

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Kisköltségvetésű, batimetriai szonárrendszerek
használhatóságának vizsgálata folyóvizekben

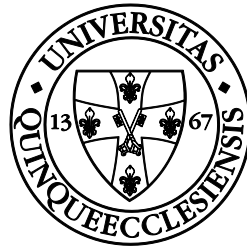
Készítette:

HALMAI Ákos

Témavezető:

Dr. KONRÁD Gyula

Dr. PIRKHOFFER Ervin



TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

Pécs, 2019.

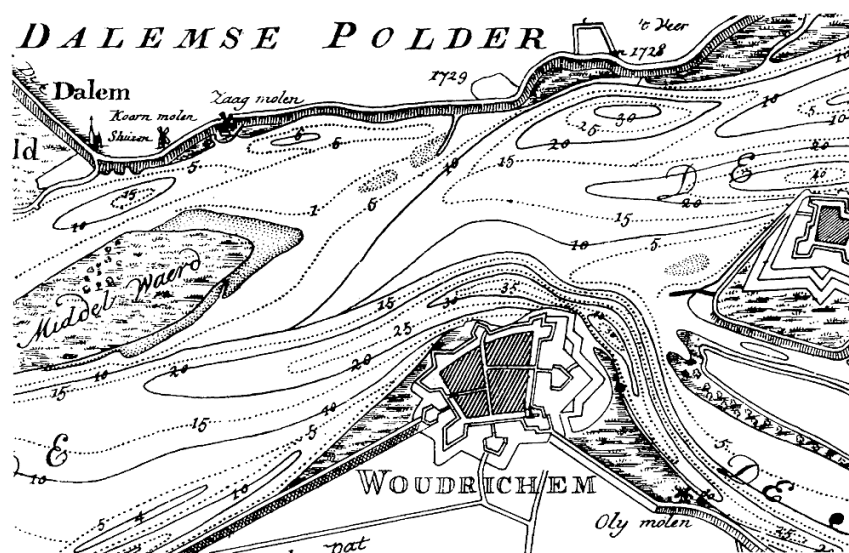
A doktori iskola neve:	Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földtudományok Doktori Iskola
Vezetője:	Dr. GERESDI István, D.Sc., egyetemi tanár PTE TTK Földrajzi- és Földtudományi Intézet Földtani- és Meteorológiai Tanszék
A doktori témacsoport neve:	Természeti földrajz és tájértékelés
Vezetője:	Dr. LÓCZY Dénes, D.Sc., egyetemi tanár PTE TTK Földrajzi- és Földtudományi Intézet Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék
Az értekezés tudományága:	Természeti földrajz
Témavezetők:	Dr. KONRÁD Gyula, C.Sc., nyug. egyetemi docens PTE TTK Földrajzi- és Földtudományi Intézet Földtani- és Meteorológiai Tanszék
	Dr. PIRKHOFFER Ervin, Ph.D., egyetemi docens PTE TTK Földrajzi- és Földtudományi Intézet Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék

1 Bevezetés

A vizek mélységviszonyainak rendszeres térképezése – más geodéziai eljárásokhoz képest viszonylag későn – a nagy földrajzi felfedezések korában jelent meg, amikor a nagymerülésű és nagy értékű árut szállító hajók biztonságos kikötéséhez egyre fontosabbá vált a tenger-, vagy mederfenék pontos ismerete. Ez az időszak a kartográfia egyik aranykora is egyben. Ezidáig a kikötőkben és a kikötőket környező vizekben mérőbotokat és kötélre rögzített súlyokat használtak a mélység meghatározására.

A mélységmérés és a domborzatábrázolás történetében az első áttörés Pieter BRUINSS-hoz köthető, aki a *Spaarne* folyó torkolatában 1584-ben olyan térképet készített, ahol egy merőben új kartográfiai technológiát alkalmazott: úgy ábrázolta a vízjárta területet, hogy az *azonos mélységű pontokat szaggatott vonallal kötötte össze*, mellyel kijelölte a folyónak a „7 láb”-nál mélyebb részeit. Ezek a vonalak az *izobatok* egyszerű megjelenési formái.

Később, ezen kartográfiai „technológiának” már népszerűsítője is lett: 1730-ban megjelent Nicolaas Samuel CRUQUIUS (1678–1754) rézmetszett térképe, amely már minden tekintetben izobat- és hajózási térkép is egyben (1. ábra).



1. ábra. Nicolaas Samuel CRUQUIUS izobat térképe a Maas és a Waal közös torkolatának környékéről. Az eredeti mértarány körülbelül 1 : 110 000 volt, 10 lábanként felvett főszintvonalakkal, köztük felezőszintvonalakkal. A homokpadok külön jelöltek, mint ahogy az erdők, mocsaras részek, meredek partok és a védművek is. A mélységértékeket 1729-ben, apály idején rögzítették. A térkép domborzatrajza hibrid: a mélységviszonyok valódi felülnézeti ábrázolások, míg a védművek egy része pedig madártávlati ábrázolásmód szerinti. A szintvonalmegírások talpa még nincs lejtésirány szerint elforgatva.

Az 1800-as évek elejétől ezek a mélységvonalak léptek ki a felszínre és terjedtek el a még ma is használatos *szintvonalas* térképekként.

Az ekkortájt fellendülő mélységmérési kampányok elsősorban a tengerparti-, partközeli vizetekhez kötődtek; a folyóvízi mélységmérések csak a folyami gőzhajózás megindulásával és a folyamszabályozások kezdetével jelentek meg.

Az alkalmazott geodéziai eljárások időközben sokat finomodtak, de a batimetria történetének második fordulatát egy 1912-es hajószerecsétlenség, az *RMS Titanic* elsüllyedése hozta el.

A *Titanic* elsüllyedése után nem sokkal Lewis Fry RICHARDSON (1881–1953) benyújtott egy szabadalmat, amely címe szerint egy olyan „*Készülék, amely képes a hajókat figyelmeztetni, ha nagy méretű objektumokhoz közelednek...*”. A szabadalomban leírt eszköz egy korai, aktív távérzékelési rendszer volt, amely a hajók fedélzetéről kibocsájtott hanghullámok visszaverődéséből következtetett a veszélyt jelentő, *vízen úszó* tárgyak közeledtére – akár sűrű ködben is. Ezt a szabadalmat nem sokkal később egy második is követte: ez már egy olyan megoldást írt le, amelynek segítségével (közvetve) már a *vízmélység is meghatározható*.

Sok kutatási előzmény után, majd számos fejlesztést követően RICHARDSON ezen szabadalmában leírt gondolat alakult át a ma is használt, digitális szonárrendszerekké. A szonár megjelenésével a tengeri batimetriának lezárult egy mérés technikai korszaka: a mechanikus mérőeszközök távérzékelési eljárásokká alakultak.

A szonárrendszerek intenzív fejlesztését a világháborúk, majd a hidegháború hozta el – szinte végig a tengeralattjáróktól való félelem jegyében.

Időközben a hagyományos mélységmérő szonárokat felváltották a térképezésre-, a mederfenék reflektanciájának, vagy anyagi minőségének vizsgálatára is alkalmas megoldások.

Az eredetileg katonai alkalmazások lassan átszivárogtak az üzleti és a tudományos szférába is; de egy jellegzetességüket azért megőrizték: a szonár-elvű mélységmérés elsősorban a tengerek és az óceánok partközeli területeinek térképezéséhez kötődött – és kötődik mind a mai napig. A szonárok megjelenéséből a földtudományok is sokat profitáltak: a mélytengeri árkok és az óceánközépi hátságok megismerése; valamint számos szeizmikus elemzési és tomográfiai eljárás kötődik a szonártechnológiához.

A tengeri mélységmérésre kifejlesztett szonárok nagy méretű, nagy értékű és nagy pontosságú eszközök, így viszonylag nehezen hozzáférhetőek és ezen korlátok miatt nehezen alkalmazhatók sekélyvizekben.

A szonárgyártók azonban felfedezték maguknak időközben egy új piaci szegmenst: a *hobbihorgászok szegmensét*, akiknek a korábban professzionális technológiákat egyszerű (és egyszerűsített) *halkereső rendszerekként kezdték árulni*.

Az így piacra került eszközök mind árukban, mind méretükben, mind kezelésükben egy sokkal *elérhetőbb és praktikusabb* alternatívát jelentenek, miközben pontosságuk nem csökkent olyan mértékben, mint amennyire ez az árkülönbségekből következne.

Ezen eszközökkel már el lehet szakadni a szonárok klasszikus használati területétől, és a szonárvizsgálatok olyan környezetekben is elérhetővé váltak, ahol korábban elképzelhetetlen lett volna egy nagy méretű professzionális szonárt bevetni; így sekély és/vagy gyorsodrású folyóvizekben és kiskiterjedésű állóvizekben. Ezzel a szonárok is bejárták az elektronikában hétköznapi „katonai fejlesztés → professzionális felhasználás → kereskedelmi terméké válás” életútját.

Ezeket az egyszerű halkereső rendszereket sorra fedezték fel maguknak a hidromorfológia, vagy a hidrobiológia tárgykörében kutatók és nagy számban jelentettek meg cikkek ezen szonárok gyakorlati felhasználhatóságáról, pontosságvizsgálatáról és kiemelt adataik feldolgozásáról.

Ezen cikkekben azonban egy valami közös: *kizárólag az oldalra tekintő, pásztázó szonárképek feldolgozásával, végső soron a fenékdomborzat reflektanciájának térképezésével foglalkoznak*, és a mélység pontos meghatározását csak a szonár alatti területekre korlátozzák, így az ezekben a vizsgálatokban leírt módszerek, a használt eszközök műszaki korlátaiból fakadóan *nem használhatók nagyobb kiterjedésű területek fenékdomborzatának tényleges feltérképezésére*.

Nagy kiterjedésű területek mélységviszonyainak felmérésére a többcsatornás és az interferometrikus szonárok alkalmasak.

2016-ban az interferometrikus méréstechnológia a halkereső rendszerekben is elérhető lett, immáron szabadalmaztatott formában; így egyes halkeresők elviekben alkalmassá váltak a szonár 140–170°-os nyílásszögű környezetének, sűrűn rögzített, keresztshelvény szerű térképezésére.

Vajon alkalmasak ezek az interferometrikus halkereső szonárok – mint olcsó, és sekély vízben is használható alternatívák – a hidromorfológiailag helyes domborzatmodell készítésére? Alkalmasak ezek a rendszerek nagyobb területek, például folyószakaszok felmérésére? Vajon használatuk jelent-e valamilyen előnyt a folyóvízi geodéziában bevett keresztshelvényezéses eljárásokhoz képest a hatékonyság, vagy az adatsűrűség szempontjából? Építhető belőlük egy a vízügyi gyakorlatban jól használható mérőrendszer?

Ez a dolgozat ezekre a kérdésekre keresi a választ.

Tudomásunk szerint elsőként.

■

2 Célkitűzés

Jelen dolgozat célja, hogy megvizsgálja a többcsatornás-, vagy interferometrikus szonármérés elvén működő, kereskedelmi, halkereső rendszerek gyakorlati, batimetriai hasznosíthatóságát a Dráva magyarországi szakaszán.

A vizsgálat nyolc egységre bomlik:

1. Batimetriai felmérésre alkalmas, *kisköltségű* szonárrendszer kiválasztása.
2. A felmérőrendszer *megtervezése*, majd *fizikai kiépítése*, a *felmérési rend kialakítása*.
3. A mérés adatsorainak *kiolvasására*, majd az adatsor térképészeti- és térinformatikai feldolgozására alkalmas szoftver *kifejlesztése*.
4. Optimális *mélységinterpolációs eljárás kiválasztása*, az új mélységadatok a meglévő geodéziai mérésekkel való asszimilációs- és *adatkezelési metodikájának kidolgozása*.
5. A *mederfenék domborzati viszonyainak felmérése*, a mederérdesség térbeli eloszlásának meghatározása. A keletkezett adatsor előkészítése térinformatikai eszközökkel támogatott hidrológiai modellezéshez.
6. A modellezési adatok alapján a *hajózási útvonal revíziójának támogatása; új hajózási útvonal kijelölése*.
7. A mért mélységadatok segítségével a drávai hajózást támogató, automatizált térinformatikai eszközökkel megvalósított *hidrogeográfiai térképsorozat készítése*.
8. *Sztenderdizált protokoll kialakítása*, amely univerzálisan alkalmazható, kisköltségvetésű szonárrendszereken alapuló batimetriai felmérések esetében.

■

3 Eszközök és módszerek

3.1 Kisköltségű szonárrendszerek a folyófelmerésben

A különböző szonárrendszerek fejlesztése rendszerint katonai-, felderítési feladatokhoz kötődött – néhány halászati célú alkalmazással párosítva. Később megjelentek a polgári célú, de professzionális/tudományos célokat szolgáló eszközök is, amelyek jelentős előrelépést hoztak a tengerek és az óceánok domborzatviszonyainak térképezésében.

Az oldalpásztázó-, többcsatornás- és interferometrikus szonárrendszerek mind fizikai méreteikben, mind árukban olyan kategóriát képviseltek, hogy kisebb folyókon *nem lehetett hatékonyan alkalmazni őket.*

A tudományos célú, édesvízi képalkotó szonárvizsgálatok – a tengeri alkalmazások mögött egy évtizeddel lemaradva –, az 1980-as években kezdődtek. Ebben az időszakban főleg nagy kiterjedésű, állóvízű édesvíztestek oldalra tekintő szonár vizsgálatai történtek (pl. a Nagytavaké az Egyesült Államokban).

Időközben a szonárokkal foglalkozó elektronikai iparágak felfedeztek maguknak egy meghódítható piaci szegmenst: a *hobbihorgászok* szegmensét, ahol a szonárokat, mint „*halkereső*” eszközöket kezdték árusítani.

Az elektronikai eszközök árcsökkenésének (és a horgásztársadalom vásárlóerejének) köszönhetően ezen halkereső szonárokból egymás után jelentek meg azok a mérési technikák (oldalra tekintő pásztázó szonár-, valamint az interferometrikus eljárások), amelyek korábban csak a professzionális szonárokat jellemezték.

Az utóbbi 5 – 10 évben az olcsó, könnyű, csónakra szerelhető, de eredetileg rekreációs célú szonárokat sorra fedezték fel maguknak a hidrológia különböző tárgyköreivel-, de főleg a folyóvizekkel foglalkozó szakemberek.

Ezen szonárok használatának hátránya, hogy:

- Részletes műszaki paramétereik nem, vagy csak *megközelítőleg ismertek* (hangimpulzus típusa; a jel hossza, teljesítménye; hidrofonok típusa és érzékenysége; horizontális- és vertikális nyílásszög)
- A belőlük kikerülő felvételek és *szonogramok feldolgozása nem bevett, sztenderdizált eljárás*, mivel az általuk készített digitális állományok szerkezeti felépítése rendszerint nem dokumentált és a rögzített mérési eredményeken végzett belső elő- és utófeldolgozások nem feltétlenül ismertek.

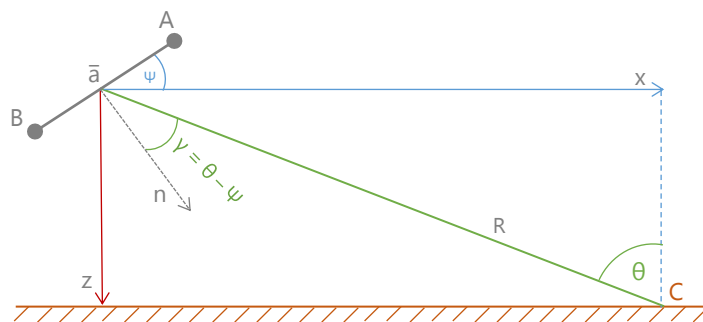
- A mérés helye, a jármű tengerszint feletti magassága, bólintása, haladási iránya és hossz tengely menti billenése, geomágneses haladási iránya nem, vagy *nem a megszokott pontossággal rögzített.*
- Kimenetük hagyományos (professzionális-) alkalmazásokkal és szoftverekkel nem dolgozható fel, ezért használatuk gyakran önálló szoftverfejlesztést igényel.

Előnyük viszont, hogy:

- Árúk – legalábbis a professzionális szonárokéhoz viszonyítva – igen alacsony: egy 2017. évre vonatkoztatott gyűjtés szerint a közel azonos szolgáltatást nyújtó oldalra tekintő, rekreációs célú pásztázó szonárok ára a professzionális szonárrendszerek árának egynegyede és egy huszonhatoda között ingadozik.
- Kicsik, könnyűek, így sokféle hordozó platformra telepíthetők, beleértve az egyszerű csónakokat és távirányítható tutajokat, kishajókat, ezért főleg sekély, rosszul hajózható folyóvizekben használják őket.
- Telepítésük, kezelésük nem igényel speciális tudást és előképzettséget.

■

3.2 Fáziskülönbség mérésén alapuló, háromdimenziós batimetrikus szonárok működési elve



2. ábra. Fáziskülönbség mérésén alapuló batimetrikus szonárok működési elve. A betűjelek magyarázata alább, a szövegben olvasható.

Az oldalra tekintő szonárokat könnyen mélységmérésre is alkalmassá tehetjük, ha kettő, vagy több fázismérésre képes hidrofont rögzítünk egy, a vízszintessel kb. 30–60°-os szöveget bezáró szakaszra.

Ha ismerjük a szonár tervezéséből adódó, a 2. ábrán szereplő $a = \overline{AB}$ szakasz hosszát, a hidrofon-sorozat vízszintessel bezárt Ψ szögét, az \overline{AB} szakasz felezőpontját és a C terep pont összekötő R szakaszt (hagyományos időmérésen alapuló távolság-meghatározásból), akkor a θ szög az alábbi összefüggéssel határozható meg:

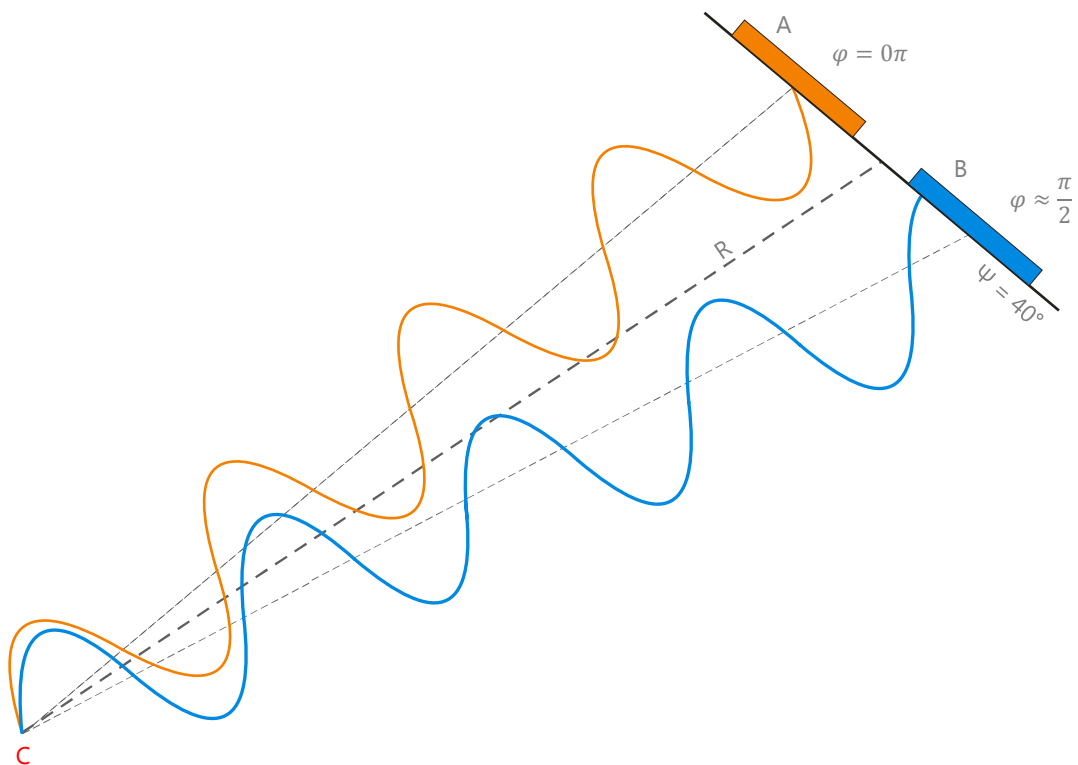
$$\Delta\varphi_{AB} = k\delta R = ka \sin \gamma = 2\pi \frac{a}{\lambda} \sin \gamma \quad \{1\}$$

ahol $\Delta\varphi_{AB}$ az A és a B ponton mért fázis különbsége (3. ábra); λ a hullámhossz; k a kulcsszám $(k = \frac{2\pi}{\lambda})$; γ az \overline{AB} szakasz normálvektora és az R szakasz közt bezárt szög; δR pedig az \overline{AC} és a \overline{CB} szakasz hosszának különbsége (LURTON, 2000).

A {1}. és a $\gamma = \theta - \Psi$ képletből (2. ábra) a keresett θ szög kifejezhető (LURTON, 2000):

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta\varphi_{AB} + 2\pi \cdot n}{ka} \right) + \Psi \quad \{2\}$$

ahol $n \in \mathbb{Z}$ ($n = \dots - 2; -1; 0; +1; +2 \dots$; lásd alább). Ezen képlet alapján kiszámíthatjuk a θ szöget, majd az R szakasz hosszának ismeretében meghatározhatjuk a z és x vektorok hosszát.



3. ábra. A fáziskülönbség gyakorlati észlelése. A betűjelek magyarázata a szövegben és a 2. ábrán. A fáziskülönbség a következő képlettel számítható: $\Delta\varphi_{AB} = \varphi_B - \varphi_A = \frac{\pi}{2} - 0 = \frac{\pi}{2}$. A fázis a 'C' pontban minden esetben azonos. A hullámhossz és a hidrofonok mérete nem arányos. A szinuszgörbe a vízrészecskék kitérésének mértékét szimbolizálja a longitudinális hullámban.

A ' $\Delta\varphi_{AB}$ ' értéke azonban nem mérhető *tényleges* fáziskülönbség formájában, a két hidrofon csak a *látszólagos, relatív* fáziskülönbség megadására képes. Ha az egyik hidrofon adott időpillanatban a fázisszöveget $\frac{1}{4}\pi$ -nek, míg a másik $\frac{3}{4}\pi$ értékűnek méri, akkor a leolvasott fáziskülönbség $\frac{2}{4}\pi$. Azonban nem zárható ki, hogy a távolságkülönbség miatt a valódi fáziskülönbség meghaladja a 2π értéket, viszont a hidrofonok továbbra is csak azt képesek leolvasni, hogy hol tartózkodnak az aktuális szinusz hullámban – annak kezdetéhez képest. Ezért szükséges a fentebbi képletben az ' n ' szorzótényezőt és a 2π -t, mint konstans bevezetni. Ez bizonytalanságot visz a számításba: ugyanazon ' $\Delta\varphi_{AB}$ ' érték mellett számos ' θ ' szöveget kaphatunk, amelyekből a szonár elektronikájának kell kiválasztania a helyes értéket a környező pontok figyelembevételével.

A felmérésben használt Lowrance® StructureScan® 3D szonár ennek megfelelően a 'z' és 'x' vektorok hosszát adja vissza. A számítás jól láthatóan síkban történik, és a két hosszérték felfogható úgy, mint a 'C' pont derékszögű koordináta rendszerben értelmezett két koordinátája – amely batimetriai felmérésre még továbbra is használhatatlan.

A tényleges mélység-meghatározáshoz szükségünk van a szonártest pontos földrajzi koordináira, amely rendszerint valamilyen GNSS-ből (Global Navigation Satellite System – Globális Helymeghatározó Rendszer) érkezik ‘ λ ’, ‘ φ ’ WGS84 (World Geodetic System 1984 – Globális Geodéziai Vonatkoztatási Rendszer) ellipszoidi koordináták és ‘ h ’ WGS84 geoid feletti magasság formájában. Poláris koordináta rendszerben a számítások viszonylag nehézkesek, miközben a szonár által vizsgált terület szélessége kicsi – folyóvízi környezetben kisebb, mint 150 méter –, ezért praktikusán át kell térni valamilyen vetített, derékszögű koordináta rendszerre, melyhez a rekreációs célú szonárok rendszerint egy, a *Web Mercator*-hoz hasonló, egyszerűsített *Mercator* vetületet használnak. A GNSS és a szonár középpontja nem eshet egybe, így a két középpont távolságát a hossz tengelyre merőleges és azzal párhuzamos komponensek szerint kell a koordináták meghatározásánál figyelembe venni.

A mélység meghatározásához szükséges még a jármű és ennek tengelyével párhuzamosan szerelt szonár azimut szerinti irányszöge is.

Ezt két forrásból szerezhethetjük be: a legegyszerűbb megoldás a GNSS mérései alapján kiszámítani a haladási irányt, ez azonban hamis eredményt adhat, ha csak egy GNSS van a fedélzeten, mert ha a csónak farol, vagy keresztben sodródik, akkor a GNSS által rögzített haladási irány nem esik egybe a jármű tengelyének tényleges irányszögével.

Ezen probléma kiküszöbölésére digitális, mágneses iránytűt kell használni, melynek virtuális tengelye párhuzamos a szonár valamint a csónak tengelyével és ezen tengely irányszögét adja meg a mágneses északi irányhoz képest.

Ha ismerjük a szonár középpontjának koordinátáit és a szonár hossz tengelyének irányszögét, akkor a 2. ábra ‘ x ’ vektorának kezdőpontját az ismert koordináta pontba kell mozgatni, majd elforgatni a hossz tengely irányszögére merőlegesen ($\pm 90^\circ$ -al balra, illetve jobbra). Ha a vektor így kapott végpontjának ‘ h ’ magasságából kivonjuk a szonár által mért ‘ z ’ vektor hosszát, akkor megkapjuk az adott pont alatti mélységet.

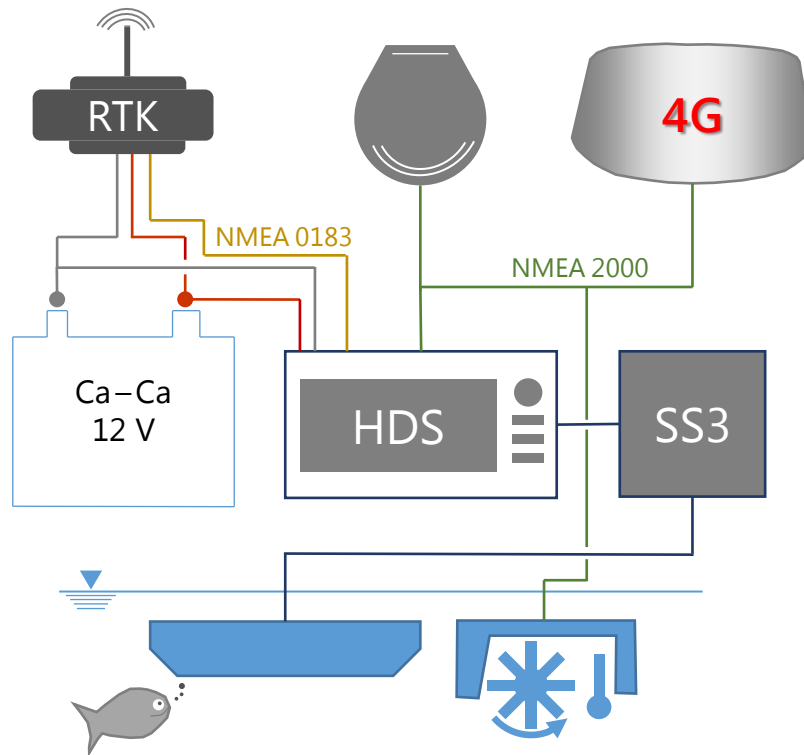
Sajnos a ‘ z ’ vektor hosszának meghatározása hibával terhelt: a pontosság a szonár normálvektora közelében kiváló (2. ábra ‘ n ’ vektor), majd befelé és kifelé folyamatosan csökken – a mért pontok jellegzetesen, pillangószerűen szóródni kezdenek. A hiba mértékét a következő képlet alapján határozhatjuk meg:

$$\frac{\delta z}{z} = \frac{\delta \Delta \varphi_{AB}}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{a} \cdot \frac{\tan \theta}{\cos \gamma} \quad \{3\}$$

A hiba mértéke függ a fáziskülönbség meghatározásának hibájától; valamint a ‘ θ ’ szög tangensének, illetve a ‘ γ ’ koszinuszának hányadosától, ahol $\gamma = \theta - \Psi$ (2. ábra).

4 Eredmények összefoglalása

4.1 Az alkalmazott szonárrendszer felépítése



4. ábra. A használt szonárrendszer vázlatos felépítése. Felső sor, balról jobbra: RTK+/DGPS nagypontosságú helymeghatározó rendszer; háromtengelyű elfordulásmérő (giroszkóp) és digitális iránytű; Lowrance® Broadband 4G™ radar. Második sor: közönséges akkumulátor; a szonár központi számítógépe, kijelzője, kezelőfelülete és adatmentő egysége; Structure-Scan® 3D erősítő- és jelfeldolgozó egység (SS3 felirattal). Alsó sor: StructureScan® 3D transducer (hangszórók és hidrofonok sorozata közös házba építve); lapátkerekes vízsebességmérő. Részletes technikai leírás alább, a szövegben.

A szonárrendszer sematikus, moduláris felépítése a 4. ábrán látható:

- A rendszer „lelkét” a második sor közepén látható „HDS” modul adja (Lowrance® HDS-7” Gen3 Touch, OS Ver.: 5.0 – 57.1.219). A HDS (High Definition System – Nagyfelbontású [Kijelző-] Rendszer) modul érintőképernyős, megerősített burkolatú táblagép NMEA2000® (National Marine Electronics Association – Nemzeti Hajózáselektronikai Egyesület) csatlakozóval, Linux operációs rendszerrel. A radar, a háromtengelyű elfordulásmérő (giroszkóp), valamint a vízsebesség- és hőmérsékletmérő adatai ide érkeznek NMEA2000®-es hálózaton keresztül. A nagypontosságú, 10 Hz-es, RTK+ GPS jele kéterű, NMEA 0183 kábelen érkezik. A HDS egységhez a

szonár erősítője és jelfeldolgozó modulja külön interfészen csatlakozik. Ezen eszközbe illeszthető két microSDHC™ memóriakártya is, melyre a mérések adatai kerülnek.

- A GNSS (első sorban, bal oldalon) egy GeoMax® Zenith35™ Pro Rover, URH és GSM modemmel az RTK+ (Real Time Kinematic – Valós idejű terepi mérés]) méréshez. A GNSS támogatja a GPS L1/L2, a GLONASS (ГЛОНАСС), a BeiDou (北斗导航卫星系统) és a Galileo rendszereket. A GNSS kezelőeszköze egy Panasonic FZ-B2 TAB 7"-os terepi tablet.
- A jármű dőlését, bólintását és haladási irányát egy Lowrance® Precision-9 (SW Ver.: 9.2) mozgó alkatrészt nem tartalmazó kompasz és elfordulásmérő rögzíti (első sorban, középen).
- A rendszer opcionális eleme egy Lowrance® Broadband 4G™ Radar, mellyel a partél vizsgálható (első sorban, a jobb szélén) – a végleges konfigurációban nem került beszerelésre.
- A tényleges szonármérést egy Lowrance® StructureScan® 3D (SW Ver.: 5.0 – 57.1.219) végzi, amely két komponensből áll: egy víz alá merülő szonártestből és egy jelfeldolgozást, jelátalakítást végző „fekete dobozból” (harmadik sor első eleme, valamint a második sor utolsó ikonja). Ez a modul felel az interferometrius mélységmérésért, a DownScan™, és a sidescan szonárképek elkészítésért, valamint a másodlagos hőmérséklet mérésért. A Lowrance® StructureScan® 3D fej közvetlen közelében, de attól fizikailag elkülönülten található még egy Lowrance® HST-WSU 83/200 kHz Skimmer Transducer is (a 4. ábrán nem szerepel külön). Ez az elem közvetlenül a „HDS” modulhoz csatlakozik, és egy nagy nyílásszögű egycsatornás mélységmérő szonárt tartalmaz, cirkuláris hangsugárzóval és hidrofonnal; valamint egy elsődleges hőmérsékletmérővel. Ezen két szonárfej együttes üzemeltetése szükséges a mederfelméréshez.
- Későbbi, áramlástan vizsgálatokhoz a rendszerhez csatlakozik még egy Lowrance® EP70R vízsebességmérő (utolsó sorban, jobb oldalt).
- Az áramellátást bármilyen 12 voltos, minimum 40 amperórás akkumulátor biztosíthatja, így a legkézenfekvőbb megoldás autó-, vagy szünetmentes táp akkumulátorokat használni. A végleges konfigurációban – zavarcsökkentés céljából – a legnagyobb- és erősen ingadozó teljesítményű StructureScan® 3D és annak „feketedoboza” külön áramforrásra került, így a tényleges áramellátást 2 db, 12 V-os, 40 Ah-s akkumulátor biztosítja.

4.2 Összefoglalás

A dolgozat kivitelezése három részre bontott:

1. Elméleti megalapozás (2017)
2. Tervezési feladatok (2017)
3. Szoftverfejlesztés, térképészeti előkészítés és a mérés kivitelezése (2017–2019).

Az eredményeket a célkitűzésekben megfogalmazott pontok sorrendjében foglaljuk össze:

1. A batimetriai felmérésre alkalmas, interferometrikus működési elvű, kisköltségvetésű szonárrendszert a rendelkezésre álló alternatívák közül, terepi és laboratóriumi teszteket követően sikeresen kiválasztottuk. A Lowrance® StructureScan® 3D szonár a kísérleteink alapján a vízügyi ágazat számára megfelelő alternatívát jelenthet olyan vízrajzi környezetekben, ahol a nagyméretű-, mélymerülésű felmérőeszközök nem alkalmazhatók hatékonyan. A szonárrendszert gyakorlati használhatóságát a GDi Magyarország Kft. GDi – ESRI Felhasználó Konferencián (2018) meghívott előadóként mutathattuk be.
2. A gyári szonárrendszer számára olyan konzolt terveztünk, majd gyártottunk le, amely a rendszer képalkotó képességét javította, a gyári rögzítési megoldással összehasonlítva jobb képminőséget ad. A konzol integrált módon kapcsolja össze a két szonárfejet, a vízsebességmérőt és a mérést támogató GNSS-t – ezzel kiküszöbölhető az esetleges helytelen összeszerelésből származó geometriai hiba. A konzol modulárisan szétbontható és könnyen telepíthető más hajókra/csónakokra is.
3. A saját fejlesztésű szoftver segítségével egy olyan eszközt hoztunk létre, amellyel kiküszöbölhetjük az egyetlen és nem költséghatékony célszoftver alkalmazását. Az általunk fejlesztett alkalmazás alkalmas arra, hogy a szonárrendszerből érkező adatokat georeferálja, adatbázisba rendezze, térinformatikai eszközökkel feldolgozható formátumba alakítsa át és lehetőséget biztosít, hogy a szonáradatokat fejlett vizualizációs technikák bemeneti adatsoraként használjuk. A fejlesztett szoftver moduláris felépítésű, könnyen módosítható és elvi lehetőséget biztosít hajózási radaradatok feldolgozására is.
4. A szoftver kimeneti formátumaival összhangban sikerült egy hatékony adatkezelési és adatasszimilációs metodikát kidolgozni, majd olyan interpolációs eljárást alkalmazni, amelynek segítségével az adatok jól visszaadják a meder morfológiáját.

5. Az általunk kidolgozott szonárrendszer segítségével felmértük a Dráva fenékdomborzatát és a másodlagos, sidescan és DownScan™ adatsorok alapján meghatározható a mederérdesség térbeli mintázata. A mérés nagyságrendjét szemlélteti, hogy a 198,6 folyamkilométernyi szakaszcól 125 GiB-nyi adat halmozódott fel.
6. A modellezési adatok alapján a vízügyi szakemberek bevonásával olyan hajózási útvonalat jelöltünk ki, amely a Dráva aktuális fenékdomborzatát tükrözi, ezzel támogatva a biztonságos közlekedést.
7. A szoftveres támogatás segítségével létrehoztuk a Dráva hidrogeográfiai térképso-rozatát. Új vizualizációs eljárás-ként ötvöztük a klasszikus kartográfiai módszereket a szonárból kinyerhető képi- és batimetriai információkkal, valamint a térinforma-tikai szoftverek megjelenítési lehetőségeit.
8. Az előbbi pontok eredményeként kialakult egy olyan kísérletekkel alátámasztott, valós környezetben tesztelt felmérési eljárásrend, mely más sekély vízfolyásokon is megismételhető.



5 Publikációs lista

Pirkhoffer Ervin; Czigány Szabolcs; Fábíán Szabolcs Ákos; Valkay Alexandra Ilona; Varga Gábor; Máté Andrea; Balogh Richárd; **Halmi Ákos**: *KINECTO-MORPHO-lógia – A felszínformák tanulmányának lehetőségei a kiterjesztett valóság segítségével*. FÖLDRAJZ SZAKMÓDSZERTANI FOLYÓIRAT 3: 1 pp. 27-43. 10 p. (2019)

Czigány Szabolcs; Nagyvárad László; Pirkhoffer Ervin; **Halmi Ákos**; Klimász Kitti; Kiss Kinga; M, Császár Zsuzsanna; Varjas, János: *Lehetőségek a problémaorientált földrajzoktatás hatékonyságának növelésére a Pécsi Tudományegyetem terepasztala segítségével*. GEOMETODIKA: FÖLDRAJZ SZAKMÓDSZERTANI FOLYÓIRAT 2: 1 pp. 25-34. 10 p. (2018)

Czigány Szabolcs; Császár Zsuzsa; Kiss Kinga; **Halmi Ákos**; Lóczy Dénes; Nagyvárad László; Pirkhoffer Ervin: *Playing on reality: do geomodels improve the perception of geographical terms?* INTERNATIONAL RESEARCH IN GEOGRAPHICAL AND ENVIRONMENTAL EDUCATION 27: 2 pp. 149-164., 16 p. (2018)

Gyenezse Péter; Baranyai Edina; Bertók Gábor; Bognár Zita; Dezső József; **Halmi Ákos**; Háromi Zoltán; Sándó Norbert; Sebe Krisztina; Sümegi Pál et al.: *A természettudományi vizsgálatok célja és módszertana Turbék zarándokváros és környéke kutatásában (2013-2016)*. In: Pap Norbert; Fodor Pál (szerk.) Szulejmán szultán Szigetváron: A szigetvári kutatások 2013–2016 között. Pécs, Magyarország: PannonCastrum Kft., (2017) pp. 163-176., 14 p.

Halmi Ákos; Kiss Kinga; Hervai András; Máté Kornél; Czigány Szabolcs; Pirkhoffer Ervin: *Tektomorfológiai vizsgálatok fizikai kisminta modelleken*. In: Balázs, B (szerk.) Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII. = Theory meets practice in GIS. Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetemi Kiadó, (2017) pp. 127-132., 6 p.

Hervai András; Pirkhoffer Ervin; Fábíán Szabolcs Ákos; **Halmi Ákos**; Nagy Gábor; Lóczy Dénes; Czigány Szabolcs: *Interpolation and 3D visualization of soil moisture*. ACTA

GEOGRAPHICA DEBRECINA LANDSCAPE AND ENVIRONMENT 11: 1 pp. 23-34., 12 p. (2017)

Hervai András; Czigány Szabolcs; Nagy Gábor; **Halmi Ákos**; Pirkhoffer Ervin: *3D Soil moisture interpolation with ArcGIS software*. In: Borivoj, Sarapatka; Marek, Bednár (szerk.) Degradation and revitalization of soil and landscape: proceedings. Olomouc, Csehország: Palacký University, (2017) pp. 103-103., 1 p.

Hervai András; Czigány Szabolcs; Nagy Gábor; **Halmi Ákos**; Pirkhoffer Ervin: *Talajnedveség monitoring adatok 3 dimenziós numerikus modellezése ArcGIS környezetben*. In: Cserny T; Alpek B. L. (szerk.) HUNGEO 2017: „Bányászat és környezet – harmóniában”: Magyar földtudományi szakemberek XIII. világtalálkozója: program és előadás kivonatok. Budapest, Magyarország: Magyarhoni Földtani Társulat, (2017) pp. 75-76., 1 p.

Czigány Szabolcs; Pirkhoffer Ervin; **Halmi Ákos**; Lóczy Dénes: *Application of MIKE 21 in a multi-purpose floodway zoning along the lower Hungarian Drava section*. REVISTA DE GEOMORFOLOGIE 2016: 18 pp. 5-18., 14 p. (2016)

Czigány Szabolcs; Pirkhoffer Ervin; **Halmi Ákos**; Lóczy Dénes: *Floodway zoning and flood modelling using remote sensing and DEM along the lower Hungarian Drava section pp. 177-199., 23 p*. In: Šulc Michalková, Monika; Miřijovský, Jakub; Lóczy Dénes; Zglobicki, Wojciech (szerk.) Interdisciplinary Studies of River Channels and UAV Mapping in the V4 Region. Bratislava, Szlovákia: Comenius University, (2016) 276 p.

Halmi Ákos; Halász Amadé: *A mélység színei - BAF fúrómagok színének kvantitatív vizsgálata*. In: Dályay Virág; Hámos Gábor (szerk.) BAF kutatás: szakmai előadói nap kiadványa. Pécs, Magyarország: Magyarhoni Földtani Társulat, (2016) pp. 18-20., 3 p.

Nagy Gábor; Ronczyk Levente; Czigány Szabolcs; **Halmi Ákos**; Pirkhoffer Ervin; Geresdi, István: *Az éghajlatváltozás hatása Pécs város csapadékdinamikájára pp. 32-32., 1 p*. In: Szalai, Sándor (szerk.) 42. Meteorológiai Tudományos Napok: A vízgazdálkodás

meteorológiai vonatkozásai. Budapest, Magyarország: MTA Földtudományok Osztálya, (2016)

Nagy Gábor; Czigány Szabolcs; Ronczyk Levente; Magyar Elisabeth; **Halmi Ákos**; Pirkhoffer Ervin: *Földi csapadékadatok új megközelítésű interpretációja távérzékelési módszerek felhasználásával*. In: Balázs Boglárka (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII. = Theory meets practice in GIS*. Debrecen, Magyarország, Debreceni Egyetemi Kiadó, (2016) pp. 333-338., 6 p.

Halász Amadé; **Halmi Ákos**: *The colour analysis method applied to homogeneous rocks*. GEOLOGOS 21: 4 pp. 233-239., 7 p. (2015)

Kiss Kinga; **Halmi Ákos**; Czigány Szabolcs; Balassa Bettina; Bugya Titusz; Lóczy Dénes; Pirkhoffer Ervin: *Deltatorkolat az alagsorban!?: Kismintás hidromorfológiai vizsgálatok*. In: Boda J. (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás VI*. Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetemi Kiadó, (2015) pp. 217-223., 7 p.

Bugya Titusz; **Halmi Ákos**: *The multiresolution image format*. In: Balázs Boglárka (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában V: Térinformatikai konferencia és szakkiállítás*. Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetemi Kiadó, (2014) pp. 97-103., 7 p.

Ervin, Pirkhoffer; Ákos, Halmi; Szabolcs, Czigány; Titusz, Bugya; Andor, Rábay; Tamás, Bötkös; Gábor, Nagy; Bettina, Balassa; Ildikó, Jancskárné Anweiler; Dénes, Lóczy: *New opportunities for experiments in fluvial geomorphology: the flume PTETHYS*. HUNGARIAN GEOGRAPHICAL BULLETIN (2009-) 63: 4 pp. 425-436., 12 p. (2014)

Halmi Ákos: *Proposal for a Tectonic Database: In the Light of Existing Solutions (2014)*. http://prezi.com/iak-4wwmnbph/?utm_campaign=share&utm_medium=copy&rc=ex0share [2019. 01. 27.].

Halmai Ákos; Konrád Gyula: *Proposal for a Tectonic Database: In the Light of Existing Solutions*. BULETINI I SHKENCAVE GJELOGJIKE 50: 2 pp. 460-460., 1 p. (2014)

Pirkhoffer Ervin; **Halmai Ákos**: *Geomorphologic, hydrologic and tectonic modelling on a novel, computer-controlled sand table at University of Pécs pp. 18-18., 1 p.* In: Rappai, Gábor; Filó, Csilla (szerk.) *Well-being in Information Society 2014: Book of Abstracts*. Pécs, Magyarország: University of Pécs, (2014) 35 p.

Pirkhoffer Ervin; Czigány Szabolcs; Bugya Titusz; Balassa Bettina; Bötkös Tamás; Lóczy Dénes; Fábíán Szabolcs Ákos; Varga Gábor; Kovács Mónika; **Halmai Ákos** et al.: *PTETHYS, a térinformatika és fizikai kisminta modellezés újszerű megközelítése*. In: Balázs Boglárka (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában V.: Térinformatikai konferencia és szakkiállítás*. Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetemi Kiadó, (2014) pp. 271-279., 9 p.

Bugya Titusz; **Halmai Ákos**: *The Multiresolution Image Format*. JOURNAL OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM 5: 1 pp. 87-96., 10 p. (2013)

Halmai Ákos; Konrád Gyula: *Javaslat tektonikai adatbázis létrehozására*. FÖLDTANI KÖZLÖNY 143: 3 pp. 279-288., 10 p. (2013)

Halász Amadé; **Halmai Ákos**: *Homogén kőzetek színalapú elemzésének módszere az Ibafa Ib-4 fúrásban harántolt Bodai Agyagkő Formáció példáján*. FÖLDTANI KÖZLÖNY 142: 2 pp. 125-135., 11 p. (2012)

Halmai Ákos: *A szerkezeti elválások csoportosítása*. In: Konrád, Gyula (szerk.) *Környeztetan: Földtudományi alapismeretek*. Pécs, Magyarország: Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar (PTE TTK), (2011)

Halmai Ákos; Halász Amadé: *A Bodai Aleurolit Formáció szín- és ciklicitás vizsgálata a Bo-5 és Bo-6 jelű fúrásokban*. MODERN GEOGRÁFIA: 3 pp. 1-14., 14 p. (2011)

Konrád Gyula; Sebe Krisztina; Halász Amadé; **Halmi Ákos**: *A Délkelet-Dunántúl földtani fejlődéstörténete – recens analógiák*. FÖLDRAJZI KÖZLEMÉNYEK 134: 3 pp. 251-265., 15 p. (2010) ■