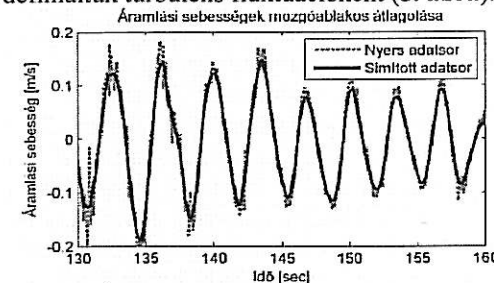
4. Adatfeldolgozás

Az ADV-k háromdimenziós áramlási sebességméréseinek feldolgozása során lényegében azok előkészítését végeztük el, a későbbi fenék-csúsztatófeszültség becslései eljárásokhoz. A mért adatsorok időbeli szinkronizálását követően, a hibás mérések kiszűrését kellett elvégezni. Az adatsorok elkerülhetetlenül tartalmaztak hibás méréseket, melyek nagyságrendekkel nagyobbak voltak, mint az őket megelőző mérések. Ezek kiszűrése így gyorsan elvégezhető volt. A kiugró értékektől megtisztított adatsoron ezután elvégeztük a turbulencia okozta sebesség-fluktuáció vizsgálatát is. Erre a célra általános esetben a Reynolds-féle szétválasztást szokás alkalmazni, vagyis egy adott pontbeli u pillanatnyi sebességet egy alkalmas t időpontban egy $\bar{u}$ átlagsebesség és egy u' pulzációs sebesség összegeként írjuk fel (4. ábra).



4. ábra – Turbulens áramlási sebességek Reynolds-féle szétválasztása

A hullámzások hatására azonban olyan időben változó áramlási sebesség rendszer alakul ki, mely nem jellemezhető egy teljes idő szerinti átlagolással, így az átlagtól való eltérések sem határozhatók meg triviálisan. A szétválasztást a következő feltételezéssel végeztük el: átlagolt áramlási sebességeknek egy mozgóablakos átlagolással ($n=11$) simított adatsort tekintettük, és a nyers (hibás adatoktól megszürt) adatsor ezen átlagoktól való eltérését definiáltuk turbulens fluktuációként (5. ábra).



5. ábra – Áramlási sebességidősor mozgóátlagolása

A fenti ábrán látható, hogy a 11 adatból álló mozgóablak mérettel előállított adatsor jól felveszi a nyers idősor karakterisztikáját, kb. 3,5-4,0 másodperces periódus-idő figyelhető meg. Mindazonáltal elvégeztük az ablakméret megválasztásának tudományos megalapozását is. Ez a sebesség adatsor domináns frekvenciájának, illetve

periódus-idejének meghatározását igényelte, melyet spektrál-analízis segítségével végeztünk el, ami alátámasztotta a fenti értékeket.

A Reynolds-féle szétválasztott idősorok felhasználásával lehetőség van a turbulens fluktuációból eredő fenék-csúsztatófeszültségek számítására. Folyami körülmények közt ez az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer, melynek több változata is létezik.

Amennyiben az áramlási sebességeket három dimenzióban vizsgáljuk, úgy a szétválasztás is mindhárom merőleges sebességkomponensre (u a fő áramlási iránnyal megegyező, v az áramlás irányára merőleges; w az uv síkra merőleges) elvégzendő. Az $-u'v'$ pulzációs összetevők átlaga, valamint az u' fenékcúsztató feszültség közt a következő, Reynolds-féle összefüggés áll fenn:

$$\frac{-\overline{u'v'}}{u_*^2} = 1 - \frac{1}{\kappa u_* z} = 1 - \frac{1}{R} \quad (1)$$

ahol κ a von Kármán konstans ($\sim 0,4$), v' a víz kinematikai viszkozitása ($1,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$), R a Reynolds-szám. Turbulens áramlások esetén a Reynolds-szám, $R = \frac{\kappa u_* z}{\nu} \gg 1$, így

$$-\overline{u'v'} = u_*^2 \quad (2)$$

Továbbá, mivel a τ_b fenék-csúsztatófeszültség

$$\tau_b = \rho \cdot u_*^2 \quad (3)$$

ezért

$$\tau_b = \rho (-\overline{u'v'}) \quad (4)$$

ahol ρ a víz sűrűsége.

Korábbi tanulmányokból ismert, hogy a fenék-csúsztatófeszültség és a mederfenéken kialakuló turbulens kinetikai energia mértéke között lineáris kapcsolat áll fenn (Soulsby és Dyer, 1981). Az arányossági tényező $C_1 \sim 0,19$ (Stapleton és Huntley, 1995). A turbulens kinetikai energia (TKE) mértéke a sebességkomponensek turbulens fluktuációjából számítható:

$$TKE = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (5)$$

így

$$|\tau_b| = C_1 \rho E \quad (6)$$

Létezik továbbá egy alternatív formula is, mely kizárólag a függőleges irányú sebesség fluktuációjából származtatja a fenék-csúsztatófeszültséget (Soulsby és Dyer, 1981):

$$|\tau_b| = C_2 \rho \overline{w'^2} \quad (7)$$

ahol az arányossági tényező konstans $C_2 \sim 0,9$.

Hullámzások keltette turbulencia hatására kialakuló fenék-csúsztatófeszültség növekmény számítása esetén azonban ezek a számítások nem triviálisak, hiszen az áramlás iránya időben változó, továbbá a fő áramlási irány sem egyértelmű (pl. jelen tanulmány esetén, a mérések sarkantyúk közti limányban történtek, ahol a nyugalmi állapotban megjelenő áramlási sebességek jelentősen kisebbek a főmedrinél, így a hullámváz hatására kialakuló, partra merőleges áramlási irány volt a mértékadó). A fenti módszerek alkalmazhatósága így módon nem egyér-

telmű, így egy negyedik számítási eljárást is teszteltünk, mely kifejezetten hullámváz paraméterek alapján becsli a fenék-csúsztatófeszültség értékét (Jonsson, 1966)

$$\tau_b^w = \frac{1}{2} \rho f_w U_w^2 \quad (8)$$

f_w a hullám súrlódási tényező (Pleskachevsky, 2005):

$$f_w = 2 \sqrt{\frac{v}{U_w A}} \quad (9)$$

ahol U_w a maximális orbitális sebesség a mederfenéken, továbbá

$$A = \frac{U_w T}{2\pi} \quad (10)$$

Ez a módszer a vizsgált időintervallum alatt megjelenő legnagyobb feszültség értékét adja meg.

5. LSPIV

Az LSPIV egy modern, fejlődésben lévő mérési-adatfeldolgozási módszer, mellyel videofelvételek alapján van lehetőség kétdimenziós felszíni áramlási sebességek számítására (pl. Muste et al., 2008). A módszer elsősorban vízhozam becslésre lett kifejlesztve, és sok szempontból jobb alternatívát jelent a klasszikus mérési eljárásokhoz képest (gyorsabb, olcsóbb). Az LSPIV az egymást követő képkockákon keres jól beazonosítható foltokat vagy mintázatokat, melyek elmozdulását képes számszerűsíteni, így az egyes képkockák közt eltelt idő ismeretében számítható azok sebessége is. A módszer ereje gyorsaságában és egyszerűségében rejlik, terepi alkalmazásához mindössze egy videokamera szükséges.

Az adatfeldolgozás során a felvételeket képkockákra bontottuk, majd a szoftver (Jodeau et al., 2013) a terepi mérések során rögzített referenciapontok alapján elvégzi a szükséges transzformációkat, hogy a vízfelszínre merőleges felülnézeti képet kapjunk:

$$\begin{aligned} i &= \frac{a_1 x + a_2 y + a_3 z + a_4}{c_1 x + c_2 y + c_3 z + 1} \\ j &= \frac{b_1 x + b_2 y + b_3 z + b_4}{c_1 x + c_2 y + c_3 z + 1} \end{aligned} \quad (11)$$

ahol $[i, j]$ koordináták a kép vonatkoztatási rendszerében (pixelben) és $[x, y, z]$ valós koordináták (méterben).

A képek transzformációját követően néhány számítási paraméter beállítása szükséges. Ezen paraméterek definiálása jelentős hatással van a későbbi eredmények minőségére.

- *Vizsgáló cella (interrogation area – IA) mérete:* annak a négyzetnek a területe [pixel²] amelyen belül a követni kívánt foltot/mintázatot keresi a program.

- *Keresési téglalap méretei (search area – SA):* azon téglalap oldalainak az IA középpontjától pixelben mért távolsága, melyben az algoritmus a következő időlépéshez tartozó képen keresi az IA-ban felismert mintázatot.

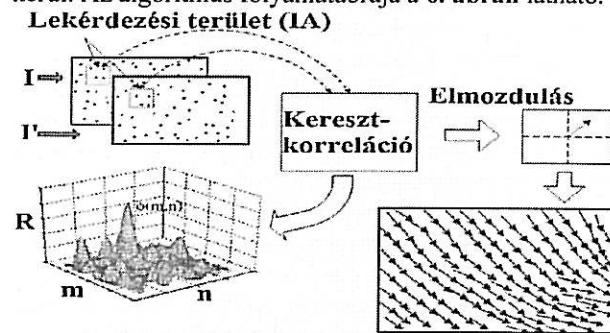
- *Időlépés nagysága (Δt):* két képkocka rögzítése közt eltelt idő. Az elmozdulások meghatározását követően ez alapján kerülnek számításra a sebességvektorok.

A fenti paraméterek beállítását követően egy rácshálót definiálunk a vizsgálni kívánt területre, melynek minden rácspontja egy IA középpontja lesz. Ezt követően a szoftver minden képkocka, minden pontjának IA-ja és az azt

követő képkocka megfelelő pontjaihoz tartozó SA-ja közötti keresztkorrelációt (R) számítja:

$$\hat{r}(z_1; z_2) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (A_{ij} - \bar{A}_i)(B_{ij} - \bar{B}_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (A_{ij} - \bar{A}_i)^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (B_{ij} - \bar{B}_j)^2}} \quad (12)$$

ahol M_i és M_j az IA méretei pixelben; A_{ij} és B_{ij} a szürke árnyalatok intenzitása a két egymást követő téglalapban (IA és SA). A korrelációs együtthatók csak az adott rácspontokhoz tartozó SA-n belül eső képpontokra lesz számítva. Minden rácspontokhoz a legmagasabb korrelációs együtthatóhoz tartozó elmozdulás lesz elfogadva, melyből δt ismeretében a sebességvektor is számításra kerül. Az algoritmus folyamatábrája a 6. ábrán látható.



6. ábra – Az LSPIV algoritmus folyamatábrája (Jodeau et al., 2013)

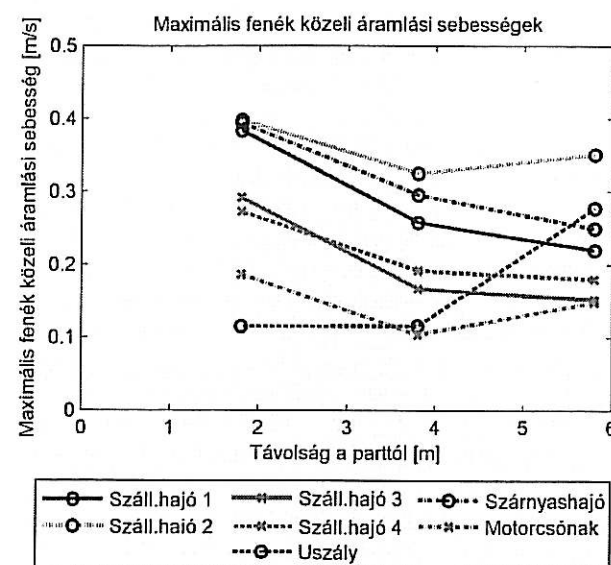
Az így számított eredmények hibáinak szűrésére több lehetőséget is felkínál a program. Megadható, hogy az egyes rácspontokban számított elmozdulásokat milyen korrelációs tényező felett fogadjuk el helyes eredménynek. Amennyiben R ezen határ alá esik egy adott időlépésnél, úgy abban a pontban az eredmény törölve lesz. Gyakran előfordult, hogy az algoritmus valószínűtlenül magas sebességeket ad eredményül. Ilyen jellegű hibák kiszűrése céljából, lehetőségünk van megadni egy észszerű maximális áramlási sebesség értéket, amelynél magasabb értékű eredményeket a szoftver szintén elvet.

6. Eredmények

A mozgóátlagolással simított idősorok alapján meghatároztuk az egyes műszerek által mért maximális fenék közeli áramlási sebességeket a különböző hajók esetére.

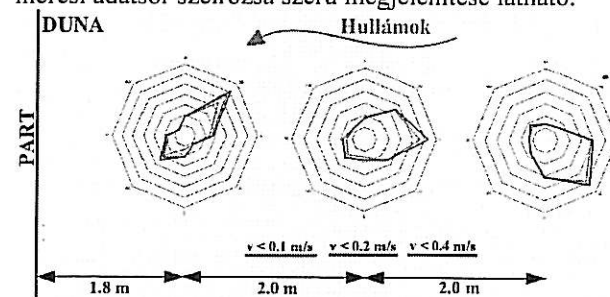
Megfigyelhető, hogy a part közelében intenzívebb áramlási sebességek jelennek meg a mederfenéken, mely vélhetően nagyobb fenék-csúsztatófeszültségeket is jelent. A magasabb csúsztatófeszültség nagyobb mértékű parteróziót, valamint nagyobb elragadó erők kialakulását eredményezi.

Érdekes kivétel az uszályhoz tartozó görbe, melyen épp ellenkező tendenciát figyelhetünk meg. Legegyszerűbben hibás méréssel magyarázhatnánk az eltérő mintázatot, azonban az adatsorok elemzésekor erre nem találtunk egyértelmű bizonyítékot. Fontos megjegyezni, hogy az uszály esetén a nyomásmagasságok idősora is körülbelül egy nagyságrenddel kisebb értékeket mutatott a többihez képest és a mérések során sem tapasztaltunk jelentős hullámtevékenységet, tehát előfordulhat, hogy valóban helyes a felrajzolt görbe, csak ez esetben a többiől jellegében eltérő hullámjelenség okozza azt.

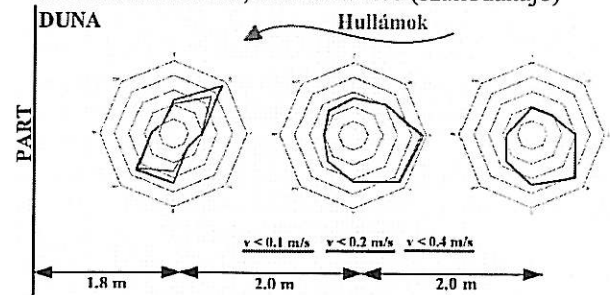


7. ábra – Maximális fenék közeli áramlási sebességek eltérő hajók esetén

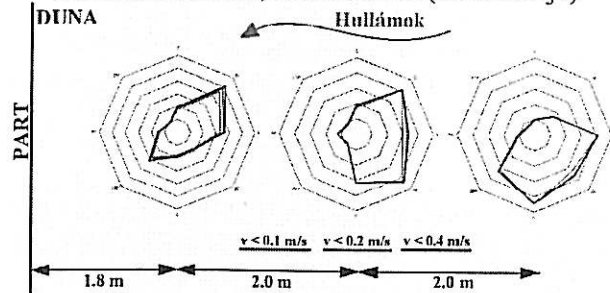
A nagy időbeli felbontású sebesség idősorokat felhasználva megvizsgáltuk, hogy milyen térbeli karakterisztikát mutatnak a sebességvektorok egy teljes mérés esetén (~15 perc). A 8. és 9. ábrán egy-egy szállodahajó, a 10. ábrán egy szárnyashajó elhaladtát követő teljes mérési adatsor szélrózsa szerű megjelenítése látható.



8. ábra – Horizontális sebességvektorok eloszlása a mederfenék közelében, felülről nézve (szállodahajó)



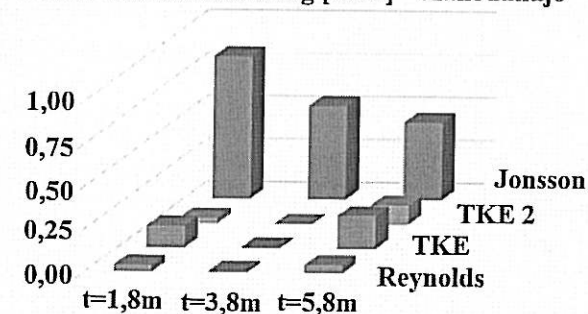
9. ábra – Horizontális sebességvektorok eloszlása a mederfenék közelében, felülről nézve (szállodahajó)



10. ábra – Horizontális sebességvektorok eloszlása a mederfenék közelében, felülről nézve (szárnyashajó)

Az ábrák több jelenségre is felhívják a figyelmet. A part közelébe érkező hullámok – a hullám-refrakció következtében – tipikusan a parttal párhuzamosan, esetleg a párhuzamossal kis szöget bezárva érkeznek. Az ábrákon azonban megfigyelhető, hogy a két szélső ADV műszerhez tartozó eloszlásaira fő irányai közt közel 90°-os eltérés van. A hullámok terjedési sebessége tehát nem feltétlenül határozza meg a fenék közeli áramlási sebességek irányát. Fontos továbbá megjegyezni, hogy ez a mintázat minden hajónál megfigyelhető volt, azok haladási irányától függetlenül. Ez fontos észrevétel, hiszen a hajók haladási irányának függvényében más szögben válnak le a hullámok a hajótestről, így azok eltérő kezdeti irányultsággal közelítik meg a sekélyebb vizeket. Ennek fényében nem egyértelmű, hogy a sebességvektorok síkbeli eloszlásában nem jelenik meg ilyen jellegű eltérés. A jelenség okára egyértelmű magyarázatot nem találunk, mindazonáltal az ábrák egyértelműen felhívják a figyelmet a hullámterjedés térbeli komplexitására, és egyúttal arra is, hogy a megfelelő mérőműszerek segítségével ezek a jelenségek kvantitatív módon kimutathatók.

Fenék-csúsztatófeszültség [N/m²] - Szállodahajó

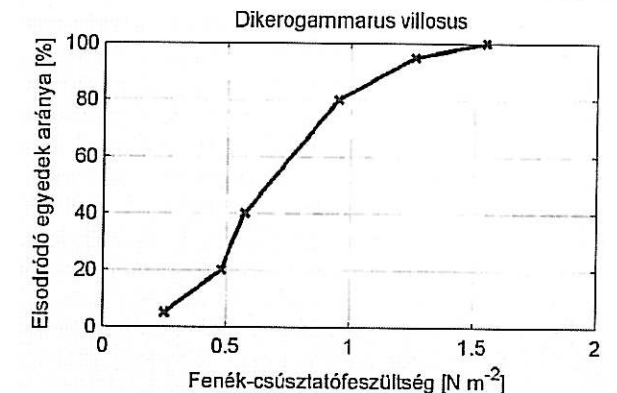


11. ábra – A számított fenék-csúsztatófeszültség értékek a parttól való távolság függvényében

A korábban bemutatott metódusok alapján, meghatároztuk az egyes hajók keltette hullámzások hatására megjelenő fenék-csúsztatófeszültség növekményeket. A 11. ábra egy szállodahajó példáján mutatja be a parttól különböző távolságokban számított eredményeket a négy ismertetett módszerrel.

Azok az eljárások, melyek a turbulens fluktuáció mértékéből származtatják a csúsztatófeszültségek értékét, akár egy nagyságrenddel is a Jonsson-féle módszer alá becsülnek, valamint tendencia nélküli eredményt adnak. Ez az összes hajótípus esetére kimutatható volt.

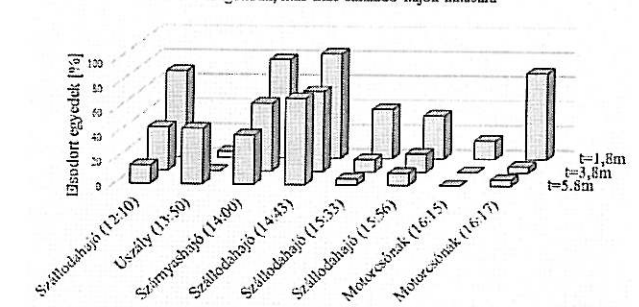
Egy korábbi tanulmányban (Gabel, 2012) megvizsgálták számos mederfenéken élő makrogerinctelen faj hullámok hatására bekövetkező elsodródása és a kialakuló maximális fenék-csúsztatófeszültségek értéke közötti kapcsolatot. A feszültségeket a Jonsson-féle módszerrel számították ADV mérések alapján, így a továbbiakban mi is ezeket az értékeket dolgoztuk. Egy mintaalkalmazás bemutatása céljából az általunk meghatározott feszültség-elsodródó egyedszám kapcsolatot felhasználva becslést adunk az általunk meghatározott csúsztató feszültségek hatására elsodródó egyedek hányadára. A *Dikerogammarus villosus* elnevezésű makrogerinctelen rákfaj esetére a következő kapcsolatot találták:



12. ábra – Elsodródó egyedek aránya a fenék-csúsztatófeszültség függvényében

A fenti ábrán látható kapcsolat alapján az összes elhaladó hajó esetére meghatároztuk a fenék-csúsztatófeszültség növekmény hatására elsodródó egyedek arányát, a három – partvonalától különböző távolságban lévő – mérési pontra (13. ábra).

Elsodródó egyedek százalékos aránya különböző parttól mért távolságokban, más-más elhaladó hajók hatására

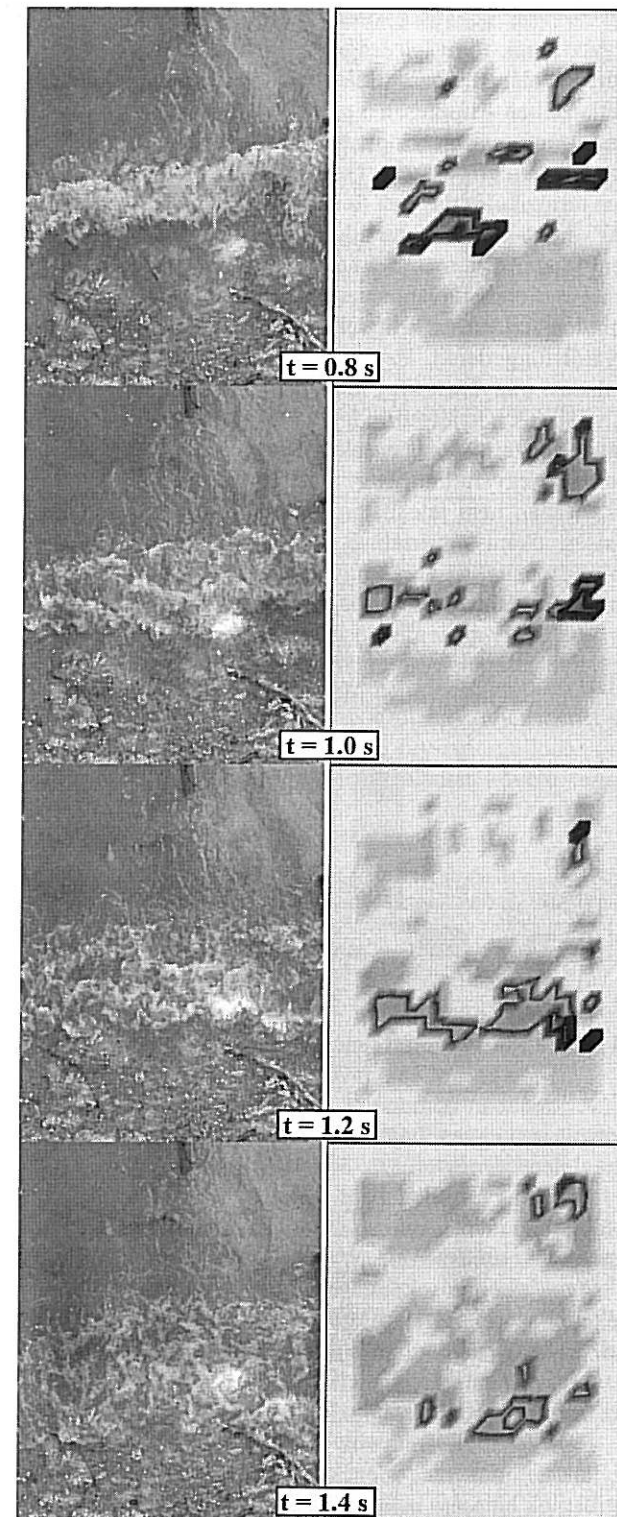
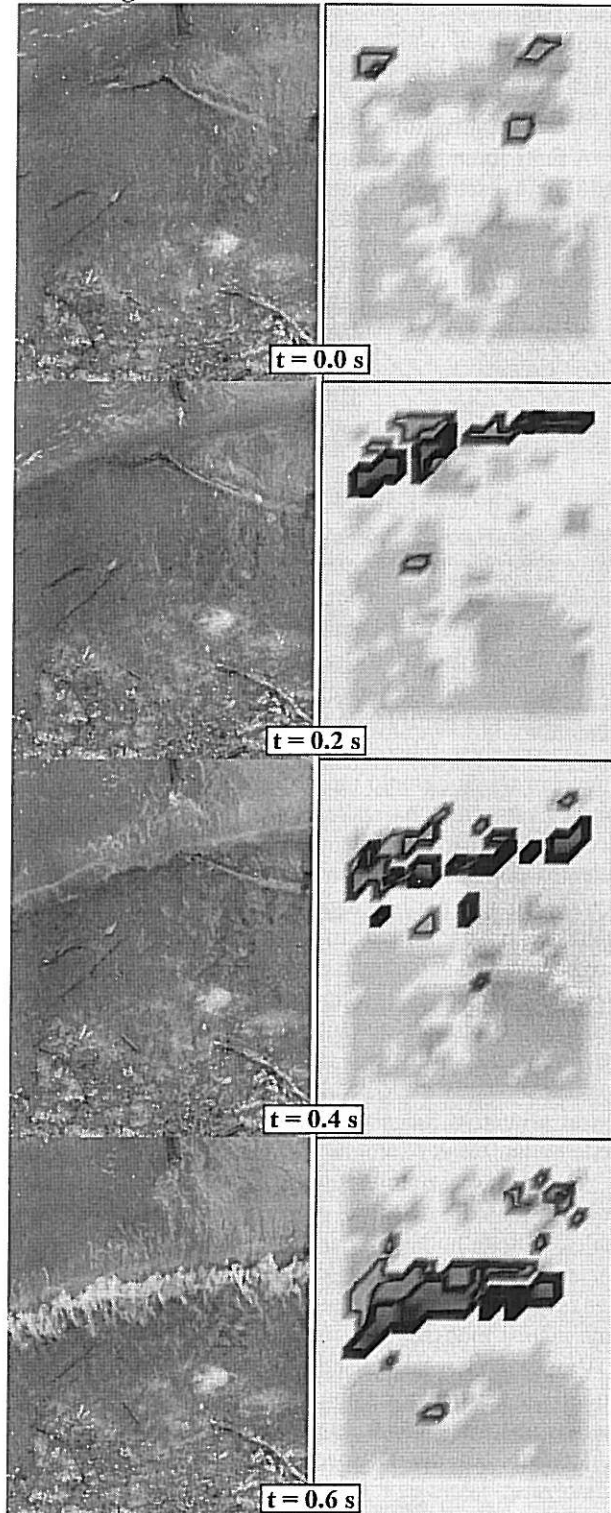


13. ábra – Elsodródó egyedek becsült aránya a mért csúsztatófeszültségek alapján a különböző hajótípusok esetén a parttól való távolság függvényében

Amennyiben feltételezzük, hogy az adott makrogerinctelen rákfaj hasonló megkapaszkodási képességekkel bírna a vizsgált Duna-szakaszon is, úgy a fent bemutatott eredmények alapján kijelenthető, hogy a folyami hajózás jelentős populáció csökkentő hatással lenne ezen élőlényekre, főleg a parthoz legközelebbi zónában. Mindazonáltal fontos hangsúlyozni, hogy az általunk bemutatott eredmények fő célja a vizsgálati módszertan ismertetése, valamint annak alkalmazhatóságának igazolása. Figyelembe véve, hogy erősen interdiszciplináris kutatási területről van szó, a jövőben szükségesnek látjuk az ökológus és biológus kutatókkal való együttműködést, hogy hazai szinten is megalapozhatóvá váljanak a hajók keltette hullámzások ökológiai hatásai.

A fenék-csúsztatófeszültség jellemzésén túlmenően megvizsgáltuk az LSPIV módszer alkalmazhatóságát a hajók keltette hullámok part közelében jelentkező áramlási hatásának elemzésére. Erre elsősorban azért volt szükség, mert a megtörő hullámok zónájában az akusztikus mérési módszer nem megvalósítható, ugyanis az ADV műszerek csak állandó vízboritottságnál képesek mérni. A képelemzés alapú módszer esetén egyfelől azt kellett megvizsgálnunk, hogy a hullámok megtörésekor keletkező hab megfelelően detektálható és követhető mintázatot jelent-e a LSPIV algoritmusnak, másrészt, hogy a módszer, mely elsősorban gyors vízhozam becslésre lett kifejlesztve (vagyis főleg permanens, egy fő á-

ramlási irányral jellemezhető áramlások vizsgálatára), alkalmas-e ilyen térben és időben is dinamikusan változó áramlástan viszonyok leírására. A nagy időfelbontású video felvételeket a korábban bemutatottak szerint elemeztük. Az eredményeket a 14. ábra szemlélteti. Az ábrák bal oldalán a nyers felvétel, jobb oldalán az adott képkockához tartozó számított sebességmező látható. Az alkalmazott skála 0,0 és 2,0 m/s közötti sebességintervallumot fed le, utóbbi előre vetíti, hogy nagyságrendileg ilyen maximális sebességeket tapasztaltunk az adatfeldolgozás során.



Velocity [m/s]: 0.00 0.20 0.40 0.60 0.80 1.00 1.20 1.40 1.60 1.80 2.00
14. ábra – A parton megtörő hullámok fényképei és az LSPIV módszerrel számított sebességük 0,2 mp-es időlépéssel

Az eredmények igazolják, hogy az LSPIV módszer alkalmasnak bizonyult a hullámok megtörésekor keletkező hab követésére, és azok terjedése alapján a felszíni áramlási sebességek, illetve a hullámok terjedési sebességének számszerű kimutatására. A módszer jövőbeli alkalmazása további finomítást igényel mind a mérés kivitelezési, mind az adatfeldolgozási oldalról. Az eredmé-

nyek ellenőrzésére jelenleg azonban nincs közvetlen lehetőség. Mindazonáltal fontos megemlíteni, hogy már folyamatban van a megtörő hullámok dinamikájának numerikus modellekkel történő vizsgálata, mely ezt a hiányt is pótolhatja. A megtörő hullámok sebességének ismerete alapot nyújthat a hullámok energiatartalmának meghatározására, amiből szintén az eróziós hatásra tehetünk becslést, vagyis az akusztikus és képlemezés alapú sebességmérési módszerek együttes alkalmazásával a teljes parti sávra elvégezhetjük a hullámok hatásának kvantitatív értékelését.

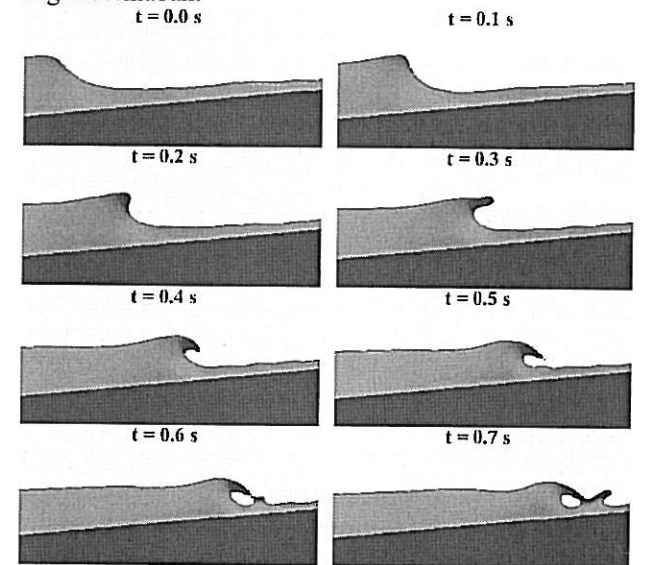
7. Diskusszió

A hajók keltette hullámzás kedvezőtlen hatása a folyók part közeli területeire a halbiológiai kutatások alapján már felismerésre került, de kézzelfogható kapcsolat felállítására a jelenséget meghatározó hidrodinamikai paraméterekkel alig találunk külföldi példát, hazai szinten pedig még nem foglalkoztak a témával. A jelen tanulmányban bemutatott eredmények világossá tették, hogy a hullámok által gerjesztett áramlási sebesség-növekmények és a lokális fenék-csúsztatófeszültség átmeneti jelentős növekedése számszerűsíthető, sőt a megtörő hullámok dinamikája az LSPIV módszer segítségével szintén detektálható és kvantitatív módon értékelhető. Munkánkban értelemeszerűen nem volt célja, hogy összekapcsolja a hullámzás fizikai paramétereit a vizsgált területre jellemző élőlények viselkedésével, de a témát gondozó biológus és ökológus kutatók számára felkínálja a mélyebb- re ható összekapcsolt vizsgálatok lehetőségét.

A vizsgálat során számos kérdés és jövőbeli kutatási irány (pl. további mérési módszerek alkalmazása, a jelenségek vizsgálata numerikus hidrodinamikai modellezéssel) fogalmazódott meg. Emellett, a jövőben célszerűnek tartanánk kiterjeszteni a méréseket eltérő vízjárási állapotokra, eltérő mederanyaggal és eltérő áramlási viszonyokkal jellemezhető folyópartra, hogy a módszer általános alkalmazhatóságát igazoljuk. Az LSPIV módszer használatánál több méréstechnikai finomítást lesz célszerű elvégezni (képbéállítás, állvány átalakítás, stb.), és indokolt további érzékenységvizsgálat végrehajtása is a számításban szereplő paraméterekre, mint pl. vizsgálati cella (IA) mérete, keresési téglalap (SA) mérete, stb. Az eljárás eredményeként kapott sebességmezőket a jövőben elragadó erők becslésre kívánjuk felhasználni, ahogyan azt az ADV alapú méréseknél is tettük. A megtört hullámok eróziós hatásának számszerűsítése azonban nem kézenfekvő feladat, további kutatást igényel. A kutatás folytatásában tervezzük a vizsgált hajók különböző geometriai és hajódinamikai mozgási paramétereinek hatását is vizsgálni, mint pl. merülési mélység, szélesség, hosszúság, hajócsavar típusa, orr kialakítása, elhaladás sebesség, parttól való távolság, stb.

A bemutatott korszerű terepi mérési és adatfeldolgozási módszerek kivétel nélkül támogatják a jelenségek számítógépes modellezéssel történő tanulmányozását. A megtörő hullámok ilyen jellegű vizsgálata már folyamatban van egy, a Norwegian University of Science and Technology (NTNU) egyetemen fejlesztett több fázisú rendszerek kezelésére is alkalmas REEF3D nevű háromdimenziós hidrodinamikai modellel (Bihs, 2015). A modell korszerű szabad felszín számítási eljárása lehetőse-

get nyújt ilyen komplexitású áramlások pontos és stabil kezelésére is. A modellel számított eredmények ellenőrzésére az ADV-k sebesség idősorait használjuk, továbbá az LSPIV módszerrel számított eredmények is alkalmasak kölcsönös ellenőrzések végrehajtására. A modell igéretes eszköznek bizonyul a hajók keltette hullámzások részletes vizsgálatára, mely azonban további terepi méréseket igényel. A 15. ábra egy, a mérések alapján paraméterezett modellel számított hullám megtörését mutatja be, hangsúlyozva a numerikus modellek alkalmazhatóságát a témában.



15. ábra – Megtörő hullám simulációja REEF3D-vel
Az említett modell folyamatos fejlesztés alatt áll, jelenleg a víztérfogóban mozgó testek numerikus simulációja már teszt fázisban van, mellyel lehetőség nyílik a hajók geometriájának, merülésének illetve haladási sebességének hatásvizsgálatára is.

8. Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék két munkatársának, Tóth Károlynak és Pozsgai Istvánnak a terepi mérések során nyújtott segítséget. Köszönjük továbbá az MTA Bolyai János kutatói ösztöndíj által nyújtott támogatást, melyben dr. Baranya Sándor részesült.

9. Irodalom

- Bihs H. (2015): REEF3D :: User Guide v15.04
- Gabel F. (2012): Impacts of ship-induced waves on benthic macroinvertebrates. PhD Thesis, Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin
- Joeau M., Hauet A., Le Coz J. (2013): Fudaa-LSPIV 1.3.2 – User guide. (version v03 07-15-2013)
- Jonsson I.G. (1966): Wave boundary layers and friction factors. Proceedings of the 10th International Conference on Coastal Engineering, Tokyo, Japan, ASCE, pp 127–148
- Krouzecky N., Fenton J.D., Huber B., Klasz G. (2013): Investigations of ship-induced waves on the Austrian Danube in the Donau-Auen National Park. 5th Symposium for Research in Protected Areas 10 to 12 June 2013, Mittersil pages 425–430
- Liedermann M., Tritthart M., Hoyer H., Schludermann E., Keckeis H., Habersack H. (2009): Effects of vessel-induced waves on different bank types and their impact on the 0+ fish fauna. 7th ISE & 8th HIC, Chile
- Muste M., Fujita I., Hauet A. (2008): Large-Scale Particle Image Velocimetry for measurements in riverine environments. Water Resources Research Vol. 44(4)
- Pleskachevsky A., Gayer G., Horstmann J., Rosenthal W. (2005): Synergy of satellite remote sensing and numerical modeling for

- monitoring of suspended particulate matter. Ocean Dynamics 55(1):2
9. Soulsby R. L., and Dyer K. R. (1981): The form of the near-bed velocity profile in a tidally accelerating flow. J. Geophys. Res., 86, 8067–8074.

10. Stapleton K. R., and Huntley D. A. (1995): Seabed stress determination using the inertial dissipation method and the turbulent kinetic energy method. Earth Surface Processes and Landforms, 20, 807–815.

A kézirat beérkezett: 2015. július 28-án

Field investigation of ship induced waves in the littoral zone

G. Fleit, S. Baranya, T. Krámer, J. Józsa

Abstract: The hydrodynamic effects of ship induced waves were investigated in the littoral zone of the Hungarian Danube with special focus on the bottom shear stress. Local increase of the bottom shear stress might detach macroinvertebrates and fish eggs from the substrate which is lethal for them in most of the cases. Quantitative evaluation of this parameter required the deployment of several synchronized acoustic velocimeters. The high time resolution data series were analyzed with statistical methods, and the effects of different ship types, such as barge, hydrofoil, motorboat, hotel ship, were investigated on the river bed. A new type of application of the Large Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) was also presented. With this method the hydraulic characteristics of the approaching and breaking waves were investigated at the bank, based on video records. The results pointed out the spatial and temporal complexity of ship induced waves, moreover, proved that these hydrodynamic phenomena can be characterized by up-to-date measurement devices and suitable data analysis methods.

Key words: ADV, Danube, bottom shear stress, ship induced waves, LSPIV, field measurements

FLEIT GÁBOR
BARANYA SÁNDOR

Építőmérnök BSc (2015), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem MSc hallgatója
okl. mérnök (2003), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének docense.

KRÁMER TAMÁS

okl. mérnök (1998), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének docense.

JÓZSA JÁNOS

okl. mérnök (1981), az MTA rendes tagja, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem rektora, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára.

Nekrológ

Szépfalusi József

Szeged, 1927. február 12. - Szeged, 2015. május 12.

Szépfalusi József, kémia-fizika szakos gimnáziumi tanár, okleveles mezőgazdasági mérnök, okleveles egészségügyi szakmérnök, az Alsó-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság nyugalmazott osztályvezetője.

1950-ben érettségizett a Szegedi Vegyipari Technikumban, és ez volt az első munkahelye is 1950-1956 között. A Szegedi Tudományegyetemen levelező tagozaton 1956-ban szerzett kémia-fizika szakos gimnáziumi tanári oklevelet.

Az Alsó-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság állományába 1957. szeptember 16-án került, és az 1989. december 17-i nyugállományba vonulásáig laboratóriumi segédmunkaerő, laboratórium-vezető, osztályvezető (Vízminőségi Felügyeleti Osztály, Környezet- és Vízminőségvédelmi Osztály), osztályvezető-helyettes (Vízgazdálkodási Osztály) munkakörökben tevékenykedett.

Munka mellett folyamatosan tovább képezte magát, 1967-ben a Gödöllői Agrártudományi Egyetem levelező tagozatán mezőgazdasági mérnöki, 1973-ban a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karán vízellátás-csatornázás egészségügyi szakmérnöki diplomát szerzett.

Kiemelkedő munkája elismerésüül többször részesült "Kiváló Dolgozó", a "Vízgazdálkodás Kiváló Dolgozója", a "Mezőgazdaság Kiváló Dolgozója", "Árvízvédelmi Emlékérem" kitüntetésekben. Kiváló társadalmi munkáját 1978-ban és 1986-ban oklevéllel ismerték el, és a MTESZ Díjat 1981-ben kapta meg.

A környezetvédelem területén végzett munkáját 1983-ban a "Környezetünk Védelméért" kitüntetéssel, 1986-ban "Az Emberi Környezetért" emléklappal ismerték el. Szakmai-tudományos tevékenysége is sokrétű volt. Aktívan részt vett a Magyar Hidrológiai Társaság munkájában, az MTA Szegedi Területi Bizottsága, a MOHOSZ Vízvédelmi Szakbizottsága, a MTESZ Környezetvédelmi Szakbizottsága tagjaként számos rendezvény szervezésében vállalt szerepet.

Több éven keresztül tagja volt a magyar-román és a magyar-jugoszláv vízügyi műszaki vegyes-bizottságoknak, amelyekben vízminőségi szakértőként segítette a magyar fél munkáját.

Német nyelvtudását szakfordítóként, tolmácsként, idegenvezetőként hasznosította.

F.E.

1965.: A „Nagy dunai árvíz” - 50 éve történt

Faludi Gábor · Szádeczky Attila

A Duna árhullámainak meg-megújuló, eddigi leghosszabb ostroma fél évszázada, 1965. március végén kezdődött. Az egymást követő egyre magasabb árhullámok, és az azt követő árvíz elleni küzdelem több mint 100 napig tartott.

Magyarországon nem volt ritka jelenség a folyók áradása, hiszen 1850 óta több mint hetven jelentősebb árvíz zúdult le a Duna és a Tisza vízrendszerében. A rendkívüli magasságú és minden eddigit meghaladó tartósságú 1965. évi árvíz azonban a pusztító erejű dunai árvizek történetében is páratlan esemény volt, melynek terjedelme és az ellene folytatott védekezés szervezettsége és méretei folytán - „a nagy dunai árvíz” néven szerepel az árvizek hosszú sorának történetében.

A meg-megismétlődő magyarországi dunai árvizek az Alpokban és a Kárpátokban felhalmozódott, levonuló hótakaró olvadásából és a határainkon kívüli esőzésekből keletkeznek. Ezeknek az árvizeknek a kialakulásában a hazai csapadékvizszoynoknak nincs, a védekezésben viszont van jelentősége.

Az 1965. év legelején a magas hegyekben tartós volt a hideg, a vízgyűjtő felső részén korábban soha nem észlelt hóvastagság halmozódott fel. Márciusban a kiterjedt esőzéssel párosuló olvadás már növekvő magasságú árhullámokat hozott. Ezek az árhullámok Budapest alatt utolérték egymást, lassúbb folyási sebességgel egymásra futottak, magasítva a víz szintjét. Ugyanakkor a magas dunai árhullámok a Dráva, a Száva és a Tisza telt medrével, magas vízállásával találkozott, ami tovább lassította a nagy tömegű víz lefolyását. Kedvezőtlen volt az is, hogy június első harmadánál az osztrák és a bajor vízgyűjtőn kiterjedt esőzések és északnyugati szomszédunknál a zuhogó eső olyan helyzetet teremtett, hogy a Dunába ömlő mellékfolyók minden eddigit meghaladó vízmennyiséget szállítottak. Ezek a körülmények együttesen rendkívüli magasságú és hosszan tartó árvizet okoztak a Duna magyarországi, fokozottan annak alsó szakaszán.

A tavaszi hóolvadásból származó első dunai árhullám 1965. március 29-én érte az ország határát. Ekkor még senki sem gondolt arra, hogy négy hónapon keresztül tart majd az árvíz elleni küzdelem.

Április közepén apadt, de ezt követően a vízállás ismét emelkedni kezdett. A Duna felső vízgyűjtőjén kialakult esőfrontok és a most már bekövetkező gyors olvadás hatására újabb három egymást követő és mind nagyobb árhullám indult el a Dunán.

A veszélyes helyzet június elején fordult válságosra. A négy nap alatt osztrák és bajor területen lehullott több mint 120 mm eső az előzőekre rátorlódo legmagasabb – hetedik – árhullámot indította el. Amikor pedig a Vág áradása június 14-én 20 százalékkal tovább növelte a Duna egyébként is rendkívül nagy vízhozamát, megindult az árvíz elleni küzdelem legválságosabb, de egyben a nagy múltú magyar árvízvédekezés történetének kimagasló ütközete.

A védelem központi irányítását végző Kormánybizottság a veszélyt felismerve, már május elején országos mé-

retű mozgósítást rendelt el. Ahogy nőtt, fokozódott a veszély, úgy fordult az ország figyelve az áradó Duna felé. Megmozdult az ország. Május végén 5-6000, június 8-án már 9000, a válságos fordulatot jelentő hetedik árhullám elindulásától, június 12.-től pedig már 30-40 ezer ember, 12 ezer katona, 21 ezer vízügyi dolgozó és a veszélyeztetett települések sok ezernyi lakója vonult fel nap, nap után a gátakra. Gépek százai, 40 ezer tonnányi kő, 4,2 millió homokzsák, 27 000 acélszádfal-lemez erősítette a teljesen átázott töltéseket. Éjjel-nappal megszakítás nélkül folyt az emberfeletti küzdelem. Napi 12-16 órát, sokszor még annál is többet voltak talpon a védekezők. Sok helyütt az átázott töltéseket már csak a mögéjük rakott homokzsákok és kötömegek tartották.

Baján, az Alsódunavölgyi VIZIG 1965. március 31.-én rendelte el az árvízvédekezés első fokozatát.

Itt az árhullám június 20-án, 976 cm-rel tetőzött. A védekezés pedig – a nagyon lassan apadó vízszint miatt – július 25.-én szűnt meg.

A védelmi rendszer kiépítettsége, biztonsága egyenetlen volt. Voltak szakaszok – elsősorban ott, ahol az 1956-os jeges árvíz volt a mértékadó, ahol még 1-1,5 m méter biztonság volt az árvízszint és a töltéskorona között (pl. Baja felett) és voltak olyan helyek, ahol csak nyűgát tartotta a vizet (pl. Homorúd magasságában). Most azonban a védvonalat a rendkívül magas vízállás mellett eddig még soha nem tapasztalt tartósságú víz támadta. A töltések 102 napig voltak a víznyomásnak kitéve, melynek hatására a Baja és az országhatár közötti 48 km-es szakasznak majdnem a fele átázott, és a mentett oldalon egyre több, összesen 190 buzgár jelentkezett. A vízállás mintegy 5 km hosszban a koronával színel, amiért nyűgát építése vált szükségessé. Elsősorban Újmohács és az országhatár között volt nagyon súlyos a helyzet. Különösen nehéz volt a védekezés azokon a szakaszokon, ahol a töltés mentett oldali lába mellett közvetlenül erdő húzódott, ott még az árvízi jelenségek észlelése is nehézségekbe ütközött. Sokszor egy-egy fa törzse mellett tört fel a buzgár, aminek elfogása nehéz feladatot jelentett.

Az árvízvédekezés egyik legkiemelkedőbb művelete a töltésszakadás veszélyével fenyegető ún. „óriás buzgár” elleni küzdelem volt. Bajától délre, Nagybaracska és Újmohács között a töltés 23,2 km szelvényénél jelentkező koncentrált vízfeltörést csak megfeszített munkával, 90 ezer homokzsák, 30 tonna terméskő és 400 pátria-lemez beépítésével, és egyidejű víz felőli szádfalazással, földterítéssel sikerült hatástalanítani. Valóságos várat kellett építeni az ellennyomó medencében egyre emelkedő víz kivédésére – melynek szintje megközelítette a külső víz magasságát.

Hasonló méretű munkákra a bajai védvonal más szakaszán is sor került. Komoly feladatot jelentett a védekezés a tözege vízáteresztő altalajon épült DVCS töltésén. A bajai Vízügyi Igazgatóság területén összesen 52 helyen, 3 és fél km hosszban épült szádfal. A bajai Duna-szakasz védelmében mintegy ötezer katona, hatszázötven közérő, ötszáz vízügyi szakember, 522 gépjármű és 123 úszójármű vett részt. A védekezők elszállásolása Baján a