



Halmi Ákos, Balatonyi László, Valkay Alexandra Ilona, Czigány Szabolcs, Liptay Zoltán Árpád, Pirkhoffer Ervin

ÚJ MEGKÖZELÍTÉSŰ MEDERFELMÉRÉSI TECHNIKÁK ALKALMAZÁSA KISVÍZFOLYÁSOKON

Absztrakt

Magyarország sekély vízfolyásainak jelentős részén nem történt szonár elvű, medergeometriai felmérés, melynek fizikai/hidrológiai (megfeneklés) és anyagi okai egyaránt vannak. Ezen kutatás egy alacsony költségvetésű, eredetileg rekreációs célú szonárrendszer használatát mutatja be a Dráva magyarországi, hajózással érintett szakaszán.

Kulcsszavak: Szonár, Dráva, Halkereső, PDBS, Interferometria, Mélységmérés

APPLICATION OF A NOVEL, COST-EFFICIENT BATHYMETRIC SURVEY TECHNIQUE ON THE RIVER DRAVA

Abstract

No sonar-based bathymetric surveys have been yet conducted on the majority of the Hungarian watercourses due to various physical/hydrological reasons (stranding) and financial conditions. Current research demonstrates the use of a low-cost, bathymetric sonar, primarily used for recreational purposes, on the River Drava.

Keywords: Sonar, Drava, Fish finder, PDBS, Interferometry, Phase Differencing Bathymetric Sonar, Bathymetry.



1. BEVEZETÉS

Magyarországon a hajózásra alkalmas, illetőleg hajózásra alkalmassá tehető természetes és mesterséges felszíni vizek víziút nyilvánításáról szóló 17/2002 (III. 7.) KöViM rendelet (a továbbiakban: Rendelet) sorolja különféle kategóriákba a víziutakat. Az osztályozás legfőképpen a hajózási úrszelvény alapján történik.

A 2018. augusztus–szeptemberi csapadékszegény időjárás következtében a hazai folyók vízállása több szelvényben is az eddig mért legkisebb érték (a továbbiakban: LKV) alá csökkent. A Duna budapesti szelvényében 1645,5 folyamkilométer (a továbbiakban: fkm) ez az érték 33 cm volt 2018. október 25-én. Az Országos Műszaki Irányító Törzs a 2018. évi, nyári kisvizes időszak alkalmával elrendelte a hajózási szempontból kritikus, összes magyarországi gázló és szűkület felmérését a Dunán, melyek merülés korlátozást okozhatnak a hajóknak. A felmérés végrehajtása idő- és költségigényes feladat, de szükséges és elengedhetetlen előfeltétele az aktuális mederállapotot leíró, megfelelő hajózási térképek elkészítésének. A frissített térképek a biztonságos hajózást szolgálják.

A kisvizes állapot a Dráva teljes hazai – duzzasztásmentes – szakaszára is jellemző volt. A Rendelet a Dráva folyó 198 fkm – 70 fkm-ig terjedő szakaszát II. kategóriájú hajózható víziútba sorolja. A Dráva hajózási kihasználtsága csekély, így erre vonatkozóan a vízi út fenntartója (vízügy területileg illetékes szerve, a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság) kisebb forrást tud allokálni a rendszeres felmérésekre.

Ezen cikkben egy olyan alacsony költségvetésű felmérő rendszert mutatunk be, melynek segítségével a 0,3 méternél mélyebb, kisvizes időszakban sekély folyók, vízfolyások és állóvizek költséghatékonyan térképezhetők, mindamelllett a hajózható víziút felmérését is gyorsabban, költséghatékonyabban szolgálja, amennyiben kompromisszumos lehetőségként erre szükség van.

Vizsgálatainkat a Dráva magyarországi, hajózás által érintett szakaszán végeztük.

Az elméleti-, majd gyakorlati kivitelezés négy szakaszra oszlott:



1. Medergeometria felmérésre alkalmas, kisköltségvetésű szonárrendszer kiválasztása.
2. Csónakra szerelhető, kisméretű felmérőrendszer megtervezése, fizikai kiépítése és az optimális felmérési rend kialakítása.
3. Mérés adatsorainak kiolvasása alkalmas szoftver kifejlesztése, térinformatikai adatkezelési metodikájának kialakítása, az adatsor térképészeti- és térinformatikai feldolgozására.
4. A vizsgált szakaszon a mederfenék domborzati viszonyainak tényleges felmérésére.

2. SZONÁRRENDSZER KIVÁLASZTÁSA

A mederfelmérésre alkalmas szonárok – fizikai működési elvük alapján – három fő családra oszthatók:

5. Egycsatornás (single-beam) mélységmérő rendszerekre,
6. Többcsatornás (multibeam) szonárokra,
7. Interferometrikus, oldalpásztáró (PDBS – Phase Differencing Bathymetric Sonar) batimetriai megoldásokra.

A mélységmérésre alkalmas, aktív akusztikus távérzékelési eljárások közül elsőként az egycsatornás szonárok jelentek meg – nem sokkal az *RMS Titanic* katasztrófája után (Merklinger & Ellis, 2017). Az egycsatornás rendszerek működési elve, hogy egy vízbe merülő hangszugárzó a mederfenék irányába egy rövid ideig tartó, kúp alakban terjedő nyalábot bocsájt ki. A kibocsájtott hangenergia áthalad a vízoszlopon (melyben részben elnyelődik, megtörik és szóródik), kismértékben behatol, de nagyobb részben visszaverődik a mederfenékről, ismét végighalad a vízoszlopon, majd a hangszugárzó közelében (vagy azzal integráltan) elhelyezett hidrofonon regisztrálódik. A vízben mérhető aktuális hangsebesség ismeretében, a visszaérkezés idejét mérve meghatározható a mederfenék hangszugárzótól mért távolsága.

A technológia előnye, hogy fizikai kiépítése és elektronikai megvalósítása igen egyszerű, így a szonárok közül ez a megoldás jelenti a legolcsóbb és egyben a legmegbízhatóbb mélységmérési



eljárást. Az egycsatornás szonárok azonban nem pontszerűen, hanem egy letapogatási kúp alapjáról adnak vissza összegzett mélységinformációt. Ez a viselkedés a hajózás biztonsága szempontjából több előnnyel is jár: a kiterjedt kúp használatával a mélységsökkenés már előre észlelhető, így a megfeneklés elkerülhető; továbbá a szonárt nem kell három tengely mentén stabilizálni és olyan felfüggesztésre rögzíteni, ami mindig pontosan nadír irányban rögzíti a kúpot, mert egy kis kilengés a kúp kiterjedtéje miatt még nem befolyásolja érdemben a leolvasható mélységértékeket.

Ez a viselkedés azonban nem teszi lehetővé a nagy nyílásszögű egycsatornás szonárok batimetriai, térképészeti használatát, mivel a szolgáltatott mélységinformáció egy nagyobb vizsgálati terület legsekélyebb mélységét adja. Ezen probléma kezelésére jelentek meg az egycsatornás szonárok keskeny nyílásszögű kúppal operáló változatai, amelyek jelentősen kisebb kiterjedésű területről szolgáltatnak mélységinformációkat. Ez a megoldás már alkalmas fenékdomborzat térképezésre; ennek megfelelően a magyar vízügyi gyakorlatban is elterjedtek az 1960-as évektől kezdve (Klinghammer & Papp–Váry, 1983), – elsősorban keresztshelvényezési célokra. A pontszerű felmérés hátránya, hogy a mért pontok között nagy kiterjedésű területek mélységviszonyai maradnak ismeretlenek, amely csak óriási úthossz bejárásával csökkenthető. Maga a keresztshelvényezés is csak egy elfogadható úthossz- és mérésszám-minimalizációs eljárásnak tekinthető.

Ez a térképezési eljárás azonban nem hatékony – a vizsgálati terület kiterjedtsége miatt – tengeri környezetekben, pedig a tengeralattjáróktól való félelem a II. Világháború óta jóval precízebb fenékdomborzati térképeket indokolt volna (Kuperman & Roux, 2007). Erre az igényre született válaszként a többcsatornás pásztázó szonártechnológia (U.S.A. Patent No. US3296579A, 1967; L-3 Communications SeaBeam Instruments, 2000), amely a konstruktív- és dekonstruktív interferencia elvén egy széles, de a menetirányba eső komponensénél mérve igen keskeny pásztában ad sűrű mérési láncot. Az eljárás úgy is felfogható, mintha a keresztshelvényeket egymás után sűrűn vennénk fel, anélkül, hogy keresztbe kellene haladnunk. Egy sekélykörnyezeti *mutibeam* felmérési kampányban a felmérés szélessége a vízmélység háromszorosát teszi ki (Caleb, 2005). A többcsatornás rendszerek rendszerint kielégítik a Nemzetközi Hidrológiai Szövetség (*International Hydrographic Organization*, a továbbiakban: IHO)



batimetriai pontosságra vonatkozó („S-44”) szabványait (International Hydrographic Organization, 2008).

Időközben a mélységmérésre megjelent egy másik technológiai irányvonal is: a fáziskülönbség mérés elvén működő batimetrikus szonároké. Fizikai felépítésük igen egyszerű: jobbra, és balra egy-egy menetirányban keskeny, de arra merőlegesen messze elnyúló, legyező alakú pásztát bocsájtanak ki egy hagyományos vízalatti hangforrásból. A visszaverődő hangot azonban oldalanként legalább kettő időmérésre és fázismérésre egyaránt alkalmas hidrofon regisztrálja. A hang kibocsátása és visszaérkezése közt eltelt időből, valamint a visszaérkezett longitudinális hullám fáziskülönbségéből meghatározható a reflektáló objektumok (a mederfenék elemei) iránya és távolsága (Lurton, 2000), mely végül valódi koordinátákká alakíthatók. Az interferometrikus szonárok előnye, hogy letapogatási pásztájuk igen széles – a mindenkori vízmélység tizenkétszeresére tehető (Caleb, 2005). Ezen tulajdonságával ez a szonártípus az, amelyik sekély vízben a legkisebb bejárando úthossz mellett a legnagyobb terület térképzésére alkalmas. Az interferometrikus szonárok fizikai kiépítése egyszerű, cserében az adatfeldolgozás viszonylag nagy elektronikai és szoftveres apparátust igényel. Az eljárás hátránya, hogy a tudományos- és felmérési tapasztalat csekély – a *multibeam* rendszerekkel összehasonlítva (Caleb, 2005). Az interferometrikus szonárok használatakor a mederfenék oldalra tekintő pásztázó (*sidescan*) képe is elkészül, amely a meder adott frekvenciára vonatkoztatott reflektancia viszonyait írja le. Ez a „melléktermék” a későbbiekben mederanyag osztályozásra használható.

A Dráva magyarországi alsó szakaszának felmérésénél figyelembe kellett vennünk, hogy:

- Keletkező ponthalmaz pontsűrűségének és térbeli kiterjedésének érdemben meg kell haladnia a korábbi évtizedben rögzített keresztaszvénnyek pontsűrűségét és lefedettségét.
- Ötven centiméternél sekélyebb részeket is fel kell mérni, partéltől-partélig.
- Hagyományos, hajóra szerelt *multibeam* rendszerekkel a folyó a megfeneklés veszélye miatt nem járható partéltől-partélig.
- Napi vízszintingadozás jelentős.



A folyó sekélységét, változékony medermorfológiáját figyelembe véve egyértelmű, hogy ilyen környezetben az interferometrikus, mélységmeghatározásra képes szonárok használata – elvben – ideális.

A gyakorlati problémát az eszköz beszerzése okozta: a professzionális *multibeam*, vagy interferometrikus rendszerek ára messze meghaladta a rendelkezésre álló költségkeretet, ezért más lehetőségek után néztünk, amely alternatívát a halkereső szonárok világában találtuk meg. A halkereső rendszerek tudományos célú felhasználása időbeli megjelenésükhöz képest hosszú múltra tekint vissza (Hook, 2011; Kæser at al., 2012; Kæser & Litts, 2013; Buscombe at al., 2016; Buscombe, 2017; Greene at al., 2018). Ezen alkalmazásokban azonban közös, hogy a halkereső rendszereknek kizárólag a *sidescan* szolgáltatását használták ki, mivel az interferometrikus mélységmérési technológia csak nem sokkal a kutatásunk megkezdése előtt jelent meg a kommerciális, halkereső rendszerekben (U.S.A Patent No. US 20160259052A1, 2016). Így az interferometrikus technológiával szerelt halkereső rendszerek batimetriai célú használatára – valószínűleg – elsőként tettünk kísérletet.

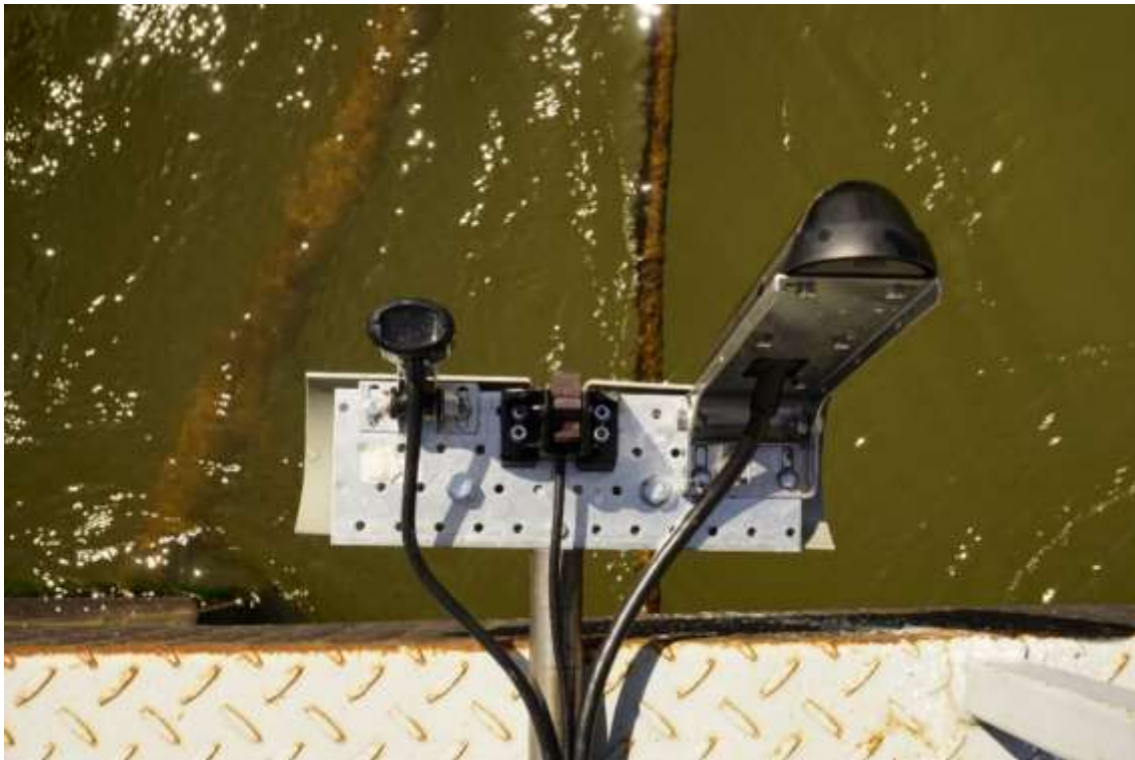
A választásunk több terepi teszt után a Lowrance® StructureScan® 3D halkereső szonárra esett. Ezen halkereső egyidőben szolgáltat interferometrikus-, egycsatornás- és oldalra tekintő pásztázó szonárméréseket és -képeket.

3. A MÉRŐRENDSZER FELÉPÍTÉSE, A MÉRÉS RENDJE

A mérőrendszer központi elemét egy Lowrance® HDS-7" Gen3 Touch kijelző és szonárvezérlő adja (1. ábra), ehhez csatlakozik egy Lowrance® StructureScan® 3D interferometrikus szonárfej; egy Lowrance® HST-WSU 83/200 kHz Skimmer Transducer egycsatornás szonár, egy Lowrance® EP-70R vízsebességmérő (2. ábra) és GeoMax® Zenith35™ Pro Rover, URH és GSM modemmel ellátott RTK+ GNSS (3. ábra). Az áramellátást két közönséges, 45 Ah-s Ca-Ca autóakkumulátor szolgáltatja.



1. ábra. Lowrance® HDS-7" Gen3 Touch kijelző és szonárvezérlő, jobb oldalán a nyitható microSDHC™ kártyahelyekkel. A kijelző bal paneljén az aktuális mérés által lefedett terület látható, bal felső sarkában a pillanatnyi haladási sebességgel, még a jobb panel a csónak alatti mederfenék oldalpásztázó szonárképét mutatja. Ezen panel bal felső sarkában a vízmélység és a víz hőmérséklet is leolvasható.



2. ábra. Balról jobbra: Lowrance® HST-WSU 83/200 kHz Skimmer Transducer egycsatornás szonár; Lowrance® EP-70R vízsebességmérő; Lowrance® StructureScan® 3D interferometrikus szonárfej. A műszerek egy horganylemezre rögzítettek, melynek túoldalán, egy áramlásjavító, $\frac{1}{8}$ körívnyi PVC lap található, úgy hogy a domború fele mutat menetirányba. A kábelek az 1. ábralátható kezelőszervhez tartanak.

A mérőrendszert egy három méteres rudazat köré szerveztük (3. ábra). A rúd tetejébe egy $\frac{5}{8}$ "-es menetre a GNSS került, még a rúd alsó végére az interferometrikus-, valamint az egycsatornás szonárfejet rögzítettük (2. ábra). A két szonárfej közé a lapátkerékes vízsebesség mérő került. A rudat egy katamarán testű AluVu gyártmányú csónak hossz tengelyébe, a csónak orrára szereltük fel, egy levehető és hátra dönthető konzolra. Ezen kiépítés előnye, hogy ezzel a szonárfejek az első eszközök, amelyek a vizet vágják, így a kavitációból és a turbulens áramlások okozta zajból származó akusztikus zavarok minimalizálhatók (Kæser & Litts, 2013). A szonárfejek merülése a mérés során 40 centiméter volt. A rúd felső végén, a vízvonallal felett 2,6 méteres magasságban a GNSS ül, ezzel az elrendezéssel a kitakarás és az RTK jelvesztés elfordulása minimalizálható.



3. ábra. A mérőrendszer felépítése. A rudazat három méter hosszú, tőben hátra hajtható, közepén szétcsavarható. Tetején egy GeoMax® Zenith35™ Pro Rover ül, az alsó, vízbe merülő részén pedig a 2. ábrán látható szenzorok vannak. A kábelek a vezető állásban lévő központi kezelőszervhez tartanak (1. ábra).

A rúdra szerelt eszközökből a kábelek a vezetőállásban rögzített, Lowrance® HDS-7" Gen3 Touch kijelzőhöz futnak (1. ábra). Ezen központi kezelőeszköz három feladatot lát el:

1. A rendszer elsődleges feladata a szonármérések rögzítése, amely a Lowrance® zárt felépítésű „SL3” fájljaiba történik. A kezelőeszköz jobb oldalán két microSDHC™ kártyahely van (1. ábra), amelyekben egy-egy legfeljebb 32 GiB-os kártyát tehetünk.
2. A kijelző másodlagos célja a navigáció megkönnyítése, így az előző felmérési pásztára történő ráfordulás és hézagmentes felmérés segítése.
3. Harmadlagosan – adatbiztonsági és adatfeldolgozási okokból – a GNSS helymeghatározási adatait a szonárfájltól függetlenül, külön is rögzítjük. (Lowrance® USR4 formátumban.)



A szonár által belátott effektív nyílásszög $2 \times 70^\circ$, ez négyméteres, átlagosnak feltételezett vízmélység esetén megközelítőleg 22 méter széles, sűrűn mintázott keresztaszvénnyeket ad.

Az átlagos mederszélesség figyelembe vételével, közben a bejárando úthossz minimalizálására törekedve a keskeny- és az átlagos szélességű mederrészek esetében öt hosszirányú pásztát készítünk az alábbi eljárásrend szerint:

1. A bal part mentén, folyásiránnyal szemben felhajózunk a parttól olyan messze, hogy az oldalra tekintő szonár képének szélén éppen megjelenjen a partél. Praktikusán úgy kell a part mentén végig haladni, hogy a víz és a szárazföld határát jelző fekete sáv az oldalra tekintő szonár képen, a jobb oldali panel $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{5}$ -e környéken ingadozzon. Ez a zóna azt a térrészt jelöli, honnan már nem érkezik visszaverődő hangenergia – mivel a vízborítottság megszűnik. Ezzel a felmérési terület vesztesége még nem jelentős, de a rögzített szonárképen még a partél is látható, miközben a hajóvezető is elég időt kap, hogy a part kilengéseit követhesse.
2. A jobb part mentén, folyásiránnyal megegyezően lehajózunk, az előző pontban leírtak figyelembe vételével.
3. A bal part és a sodorvonal között felhajózunk.
4. A sodorvonalban lehajózunk. Szükség esetén – például ha szigetek vannak a folyóban – ettől a sorrendtől el lehet térni, de ideális olyan sort összeállítani, amelyben a sodorvonal, vagy a sodorvonal környéke egy lefelé eső ágba esik, mert ezzel a relatív közegsebesség a szonárfej környezetében minimalizálható. A magas közegsebesség rendszerint örvények és légbuborékok vízbejutásával, valamint a tartóállványzaton keletkező zajjal jár. Ezek a hatások rontják a szonár jel-zaj viszonyát és az oldalra tekintő pásztázó szonárképeken jellegzetes, a hajó billegéséhez hasonló, szimmetrikusan megjelenő, sötét csíkokat eredményeznek – ritkán fehérzajjal.
5. A jobb part és a sodorvonal között felhajózunk.
6. Ha a folyó szélessége átlag feletti, a középső sávok eltolhatók úgy, hogy egyenletesen lefedjék a fennmaradó területet, miközben a sodorvonal mellett legközelebb elhaladó ág lefelé fusson.



Amennyiben az idő és/vagy az üzemanyagköltség kevésbé korlátozza a vizsgálatot, a közegáramlásból származó zajok – és az ebből fakadó mérési hibák – akkor csökkenthetők a leghatékonyabban, hogyha kihagyjuk a folyásiránnyal szemben haladó ágakat és csak lefelé szonározunk, majd a pászta végeztével a szonárt kiemeljük, és nagy sebességgel visszahajózzunk a kezdőpontra, és ott az előző nyomvonalunkkal párhuzamosan új mérési szakaszt kezdünk; végig haladunk az új pásztán, majd ismét kiemelt szonárral visszahajózzunk – és ezt addig ismétéljük, még el nem érjük a kellő lefedettséget.

4. MÉRÉSI ADATSOROK KIOLVASÁSA ÉS FELDOLGOZÁSA

A Lowrance® szonárok interferometrikus batimetriai adatsoraikat a Navico Inc. által fejlesztett, zárt felépítésű, „SL3” konténerformátumba mentik. Több kereskedelmi- és szabadszoftver (SonarTRX®; ReefMaster®; SonarWiz®; SonarLogAPI) képes ezen fájlokból a hagyományos szonártermékeket kiolvasni (pl.: *sidescan*; *DownScan*™), de az interferometrikus batimetriai adatok kiolvasására a kutatás kezdetekor csak a SonarWiz® volt – korlátozottan – képes (Chesapeake Technology, Inc, 2016). A szoftver árfekvése miatt azonban lehetetlenné tenné az alacsony költségvetés tartását: a szoftver árából már jól dokumentált formátumú, professzionális szonárok is vásárolhatók.

Ezért az adatfeldolgozásra csak egy út maradt: saját kiolvasó szoftvert fejlesztettünk. Az alkalmazást Microsoft® .NET Framework 4.7.2-es keretrendszerben, kezdetben Visual Basic™ .NET, majd C#™ 7.3 nyelven írtuk. Az alkalmazás a vektorosnak tekinthető adatok esetében két kimenet-típust támogat: bináris és ASCII kimenetet. A bináris kimeneti formátum egy objektumrelációs geodatbázis, amelyet az (Apache 2.0 licencű) ESRI™ File Geodatabase API 1.5.1 segítségével exportáltunk. A raszteres adatok exportálásához az ESRI™ ASCII-t és a TIFF (Tagged Image File Format) formátumot választottuk.

Az alkalmazásunk az SL3 és az USR4 fájlokból az alábbi kimeneteket képes exportálni:



- A szonár geodéziailag helyes útvonalát Lowrance® Mercator vízszintes- és EOMA függőleges vonatkoztatási rendszerben, néhány metaadattal kiegészítve (vízhőmérséklet, mérés dátuma, valódi- és mágneses kurzus, haladási sebesség)
- A középponti, egycsatornás szonármérésből származó mélységértékeket relatív- (vízszinthez viszonyított) és abszolút EOMA magassági értékekben.
- Az interferometrikus mérésből származó virtuális keresztshelvény adatokat abszolút magassági értékekkel. Az interferometrikus adatsor nyílásszöge (így az adott mélységnél elérhető keresztshelvény szélesség) a helyi függőlegeshez viszonyítva $2 \times \pm 0 - 90^\circ$ között szabadon állítható, azzal a megkötéssel, hogy a mérési pontosság $\pm 70^\circ$ -on túl jelentősen csökken. A shelvény menetirányra merőleges felbontása $\pm 70^\circ$ -ig $\sim 0,3$ m. A haladás irányába eső felbontás 0,09 és 0,15 méter közt ingadozik.
- A raszteres szonártermékeket (oldalpásztázó szonár, *DownScan*™, elsődleges- és másodlagos egycsatornás szonogramok) ESRI™ ASCII és tfw (TIFF World File) fájlal ellátott TIFF állományokként, állítható horizontális-, vagy vertikális túlmagasítással.

Az exportált adatsorok összeillesztéséhez és utófeldolgozásához és kartovizualizációjához ESRI™ ArcGIS® Pro 2.2.3-at használtunk. A fenékdomborzat interpolációjához az ANUDEM függvény (Hutchinson, Xu, & Stein, 2011; ESRI Inc., 2018) süllyedékek kialakulását engedélyező változatát használtuk.

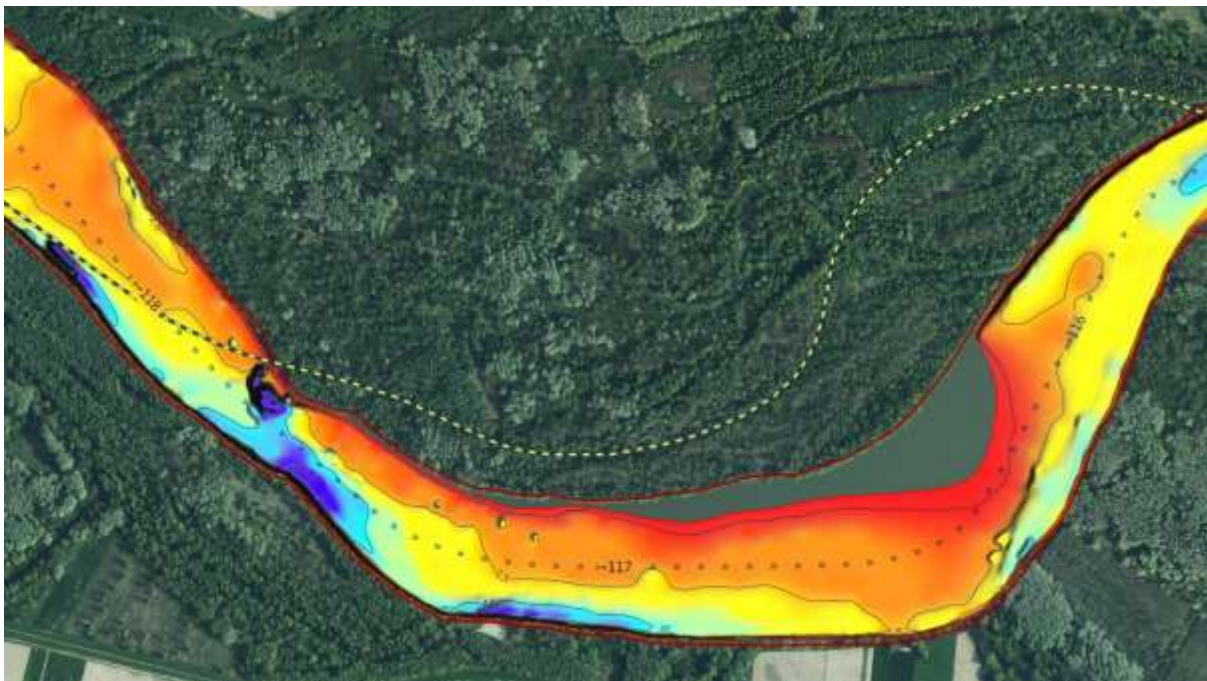
5. A MEDERFENÉK DOMBORZATÁNAK ÉS FELSZÍNBORÍTOTSÁGÁNAK FELMÉRÉSE

A Dráva hajózás által érintett szakaszának felmérését a területileg illetékes Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság munkatársai végezték az általunk kiépített eszközzel, a kutatócsoportunk által kialakított felmérési rend alapján. A kapott adatsor feldolgozásával elkészítettük a vizsgálati

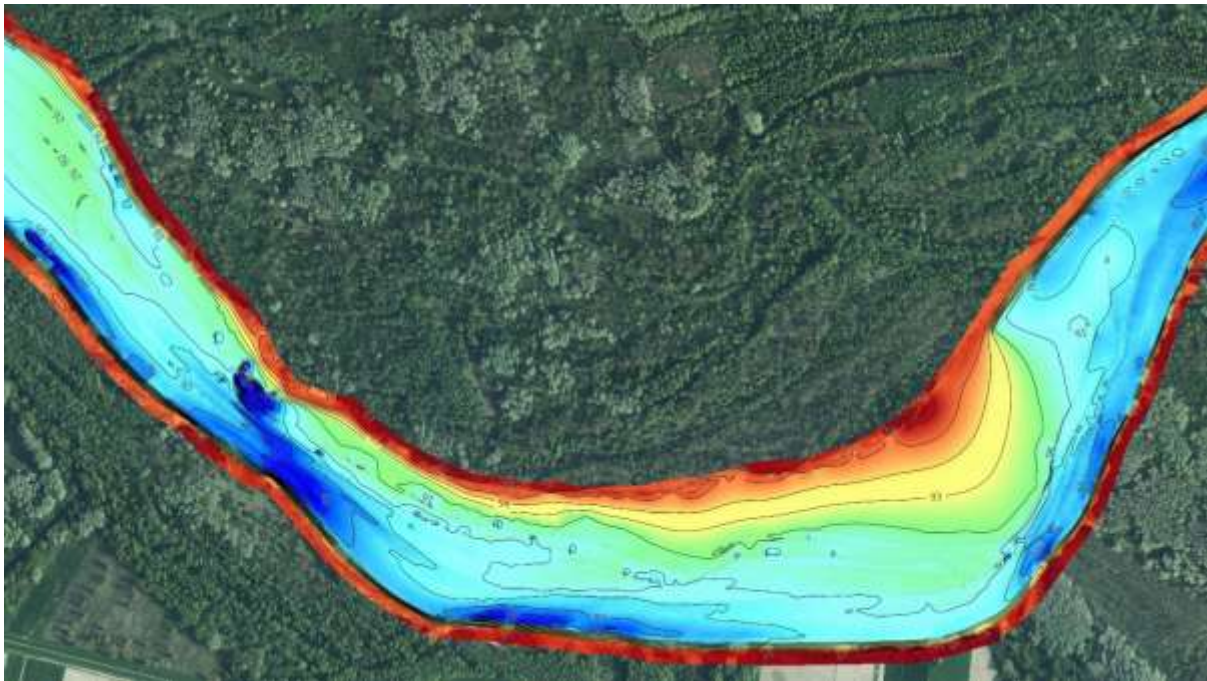


terület hajózási kisvízszintre normált, relatív mélységtérképét (4. ábra), illetve abszolút tengerszint feletti magasságot leíró domborzatmodelljét egyaránt (5. ábra). A kapott domborzati modell 1×1 méter felbontású, EOY/EOMA vonatkoztatási rendszerű, 32-bites raszter.

Hidrológiai modellezési vizsgálatok céljából a fenékdomborzat ismerete nem feltétlenül elegendő, mert nem fedi le az árvízi lefolyást meghatározó medren kívüli domborzati viszonyokat. Ez az adatsor azonban egy korábbi LiDAR felméréséből rendelkezésre állt, így a két adatforrást egy ismételt ANUDEM futtatással szakadásmentesen összeolvastottuk a meder 25 méteres körzetében (5. ábra).

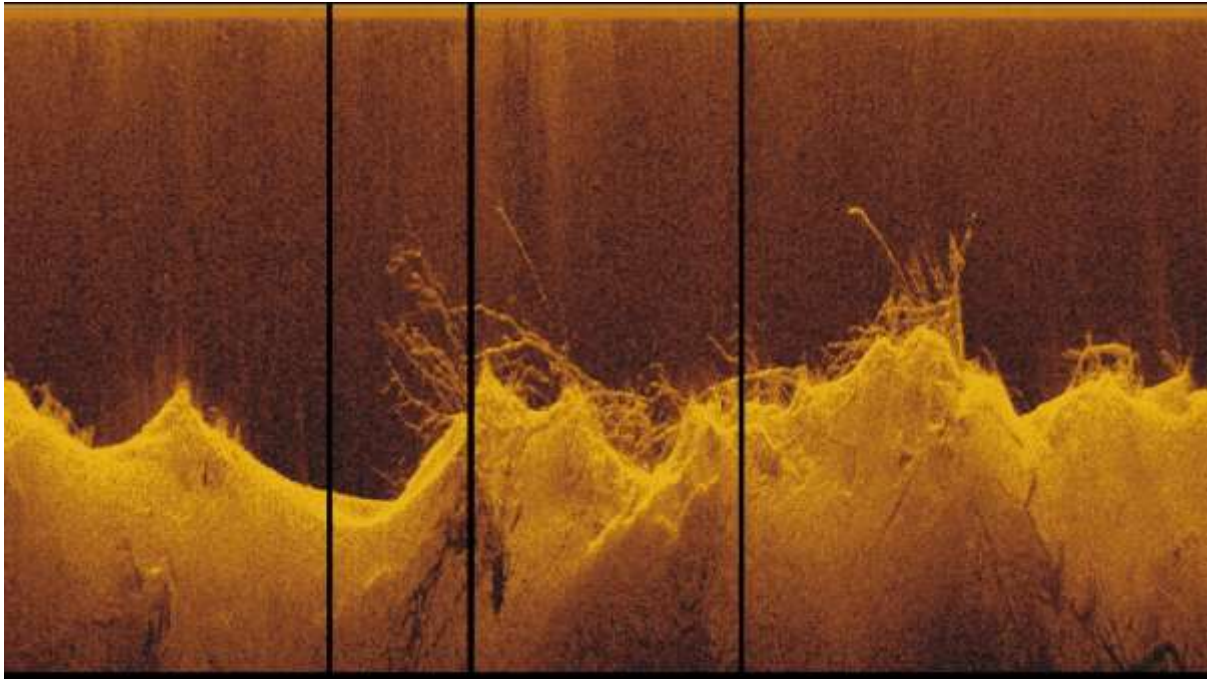


4. ábra. A vizsgálati terület hajózási kisvízszinttől számított relatív mélysége 115+500 és 118+500 fkm között. A piros árnyalatok a veszélyesen sekély, a kék árnyalatok a biztonságos, nagy mélységű területeket jelölik. A szintvonalköz 2,5 m, az első szintvonal $-0,5$ métertől indul. A fáradt vörös vonalak a mederkitöltő vízszinthez tartozó partélet jelölik. A fekete-sárga szaggatott vonal az országhatár (északon Magyarország, délen Horvátország).

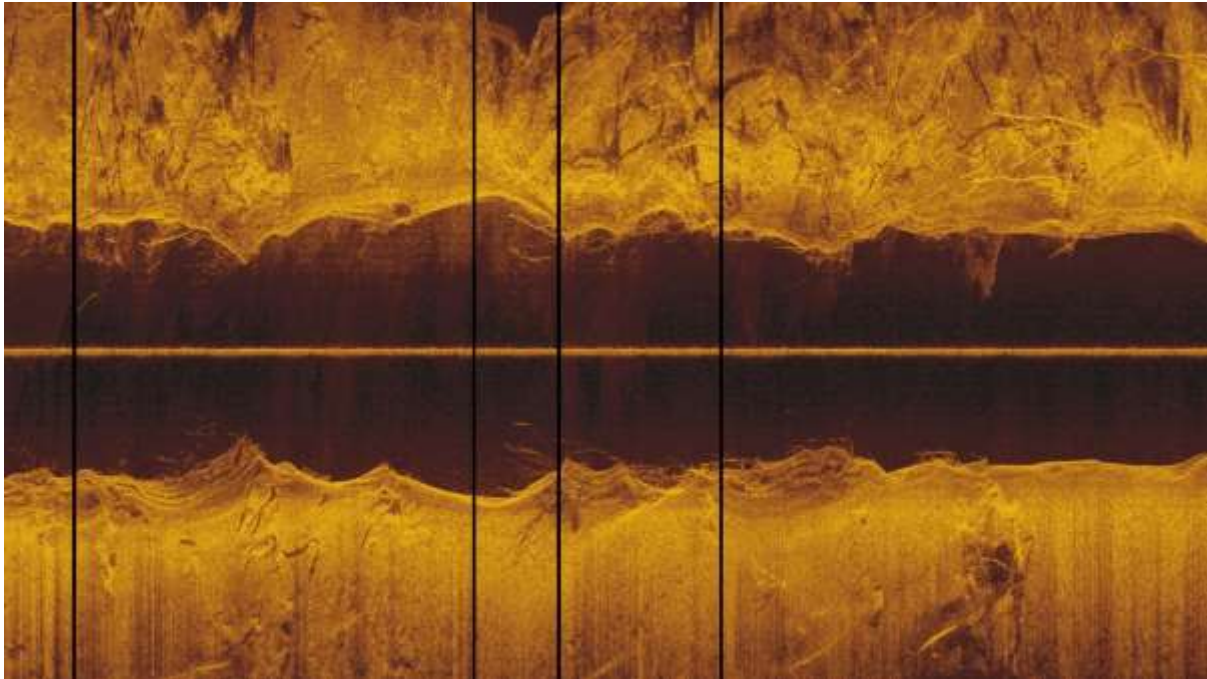


5. ábra. Abszolút, EOMA magasság, 25 méteres „szárazföldi” pufferzónával.

Az interferometrikus halkeresők használatának további előnye, hogy a domborzati adatsor mellett oldalpásztázó- és *DownScan*TM szonárképeket is kapunk, amelyeken a hajózást zavaró, vagy veszélyeztető objektumok felismerhetők (6. ábra, 7. ábra).

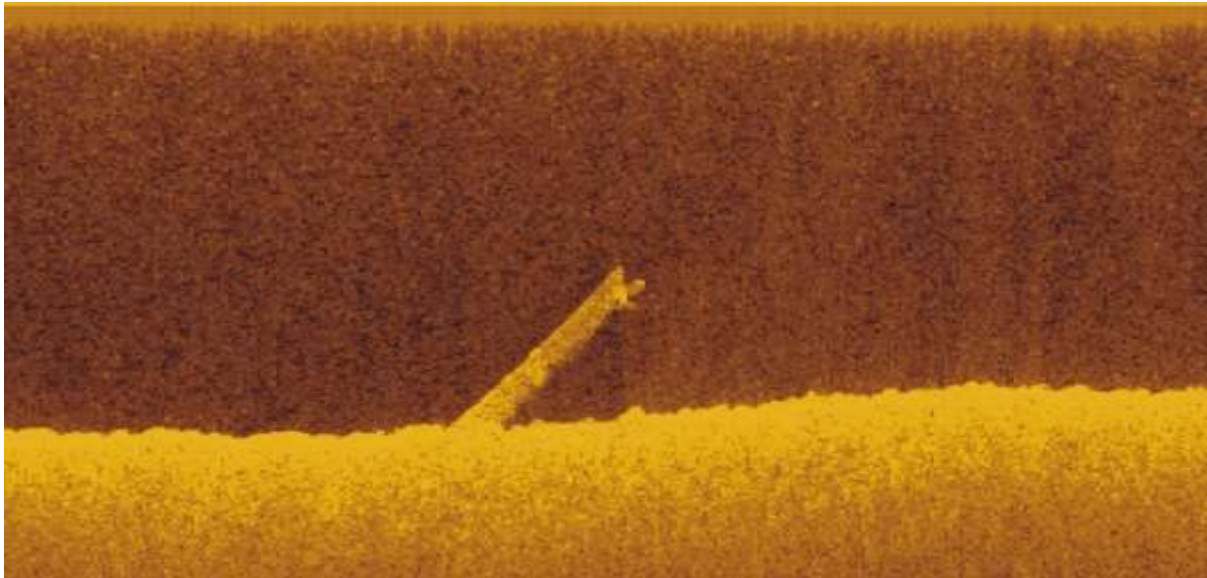


6. ábra. DownScan™ felvétel a fenékre süllyedt uszadékfákról, gallyakról és ágakról a Dráván (K. h.: $18^{\circ} 22,058'$, É. sz.: $45^{\circ} 42,423'$; Oldtól délre, Horvátország területén). A kép keresztirányú kiterjedése 198 méter, függőleges kiterjedése 10 méter (felső éltől alsó élig: a meder ennél sekélyebb). A magassági viszonyok tízszeresen torzítottak. A függőleges fekete csíkok helyén nem érkezett vissza elegendő hangenergia a hiteles méréshez.



7. ábra. Az előző ábrával megegyező helyen készült oldalpásztazó szonárfelvétel. A két szonártechnológia eltérései miatt ezen ábra méretaránya kisebb: a kép keresztirányú hossza 330 méter. A középső, sötét csík a szonár alatti vízszlopot jelöli. Itt az uszadékok oldalnézetben, perspektivikusan láthatók.

A Dráván az uszadékfák és más természetes eredetű akadályok igen gyakoriak, melyek kellő tapasztalattal kikerülhetők. Néhány objektum azonban nem várt helyen bukkanhat fel a mederben (8. ábra). Az ábrán látható objektum $4,4^\circ$ -al, 1,4 méterre áll ki a környező homokkal borított sík területből.



8. ábra. Ismeretlen eredetű, mesterségesnek látszó, 1,4 méterre kiálló objektum a Dráván (K. h.: $17^{\circ} 38,855'$, É. sz.: $45^{\circ} 51,828'$; Szentborbástól nyugatra). A DownScan™ felvétel keresztirányú kiterjedése 115 méter, a függőleges túlmagasítás tízszeres.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A halkereső rendszerek – és ezen belül az interferometrikus mélységmérésre alkalmas szonárok – megjelenésével a szonártechnológia is bejárta az elektronikai iparágakban oly jellemző életutat: a kezdetben katonai-, majd professzionális kutatási célú eszközökből hozzáférhető árfekvésű, széles körben elérhető, rekreációs célú, kereskedelmi termékek lettek. A szonárok esetében az árakkal együtt csökkent az eszközök mérete, sérülékenysége, de ezzel egyidőben üzemeltetésük is egyre könnyebb. Ezért sekély víztestek felmérésére – ahol a professzionális szonárok nem elérhetők, vagy nem üzemeltethetők biztonságosan – a módosított halkereső rendszerek rendre felbukkannak tudományos és felmérési céllal egyaránt. Ez azonban idáig csak a *single-beam* és a *sidescan* szonárokra terjedt ki. Kutatócsoportunk Magyarországon először alkalmazott interferometrikus, mélységmérésre alkalmas halkereső szonárt, amelynek segítségével felmérésre került a 2018. évben a Dráva folyó hajózás által érintett szakasza. A kapott medergeometria nem csak a hajózás szempontjából nyújt hasznos információkat, de közvetlenül használható hidrológiai modellezésre és segíti a vízi túrázókat, kenusok navigációját is.



A módszer lehetőséget biztosít sekély, hajózásra alkalmatlan hegy- és dombvidéki vízfolyások felmérésére is.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezen kutatás nem születhetett volna meg a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság kollégái – GYÖRGY Zsolt ügyintéző, VRÁNICS Tibor vízrajzi ügyintéző, BALÁZS György hajóvezető és MIHÁLYEVICS Tamás műszaki ügyintéző segítségével.

A kutatás a 20765/3/2018/FEKUTSTRAT számú „Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program” című projekt „Innovációval a fenntartható életért, környezetért” tématerület, valamint a GINOP-2.3.2-15-2016-00055 számú projekt támogatásával készült.



IRODALOMJEGYZÉK

Buscombe, D. (2017). Shallow water benthic imaging and substrate characterization using recreational-grade sidescan-sonar. *Environmental Modelling & Software*, 89, 1-18. doi:10.1016/j.envsoft.2016.12.003

Buscombe, D., Grams, P., & Smith, S. (2016). Automated Riverbed Sediment Classification Using Low-Cost Sidescan Sonar. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(2), 1-7. doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001079

Caleb, G. (2005). *Efficacy of an interferometric sonar for hydrographic surveying: Do interferometers warrant an in depth examination?* Silver Spring, Maryland, U.S.A.: NOAA's National Ocean Service, Office of Coast Survey, Hydrographic Surveys Division. Letöltés dátuma: 2017.05.06, forrás: http://ushydro.thsoa.org/hy05/08_4.pdf

Chesapeake Technology, Inc. (2016). SonarWiz Quarterly Highlights - 2016 Q2. (Revision 1.0, 7/22/2016), 17. Mountain View, California, U.S.A.: Chesapeake Technology, Inc. Letöltés dátuma: 2018.10.26, forrás: https://2ughld46mlgtlarvat2ix2d8-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/01/2016_Q2_Highlights.Rev1_.pdf

ESRI Inc. (2018). *How Topo to Raster works*. (ESRI Inc.) Letöltés dátuma: 2018.10.27, forrás: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-topo-to-raster-works.htm>

Farr, H., Frelich, P., & Curtis, R. (1967). *U.S.A. Patent No. US3296579A*. Letöltés dátuma: 2017.06.01, forrás: <https://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/500d3a89fdf98e948b8b/US3296579.pdf>

Greene, A., Rahman, A., Kline, R., & Rahman, M. (2018). Side scan sonar: A cost-efficient alternative method for measuring seagrass cover in shallow environments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 207, 250-258.



Hook, J. (2011). *Sturgeon Habitat Quantified by Side-scan Sonar Imagery*. Athens, Georgia, U.S.A.: University of Georgia. Letöltés dátuma: 2017.08.21, forrás: https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwir8sm2gOjVAhUGPFAKHfCiAwIQFgglMAA&url=https%3A%2F%2Fgetd.libs.uga.edu%2Fpdfs%2Fhook_john_d_201105_ms.pdf&usg=AFQjCNEXTTSZtZDr3E4SkOa-AmvvoM-Daw

Hutchinson, M. F., Xu, T., & Stein, J. A. (2011). Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure. In T. Hengl, I. S. Evans, J. P. Wilson, & M. Gould (szerk.), *Geomorphometry 2011* (old.: 19-22). Redlands, California, U.S.A. Letöltés dátuma: 2018.10.27, forrás:

<http://geomorphometry.org/system/files/HutchinsonXu2011geomorphometry.pdf>

International Hydrographic Organization. (2008, február). IHO Standards for Hydrographic Surveys – Special Publication № 44. (5.). Monaco, Principauté de Monaco: International Hydrographic Bureau. Letöltés dátuma: 2018.07.16, forrás: https://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-44_5E.pdf

Kæser, A. J., & Litts, T. L. (2013). *An Illustrated Guide to Low-cost, Side Scan Sonar Habitat Mapping*. Panama City, Florida, U.S.A.: U.S. Fish and Wildlife Service.

Letöltés dátuma: 2018.03.02, forrás:

<https://www.fws.gov/panamacity/resources/An%20Illustrated%20Guide%20to%20Low-Cost%20Sonar%20Habitat%20Mapping%20v1.1.pdf>

Kæser, A., Litts, T., & T., W. T. (2012). Using Low-Cost Side-Scan Sonar For Benthic Mapping Throughout The Lower Flint River, Georgia, USA. *River Research and Applications*, 29(5), 634-644. doi:10.1002/rra.2556

Kirmani, S. (2016, 09 08). *U.S.A Patent No. US 20160259052A1*. Letöltés dátuma 2017.05.06, forrás:

<https://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/207ce971bae1d37bae02/US20160259052A1.pdf>



- Klinghammer, I., & Papp–Váry, Á. (1983). *Földünk tükre a térkép* (1. kiad.). Budapest, Magyarország: Gondolat Könyvkiadó.
- Kuperman, W., & Roux, P. (2007). Underwater Acoustics. In T. Rossing (Ed.), *Springer Handbook of Acoustics* (pp. 149-204). New York, New York, U.S.A.: Springer Science+Business Media. doi:10.1007/978-0-387-30425-0_5
- L-3 Communications SeaBeam Instruments. (2000). *Multibeam Sonar – Theory of Operation*. East Walpole, Massachusetts, U.S.A.: L-3 Communications SeaBeam Instruments. Letöltés dátuma: 2017.06.05, forrás: <https://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/MB-System/sonarfunction/SeaBeamMultibeamTheoryOperation.pdf>
- Lurton, X. (2000). Swath Bathymetry Using Phase Difference: Theoretical Analysis of Acoustical Measurement Precision. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 25(3), 351-363.
- Merklinger, H., & Ellis, D. (2017). Fessenden and Boyle: Two Canadian sonar pioneers. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 30(1), 1-20. doi: 10.1121/2.0000564



Halmai Ákos, tanársegéd, Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajzi és Földtudományi Intézet, Térképészeti és Geoinformatikai Tanszék

Ákos Halmai, assistant lecturer, Department of Cartography and Geoinformatics, Institute of Geography and Earth Sciences, Faculty of Sciences University of Pécs

orcid.org/0000-0001-5722-8119

halmaia@gamma.ttk.pte.hu

http://foldrajz.ttk.pte.hu/munkatars/halmai_akos

Dr. Balatonyi László, Ph.D., adjunktus, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Intézet

Dr. László Balatonyi, Ph.D., senior lecturer, Institute for Hydraulic Engineering and Water Management, Faculty of Water Sciences, National University of Public Service

orcid.org/0000-0001-5130-730X

balatonyi.laszlo@ovf.hu

Valkay Alexandra Ilona kutatási asszisztens, Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajzi és Földtudományi Intézet, Térképészeti és Geoinformatikai Tanszék

Alexandra Ilona Valkay, research assistant, Department of Cartography and Geoinformatics, Institute of Geography and Earth Sciences, Faculty of Sciences, University of Pécs

orcid.org/0000-0002-8944-4825

valkays2@gamma.ttk.pte.hu

Dr. habil. Czigány Szabolcs, Ph.D., docens, Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajzi és Földtudományi Intézet, Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék

Dr. Szabolcs Czigány, Ph.D., associate professor, Department of Physical and Environmental Geography, Institute of Geography and Earth Sciences, Faculty of Sciences, University of Pécs

orcid.org/0000-0002-9158-3162

sczigany@gamma.ttk.pte.hu



Dr. Liptay Zoltán Árpád, Ph.D., kiemelt műszaki referens, Országos Vízügyi Főigazgatóság,
Országos Vízeljáró Szolgálat

Dr. Zoltán Árpád Liptay, Ph.D., hydrological assistant, Hungarian Hydrological Forecasting
Service, General Directorate of Water Management

orcid.org/0000-0001-8984-9366

Dr. habil. Pirkhoffer Ervin, Ph.D., docens, Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi
Kar, Földrajzi és Földtudományi Intézet, Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék

Dr. Ervin Pirkhoffer, Ph.D., associate professor, Department of Physical and Environmental
Geography, Institute of Geography and Earth Sciences, Faculty of Sciences, University of Pécs

orcid.org/0000-0003-2917-3290

pirkhoff@gamma.ttk.pte.hu