

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

“We believe in the systematic understanding of the physical world through observation and experimentation, through argument and debate, but, most of all, freedom of will.”

STARGÁTE: THE ARK OF TRUTH

„Hiszünk a minket körülvevő világ rendszerelvű megismerésében, melyhez megfigyeléseken és kísérleteken, majd vitákon és érveléseken át visz az út; de mindenekelőtt: hiszünk a szabad akaratban.”

CSILLAGKÁPU: AZ IGAZSÁG LÁDÁJA

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	5
2	Célkitűzés.....	8
3	Történeti áttekintés	9
3.1	A szonárrendszerek evolúciója	9
3.1.1	Egycsatornás, „single-beam” szonárok.....	10
3.1.2	Többcsatornás, „multi-beam” szonárok.....	12
3.1.3	Oldalpásztázó, „sidescan” szonárok.....	13
3.1.4	Interferometrikus szonárok.....	15
3.1.5	Szintetikus apertúrájú szonárok.....	16
3.2	Kisköltségű szonárrendszerek a folyófelmérésben	16
4	A szonárrendszerek működésének fizikai alapjai.....	19
4.1	Fizikai alapfogalmak.....	19
4.2	Hangsebesség	20
4.3	A szonárok mérési pontosságát befolyásoló fizikai tényezők.....	21
4.3.1	Geometriai jelerősség-csökkenés	21
4.3.2	Elnyelődés	22
4.3.3	Törés	23
4.3.4	Visszaverődés és szóródás a hordozóközegben	24
4.3.5	Visszaverődés a mederfenékről.....	25
4.3.6	A térbeli felbontóképesség fizikai alapjai.....	26
4.4	A szonár-egyenlet.....	28
4.5	Fáziskülönbség mérésén alapuló, háromdimenziós batimetrikus szonárok működési elve	32
4.6	Kétdimenziós szonárképek értelmezése	35
4.6.1	Lefelé tekintő szonárképek értelmezése	35
4.6.2	DownScan™ és Down Imaging™ szonárképek értelmezése.....	40
4.6.3	Oldalra tekintő szonárképek értelmezése.....	41
4.7	A vizsgálati terület hidrológiai tulajdonságai.....	45
5	Eredmények.....	49
5.1	Szonárrendszer kiválasztása.....	49
5.2	A választott szonárrendszer felépítése	50

5.2.1	A képkotó szonárfej felépítése	52
5.3	Az adatfájlok feldolgozása	53
5.3.1	Indexállomány létrehozása	58
5.3.2	Koordináta-korrekció	58
5.3.3	Koordináták horizontális- és vertikális hibáinak szűrése	62
5.3.4	Kurzushibák és kilengések csillapítása	64
5.3.5	Mérési adatokhoz kötődő koordináta számítások.....	64
5.3.6	Interferometrikus mélységadatok szűrése	65
5.3.7	Interferometrikus mélységadatok korrekciója – Pontosságvizsgálat.....	67
5.3.8	Adatok exportálása	74
5.4	Felmérési terv.....	79
5.5	A mérőrendszer felépítése	81
5.6	Üzemeltetési terv	86
5.7	Térinformatikai feldolgozás.....	89
5.7.1	Domborzatmodellek interpolációja.....	89
5.7.2	Szonogramok interpolációja	94
5.7.3	Adatintegráció	96
5.8	A Dráva hajózási térképe	99
6	Eredmények összefoglalása.....	102
7	Kutatás további irányai	104
8	Köszönetnyilvánítás	105
9	Irodalomjegyzék	107
10	Mellékletek.....	115
10.1	Szonáradatsort feldolgozó szoftverrendszer.....	115
10.1.1	ConstantHelper.vb.....	115
10.1.2	FrameFlags.vb.....	117
10.1.3	Frequency.vb	118
10.1.4	HeaderStructure.vb	118
10.1.5	HeadingType.vb	119
10.1.6	PathHelper.vb.....	119
10.1.7	PointHelper.vb	120
10.1.8	RoutePoint.vb.....	121
10.1.9	SurveyType.vb	121
10.1.10	MainModule.vb.....	122

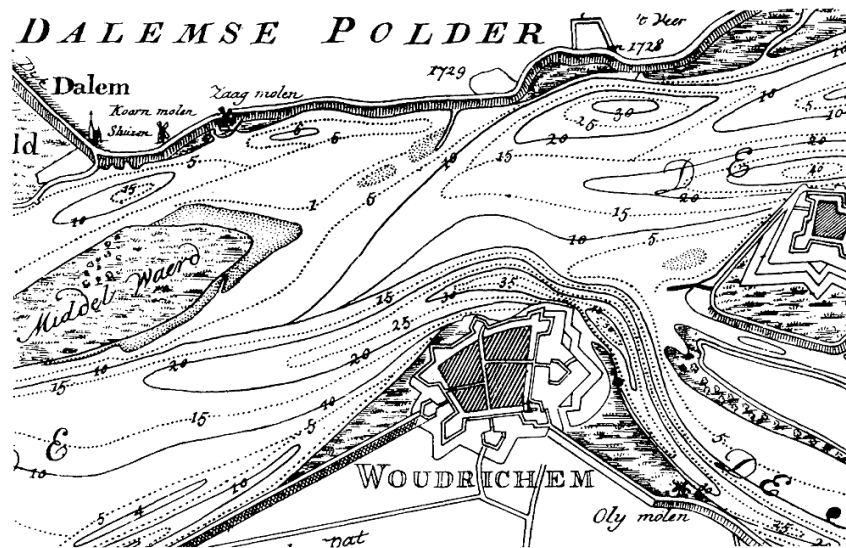
1 Bevezetés

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 (KLINGHAMMER & PAPP-VÁRY, 1983). 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 szaggatottvonallal kötötte össze*, mellyel kijelölte a folyónak a „7 láb”-nál mélyebb részeit (IMHOF, 2007). 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 méretarány 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 domborzatolja hibrid: a mélységviszonyok valódi felülnézeti ábrázolások, míg a védművek egy része pedig madártávlati ábrázolásmód szerinti. A szintvonalmegírások talpa még nincs lejtésirány szerint elforgatva. IMHOF (2007) könyvből.

Az 1800-as évek elejétől ezek a mélységvonalak léptek ki a felszínre és terjedtek el a még ma is használatos *szintvonalas* térképeként (KLINGHAMMER & PAPP-VÁRY, 1983). 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 (KLINGHAMMER & PAPP-VÁRY, 1983). Az alkalmazott geodéziai eljárások időközben sokat finomodtak, de a batimetria történetének második fordulatát egy 1912-es hajóserencsétlenség, az *RMS Titanic* elsüllyedése hozta el (MERKLINGER & ELLIS, 2017).

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* (MERKLINGER & ELLIS, 2017).

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 (KUPERMAN & ROUX, 2007) – 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 óceánközepi hátságok megismerése; valamint számos szeizmikus elemzési és tomográfiai eljárás kötődik a szonártechnológiához (KUPERMAN & ROUX, 2007).

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 cikkeket ezen szonárok gyakorlati felhasználhatóságáról, pontosságvizsgálatáról és kimeneti adataik feldolgozásáról (HOOK, 2011; KAESER, et al., 2012; KAESER & LITTS, 2013; YAMASAKI & KAMAI, 2015; BUSCOMBE, et al., 2016; BUSCOMBE, 2017; GREENE, et al., 2018; RICART et al., 2018; SPIRKOVSKI et al., 2019).

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 (BLONDEL, 2009).

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, kereszt-szelvény szerű térképezésére (KIRMANI, 2016).

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 kereszt-szelvényezési 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 Történeti áttekintés

3.1 A szonárrendszerek evolúciója

A hanghullámokat (longitudinális, mechanikai hullámokat) az evolúció elterjedten használja mind aktív-, mind passzív „távérzékelési”, helymeghatározási célokra. Ennek általános esete a *hallás* (passzív távérzékelés); ritkább, aktív távérzékelési változata az *echolokáció*, melyet a denevér-, bálna- és delfinfajok egyaránt tájékozódásuk elsődleges eszközeként használnak.

A tereptárgyokról visszaverődő, longitudinális hullámok elemzésén alapuló távérzékelési eljárásokat a XX. század első harmada óta használják a vízzel borított térszínek mélységviszonyainak térképezésére (MEDWIN & CLAY, 1998; PRÓNAY, 2005; MERKLINGER & ELLIS, 2017). Ezen rendszerek összefoglaló megnevezése a SONAR (Sound Navigation And Ranging), továbbiakban, magyaros formájában „szonár”, melynek jelentése talán a „*hangalapú navigáció és távmérés*” fordítással adható vissza.

A szonároknak – az evolúciós hanghasznosításhoz hasonlóan – két típusa ismert: *passzív- és aktív szonárrendszerek*. A továbbiakban csak az *aktív-, vízi mélységmérésre alkalmazott szonárokkal* foglalkozunk.

A jelenleg használt szonárrendszerek működési elvük szerint három fő családra oszthatók (BLONDEL, 2009):

1. *Egycsatornás*, „single-beam” szonárookra (3.1.1. fejezet);
2. *Többcsatornás*, „multi-beam” szonárookra (3.1.2. fejezet);
3. *Oldalpásztázó*, „sidescan” (néhol „side-scan”) szonárookra, amelyek további két alcsoportra oszthatók:
 - a. Hagyományos, szimmetrikus képalkotó, oldalpásztázó szonárookra (3.1.3. fejezet);
 - b. Interferometrikus-, fáziskülönbség mérésén alapuló, háromdimenziós fe-nékdomborzat letapogatására képes oldalpásztázó szonárrendszerekre (3.1.4. fejezet).

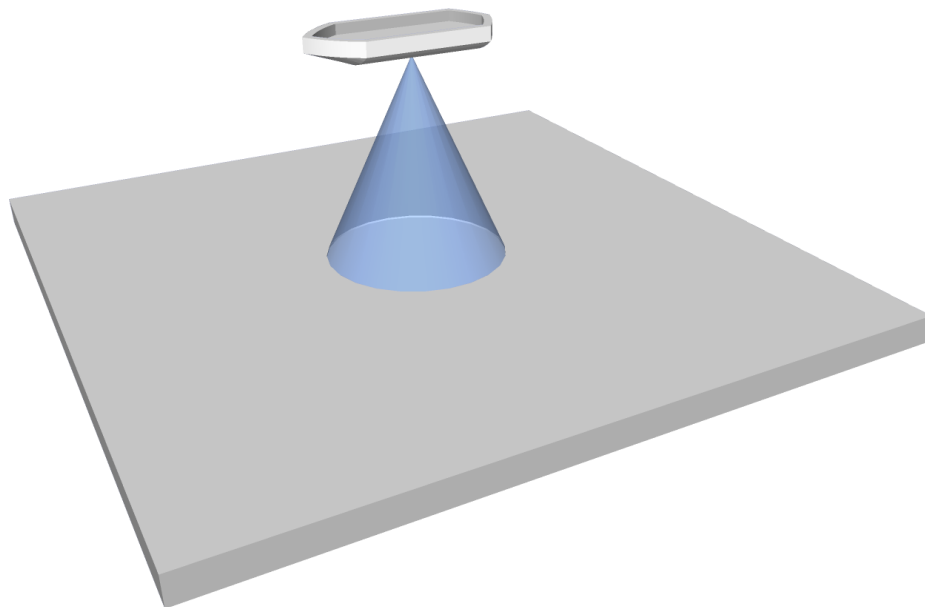
3.1.1 Egycsatornás, „single-beam” szonárok

Az 1960-as évek elejéig főként az egycsatornás („egysugaras”), „single-beam” szonárokat használták. Az egycsatornás rendszerek működésének elve, hogy *egyszerre csak egy impulzust, vagy impulzus láncolatot bocsájtanak ki*, majd a mederfenékről, vagy a mederfenéken található tereptárgyakról visszaverődő hullám időbeli késlekedéséből valamint a visszaverődött hullám amplitúdójából vonnak le az objektumok távolságára (mélységére-), illetve anyagi tulajdonságaira vonatkozó következtetéseket (L-3 COMMUNICATIONS SEABEAM INSTRUMENTS, 2000).

Ezen működésükkel a single-beam szonárok elsősorban *mélységmérésre*, másodsorban a mederfenék anyagi minőségének és üledékeinek vizsgálatára használhatók (BLONDEL, 2009).

Az egycsatornás rendszerek rendszerint a hajótesten rögzítetten, függőlegesen lefelé, *nadír irányba tekintenek* és – tengeri környezetben – alacsony frekvenciájú (≤ 20 kHz), rövid, ≤ 2 milliszekundumos impulzusokat bocsájtanak ki (BLONDEL, 2009). Sekélyvízi környezetekben ennél magasabb, 83–200 kHz frekvenciájú rendszerek is léteznek (HUMMIN-BIRD, 2005).

Ha egy vízi járműre olyan single-beam szonárt rögzítünk, amely nagy nyílásszögű ($20-60^\circ$) kúpban bocsájtja ki, majd regisztrálja a visszaverődő jeleket, akkor egy olyan eszközt kapunk, amellyel észlelhetjük a jármű közelében lévő, *közlekedésre veszélyes*, sekélyen elhelyezkedő mederformákat (2. ábra).



2. ábra. A single-beam szonárok érzékelési kúpja.

Egy ilyen szonárból kapott távolsáérték nem feltétlenül jelenti a szonár alatti, függőlegesen mért, valódi mélységet, hanem bármilyen, a vizsgált kúpban elhelyezkedő, a szonárhoz legközelebb eső, magas reflektanciájú objektum távolságát jelöli.

Hasonló szerkezeti felépítésűek, de magasabb letapogatási frekvenciájúak (200–455 kHz) a halkereső szonárok lefelé tekintő moduljai, melyekhez később a menetirányra merőlegesen, erősen lapított ellipszis alaprajzú nyaláb kibocsátására is képes hangszórókat szerkesztettek, melyet a szonárgyártók általában „DownScan™”, vagy „Down Imaging™” néven forgalmaznak.

A széles nyílásszög használatának előnye, hogy nem kell a szonárt három tengely mentén stabilizálni, egyszerűen a hajótesthez rögzíthető; a hajó billegése csak kismértékben befolyásolja a mérés pontosságát, úgy hogy közben nem veszíti el elsődleges, a sekélyvízre figyelmeztető funkcióját (L-3 COMMUNICATIONS SEABEAM INSTRUMENTS, 2000).

Az egycsatornás rendszerek előnye, hogy szerkezeti felépítésük, üzemeltetésük és a támogató elektronikai rendszerük egyszerű és (mára már) olcsó is egyben.

Ezen szonárok hátránya, hogy a nagy nyílásszög miatt a visszaverődés egy jelentős kiterjedésű területről történik, és az egész terület domborzati (távolság-) viszonyait összegző képet kapunk, így az eljárás *nem alkalmas a mederfenék térképezésére*, különálló domborzati formák kvantitatív azonosítására.

Az egycsatornás szonárok térképezési célú továbbfejlesztése a kis nyílásszögű szonár. Ebben a megoldásban egy keskeny kúp kis kiterjedésű alapjáról nyerünk távolság-információkat.

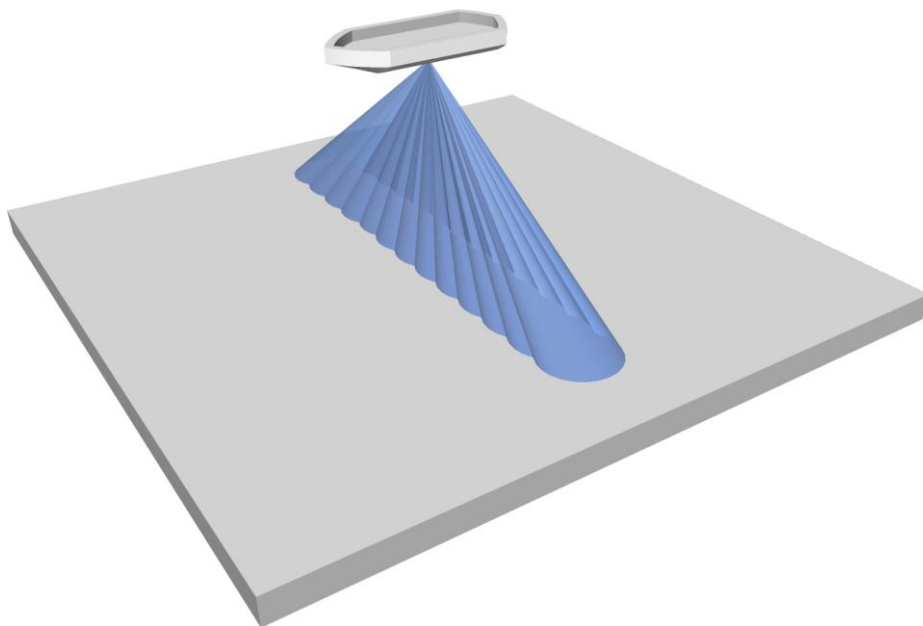
Az eljárás előnye, hogy alkalmas részletes domborzattérképezésre; hátránya, hogy a hajótest bebillenése jelentősen befolyásolja a mérést, így a szonárfejet mindhárom tengely mentén stabilizálni kell, valamint – pont a kis letapogatási szélesség miatt – jelentősen megnövekszik a bejárandó úthossz (például sűrű rácsból szervezve) – ezért az egycsatornás szonárok használata nem költséghatékony nagy kiterjedésű víztestek mélységviszonyainak térképezésekor (L-3 COMMUNICATIONS SEABEAM INSTRUMENTS, 2000).

Ezen probléma kiküszöbölésére a keskeny nyílásszögű, egycsatornás szonárokat a folyóvizetekhez kötődő vízügyi gyakorlatban, a hagyományos geodéziai vizsgálatok kiváltására, *keresztshelvények készítésére* használják (KLINGHAMMER & PAPP-VÁRY, 1983). Ezzel a bejárandó úthossz csökken, de a két keresztshelvény közti térrész mélységviszonyai *teljes mértékben ismeretlenek maradnak*; ezen shelvények alapján a teljes folyószakaszra vonatkoztatott bathymetria csak alacsony megbízhatóságú eredményt adó *interpolációs eljárásokon nyugszik*. Ezen bizonytalanság kismértékben csökkenthető, ha cikk-cakkban, vagy 'Z' alakban vesszük fel a „keresztshelvényeket” – az úthossz lényegi növekedése nélkül.

3.1.2 Többcsatornás, „multi-beam” szonárok

Az egycsatornás szonárok használatából fakadó mélységmérési nehézségekre jelentettek megoldást az első többcsatornás (multi-beam) rendszerek, melyek katonai ösztönzésre, 1964-ben jelentek meg szabadalmaztatott formában (FARR, et al., 1967) – elsősorban kikötők és kontinensperemek térképezésére, ahol az egycsatornás rendszerek használata elfogadhatatlanul idő- és költségigényes lett volna.

A többcsatornás szonárrendszerek (MBES – Multi-beam Echo Sounder) működési elve, hogy *nagyszámú, keskeny letapogatási szélességű szonárfejet alkalmaznak*, melyek a jármű alatt, a haladási irányra merőlegesen, vonalmentén helyeznek el (3. ábra).



3. ábra. Multi-beam szonárok érzékelő- és letapogatási kúp-láncolata.

Így a többcsatornás rendszerek úgy is értelmezhetők, mint egycsatornás, keskeny nyílásszögű individuális szonárok haladási irányra merőleges sorozata, amely keskeny, legyezőszerű sávban térképezi a mederfenék domborzati viszonyait. (Műszakilag ezt a hatást kis számú hangforrás energia-kibocsátásának időbeli késleltetésével keletkező interferencia jelenség segítségével érik el [L-3 COMMUNICATIONS SEABEAM INSTRUMENTS, 2000].)

A többcsatornás megoldásokkal egy olyan térképező rendszert nyerünk, amely, 60–140° nyílású, keskeny sávban, rendszerint 1°-os lépésközzel szolgáltat mélységinformációkat.

A mérés eredménye egy, a jármű haladási irányára merőleges sávokból álló pontsorozat, melyben minden pont 'X', 'Y' és 'Z' koordinátája kiszámítható. Egy ilyen ponthalmazból közvetlenül generálhatunk TIN (Triangulated Irrregular Network) modellt (PEUCKER, et al.,

1978), interpolációval pedig DEM-et (Digital Elevation Model), vagy izobat (kontúr-) térképeket is (FARR, et al., 1967).

A multi-beam szonárok keresztirányú felbontása a mélységtől és a *virtuális* szonárfejek sűrűségétől; a hosszirányú felbontás a letapogatási kúp menetirányba eső szélességtől (3. ábra), valamint a haladási sebességtől függ.

Az MBES rendszerek előnye, hogy széles letapogatási sávot adnak nagy térbeli felbontással, így a szonárt keveset kell mozgatni, a mérési kampány befejeztével gyakorlatilag kész, utófeldolgozást nem igénylő, térképészeti-, térinformatikai-, vagy hidrológiai modellező szoftverekbe közvetlenül betáplálható eredményt kapunk.

Hátránya, hogy nem tekinthetünk el a szonárfej stabilizációjától, vagy a jármű pillanatnyi, térbeli elfordulásának háromtengelyű regisztrációjától (dőlés, bólintás, kurzus; FARR, et al., 1967), beleértve a haladási irány (valódi kurzus) és a jármű orrának azimut szerinti irányszögének különbségét (csúszás, farolás). Tengeri környezetben figyelembe kell venni a hullámzás és az árapály jelenségek relatív magasságkülönbséget okozó hatását is.

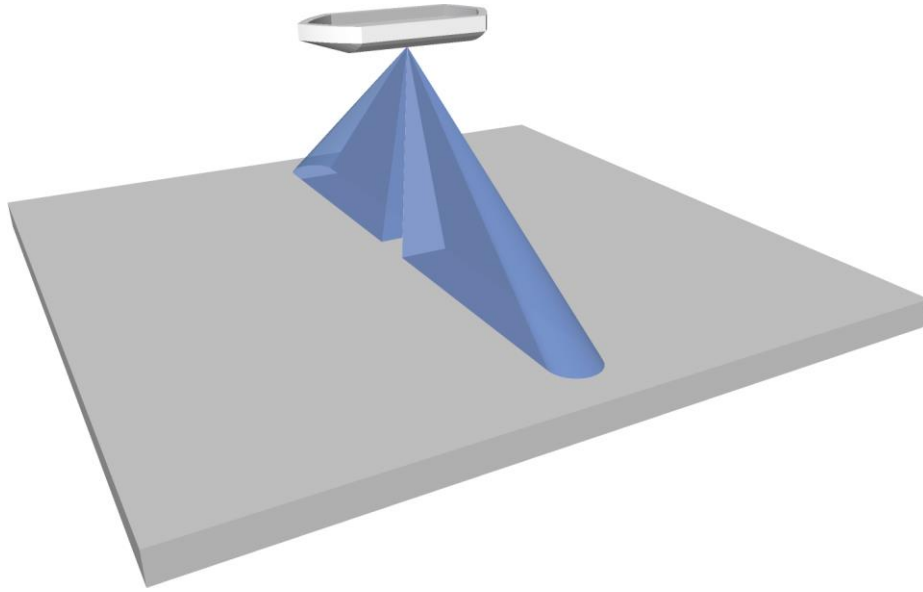
Mivel a letapogatott pászta szélessége nagymértékben függ a vízmélységtől és a medermorfológiától, ahhoz, hogy a fotogrammetriában megszokott módon megtervezhessük a jármű optimális útvonalát és minimalizáljuk a bejárando utat – így a költségeket – a felmérés előtt durva közelítéssel ismernünk kell a meder mélységviszonyait. Tervezéskor figyelembe kell venni, hogy a pászta széle felé közeledve – az alacsony visszaverődési szög miatt – a mérés pontossága és a térbeli felbontás is csökken.

Történeti hátránya továbbá hogy ezen szonárrendszerek *igen drága, nagy méretű* eszközök voltak, amelyek speciális járművet, felfüggesztést és kezelőszemélyzetet igényeltek.

3.1.3 Oldalpásztázó, „sidescan” szonárok

A single- és a multi-beam szonárok közé történetileg beékelődik egy harmadik szonártípus, amely közvetlen, numerikus mélységadatokat nem szolgáltat, de a mederfenék térképezésében jelentős előrelépést hozott: ez az oldalra tekintő pásztázó- (vagy oldalpásztázó-) szonár (sidescan szonár), melynek első alkalmazása az 1950-es évek elejére vezethető vissza (HAGEMANN, 1980).

Az oldalpásztázó szonárok működési elve, hogy a vízi jármű két oldalán, az egycsatornás rendszerekhez hasonlóan egy-egy impulzust bocsájtanak a vízbe, de a sidescan szonárok hangszórói oldalirányban, és kúp helyett egy, a menetirányra merőlegesen, erősen elnyújtott ellipszis alaprajzú nyalábot sugároznak (4. ábra).



4. ábra. Sidescan (oldalra tekintő pásztázó-) szonárok sematikus letapogatási pásztái. Egyes szonárrendszerek esetében nincs, vagy csak minimális a jármű alatt látható „holttér”, ilyenkor a letapogatási pászta keresztirányban, megszakítatlanul fut végig.

Ezzel a szonárkonstrukcióval nem mélységadatokat, hanem egy olyan képet kapunk a mederfenékről, amely ahhoz hasonlít, amikor lapos szögben, zseblámpával rávilágítunk a talajra: az ilyen szonárképeken a szonárhoz közeli részek jó „megvilágításúak”, amely folyamatosan gyengül a távolsággal arányosan, miközben a felszínből kiálló tárgyak jellegzetes, hosszú árnyékokat vetnek (4.6.3. fejezet). Ezen tulajdonságával időben ez az első szonártípus, amely *képalkotásra alkalmas*.

Az oldalra tekintő szonárok professzionális konstrukciói nem a hajótestre, hanem egy, a hajó mögött, a vízfelszín alatt, kábelen vontatott, lebegő, stabilizált hengerre rögzítettek („*towfish*”, vagy magyarul „*vonóhal*”; HAGEMANN, 1980; BLONDEL, 2009).

Az oldalra tekintő szonárrendszerek esetében – geometriai okokból – a hajótest alatti rész alacsony relatív felbontású. Az alacsony költségvetésű szonárok esetében ezt a problémát úgy küszöbölik ki, hogy a hagyományos sidescan modul kiegészül még egy lefelé tekintő, menetirányra merőlegesen lapított, keskeny, elliptikus letapogatási pásztával („*DownScan™*”, vagy „*Down Imaging™*”) – amely nadír irányban nagyfelbontású, keresztirányban összevont „oldalnézeti” képet ad a szonár alatti keskeny területről. Az oldalra tekintő és a DownScan™ szonár képének együttes vizsgálata jelentősen megkönnyíti a hajó alatti térrész mederviszonyainak értelmezését.

A kutatásunk során alkalmazott Lowrance® StructureScan® 3D szonár két, 30°-ban oldalra (jobbra és balra) és egy ugyanilyen lefelé tekintő pásztát használ eltérő frekvenciákon, hogy a szonártest alatti alacsonyfelbontású térrész kiterjedését minimalizálja (PROCTOR, 2014).

3.1.4 Interferometrikus szonárok

A többcsatornás szonárrendszerekhez funkcionálisan hasonló (KIRMANI, 2016), de technológiailag eltérő megoldást kínálnak az interferometrikus szonárok (IFMS – Interferometric Sonar), vagy más megnevezésben a fáziskülönbség-mérésén alapuló mélységmérő szonárok (PDBS – Phase Differencing Bathymetric Sonar), melyek egyes irodalmakban „Swath Bathymetry” (US), vagy „Swathe Bathymetry” (UK) néven is felbukkanhatnak (CALEB, 2005).

Az interferometrikus szonárok működési elve, hogy mindössze egy, legyező alakú nyalábot kibocsájtó jelforrást használnak oldalanként megismételve, de a forrás közelében olyan vevőegységek sorakoznak, amelyek a visszatérési idő és az amplitúdó (intenzitás) regisztrációján kívül képesek a beérkező longitudinális hullám fázisát is rögzíteni (vagy ezt a szolgáltatást nagyszámú hidrofonnal helyettesíteni).

Mivel az egyes vevők közel, de a használt hanghullám hullámhosszához mérten jól elkülönülten helyezkednek el, a vevőkön észlelt idő- és fáziskülönbség ismeretében meghatározható a reflektáló mederobjektum iránya és távolsága (KIRMANI, 2016).

Az interferometrikus mélységtérkép rögzítésével egy időben ortorektifikált intenzitástérkép is készülhet (CALEB, 2005). Ha a szonár vezérlőelektronikájában kiiktatjuk a fáziskülönbség regisztrációját és csak a visszatérő hullám amplitúdóját egy hidrofonon vizsgáljuk, akkor közönséges sidescan felvételt kapunk.

Alacsony költségvetésű szonárok esetében az egyszerűsített hidrofon kiépítésből fakadó interferometrikus mélységmeghatározás hibájának és bizonytalanságának csökkentésére a két oldalra tekintő pászta közé egy harmadik, lefelé tekintő pásztát és interferometrikus hidrofon-sorozatot is bevezethetnek (KIRMANI, 2016).

Az interferometrikus szonárok műszaki szempontból úgy is felfoghatók, mint olyan oldalra tekintő pásztázó szonárok (4. ábra), amelyekre oldalanként egynél több hidrofont rögzítettek – miközben a műszer fizikai felépítése alig változott.

Az interferometrikus szonárok előnye, hogy a többcsatornás rendszereknél nagyobb szélességben képesek a vizsgálati területet letapogatni: még a multi-beam szonárok az eszköz alatt lévő vízoszlop magasságának háromszorosát-ötszörösét képesek szélteben felmérni, addig az IFMS rendszerek a *mélység tizenkétszeresének megfelelő szélességű mederfenék-domborzatot is vizsgálhatnak* (CALEB, 2005) és rögtön nagy átfogású képalkotó (sidescan) szonárként is használhatók. Ezen tulajdonságával az interferometrikus szonár a legalkalmasabb eszköz sekélyvízi környezetek térképezésére (CALEB, 2005).

Speciális interferometrikus szonárok esetében az elérhető maximális látószög $2 \times 100^\circ$ (EDGE TECH, 2016), így kellő merülés esetén lehetséges a függőleges partfalak és műtárgyak térképezése is.

Az IFMS hátránya, hogy a számítás algoritmikus háttere komplex, sok hibaszűrést igénylő folyamat, melynek kiszolgálására viszonylag nagy teljesítményű processzorokat kell a szonárral egy időben üzemeltetni.

3.1.5 Szintetikus apertúrájú szonárok

A szintetikus apertúrájú szonárok az oldalpásztázó- és az interferometrikus szonárrendszerek speciális alosztályai: itt, az időben változó frekvenciájú besugárzás nagy(obb) nyílásszögű, legyezőszerű térrészében történik, miközben a hordozóeszköz előrehalad. Ezzel a működéssel olyan hatás érhető el, mintha a visszaverődő jelet több, térben jól elkülönült (fáziskülönbség regisztrálására is képes) hidrofonnal rögzítettük volna. Ezen időben és – virtuálisan – térben elkülönülten rögzített adatsor utófeldolgozásával egyszerre nyerhetünk az oldalpásztázó szonárképekhez hasonló intenzitás térképet és fenékdomborzat modellt – kisebb pixelmérettel és jobb jel/zaj arányszámmal (ØDEGÅRD et al., 2018).

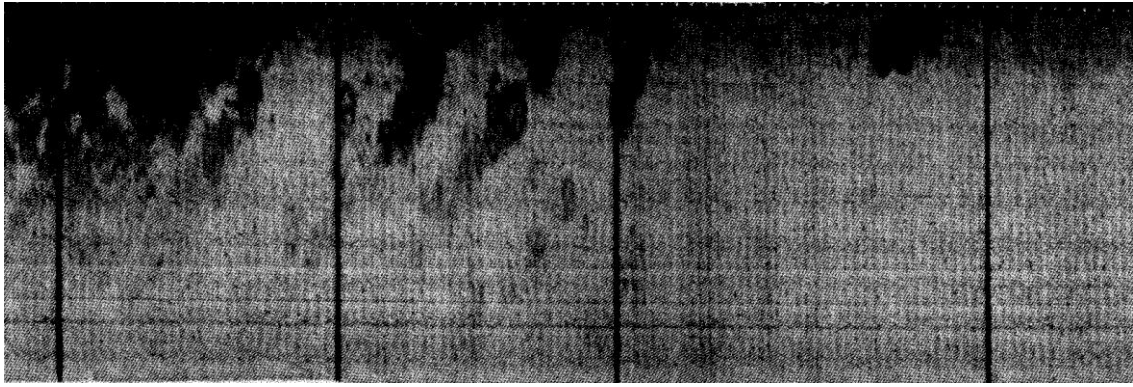
Sajnos a szintetikus apertúrájú szonárok jelenleg (2018) nem érhetők el rekreációs célú szonártermékekben, de az elkövetkező években – előreláthatólag – fokozatosan meg fognak jelenni könnyen használható, elérhető árú eszközökben is (ØDEGÅRD et al., 2018).

3.2 Kisköltségű szonárrendszerek a folyófelmerésben

A különböző szonárrendszerek fejlesztése rendszerint katonai-, felderítési feladatokhoz kötődött (L-3 COMMUNICATIONS SEABEAM INSTRUMENTS, 2000) – 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* (HOOK, 2011).

A tudományos célú, édesvízi képpalkotó szonárvizsgálatok – a tengeri alkalmazások mögött egy évtizeddel lemaradva –, az 1980-as években kezdődtek (SLY, 1983; ANIMA, et al., 2007; HOOK, 2011). Ebben az időszakban főleg nagy kiterjedésű, állóvízű édesvíztestek oldalra tekintő szonár vizsgálatait történtek (pl. a Nagy-tavaké az Egyesült Államokban; SLY, 1983; 5. ábra).



5. ábra. 200 kHz-es, oldalpásztázó szonárfelvétel a Niagara torkolatának környékéről az Ontario-tavon. Az ábráról a mélységváltozáson kívül nem sok mindent lehet leolvasni, viszont érdemes összehasonlítani a 4.6.3. fejezetben lévő 17. ábrával: a kép interpretációja nélkül is látható, hogy változatlan mérési elvek mellett az eltelt idő alatt mennyit fejlődött az oldalpásztázó szonártechnológia. Jelentős különbség, hogy ez az ábra egy korabeli professzionális (E.G. & G. MK.I) szonárral, míg a 17. ábra egy közönséges halkeresővel készült (Lowrance® Structure-Scan® 3D). SLY (1983) publikációja alapján szerkesztve.

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 (HUMMINBIRD, 2005; LOWRANCE, 2014).

Az utóbbi 5 – 10 évben az olcsó, könnyű, csónakra szerelhető, de eredetileg rekreációs célú szonárokat (HAMILL et al., 2018) sorra fedezték fel maguknak a hidrológia különböző tárgyköreivel-, de főleg a folyóvizekkel foglalkozó szakemberek (ANIMA, et al., 2007; HOOK, 2011; KAESER, et al., 2012; KAESER & LITTS, 2013; BUSCOMBE, et al., 2016; BUSCOMBE, 2017; GREENE, et al., 2018; HAMILL et al., 2018).

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* (HAMILL et al., 2018), mivel az általuk készített digitális állományok szerkezeti felépítése rendszerint nem dokumentált (BUSCOMBE, 2017) 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 (BUSCOMBE, 2017), ezért használatuk gyakran önálló szoftverfejlesztést igényel.

Előnyük viszont, hogy:

- Áruk – legalábbis a professzionális szonárokéhoz viszonyítva – igen alacsony. GREENE, et al. (2018) a 2017. évre vonatkoztatott gyűjtése 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 (KAESER & LITTS, 2013).
- Telepítésük, kezelésük nem igényel speciális tudást és előképzettséget (BUSCOMBE, 2017).

■

4 A szonárrendszerek működésének fizikai alapjai

Az alábbi alfejezetek a szonárok működésének fizikai alapjairól adnak összefoglalót – olyan szinten, amely a szonogramok értelmezéséhez és a kiolvasó szoftver működésének megértéséhez szükséges.

4.1 Fizikai alapfogalmak

A hang *longitudinális, mechanikai hullám*, amely nyomásváltozások láncolataként terjed folyadékokban, gázokban és szilárd anyagokban egyaránt. A longitudinális hullám jellegzetesége, hogy a hullámmozgásban résztvevő részecskék a *hullám terjedési irányával azonos irányban, periodikusan lengenek ki*, helyi nyomásváltozást okozva.

Egy adott közegben terjedő hanghullámot az alábbi fizikai mennyiségekkel jellemezhetjük:

- *Periódusidő*, jele: T , SI (Système international d'unités – Nemzetközi Mértékegységrendszer) mértékegysége: szekundum [s]. A periódusidő két *azonos állapot* bekövetkezése között eltelt idő.
- *Frekvencia*, jele: f , $(f = \frac{1}{T})$, ahol T a periódusidő, így a frekvencia a periódusidő reciproka. SI mértékegysége: $[\frac{1}{s}]$, azaz hertz [Hz].
- *Hangsebesség*, jele c , SI mértékegysége a $[\frac{m}{s}]$.
- *Hullámhossz*, jele λ , $(\lambda = \frac{c}{f})$, ahol c a hangsebesség, f a frekvencia. SI mértékegysége a méter [m].
- *Hangerősség*, jele I , $(I = \frac{P}{A})$, ahol I a hangerősség (hangintenzitás), P az A felületen áthaladó hang teljesítménye. SI mértékegysége a $[\frac{W}{m^2}]$. Szonárvizsgálatok esetében az I hangerősség rendszerint $10^{-12} \frac{W}{m^2}$ -től $10^1 \frac{W}{m^2}$ -ig terjed, így 13 nagyságrendet átfogó mennyiség (PRIBIČEVIĆ, et al., 2016).
- *Hangintenzitás-szint, hangerősség-szint*, jele L_f , $(L_f = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} [dB])$, ahol L_f a hangintenzitás-szint, I a hangerősség, I_0 a hangintenzitás alapértéke, amely meg-

állapodás szerint $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$. A hangintenzitás-szint dimenzió nélküli mennyiség, amely az emberi hangérzet mértékét írja le tízes alapú, logaritmikus skálán (*Weber – Fechner*-féle pszichofizikai törvény [EROSTYÁK & LITZ., 2003]). Annak ellenére, hogy szonárok esetében az emberi hangérzet nem játszik szerepet, széles körben alkalmazzák, mivel lehetővé teszi a több nagyságrendet átfogó hangintenzitás értékek (jelszintek) hatékony összehasonlítását (MEDWIN & CLAY, 1998). A hangintenzitás-szint dimenzió nélküli mennyiség, lépésközét egységnyinek tekintik és pusztán az elkülöníthetőség végett 'dB'-el (decibel-el) jelölik (Alexander Graham BELL [1847 – 1922] tiszteletére). A több nagyságrendet átfogó jelenségek jellemzésére, – a hangtól függetlenül – számos fizikai mennyiség esetében is használják egy egységnyinek tekintett *null*-értéktől való távolság kifejezésére. Ekkor – a jobb elkülöníthetőség végett –, a 'dB' után hozzáfűzik az adott mennyiség mértékegységét. A hangintenzitás-szint mellett, szonárok esetében előfordul a teljesítmény decibel egységű kifejezése is: $P_{dBW} = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) dBW$, ahol $P_0 = 1 W$.

4.2 Hangsebesség

A hangsebesség az adott közegre jellemző állandó, víz esetében megközelítőleg $1500 \frac{m}{s}$. A tényleges hangsebesség az alábbi tapasztalati képlettel közelíthető (*Medwin*-képlet):

$$c \approx 1449,2 + 4,6\tau - 0,055\tau^2 + 0,00029\tau^3 + (1,34 - 0,01\tau) \cdot (S - 35) + 0,016D \quad \{1\}$$

ahol ' τ ' a víz hőmérséklet [$^{\circ}C$], ' S ' a sótartalom [%], ' D ' a mélység [m]. Érvényességi tartománya: $0 \leq \tau \leq 35 \text{ }^{\circ}C$; $0 \leq S \leq 45\%$; $0 \leq D \leq 1000 \text{ m}$ (MEDWIN & CLAY, 1998; BREKHOVSKIKH & LYSANOV, 2003).

Ez alapján a hangsebesség $15^{\circ}C$ -os hőmérsékletű, 35%-os sótartalmú tengervízben, 10 méter mélyen $c \approx 1506,964 \frac{m}{s}$; míg azonos hőmérsékletű és mélységű, de csak $\sim 0,2\%$ -os sótartalmú édesvízben mindössze $c \approx 1465,552 \frac{m}{s}$.

Általánosságban elmondható, hogy a Föld felszíni vizeiben a hangsebesség 1450 és $1540 \frac{m}{s}$ között ingadozik.

Ha nincs lehetőség ezen tapasztalati képlettel a tényleges hangsebesség kiszámítására (pl. a víz hőmérséklet ismeretlen), akkor a rekreációs célú szonárrendszerek (HAMILL et al., 2018) édesvízben az 1450 , míg tengervízben az $1500 \frac{m}{s}$ -os hangsebességértéket használják durva közelítésként (BUSCOMBE, 2017).

A *Medwin*-képletnél léteznek pontosabb közelítést adó (egyben sokkal több tagból és konstansból álló) empirikus egyenletek is, például a *Chen–Millero–Li*-képlet; de ezek használata általános célú méréseknél, különösen édesvízben nem indokolt (BLONDEL, 2009).

Az aktív szonárok működési elve, hogy egy hangforrás kibocsájt egy impulzust, ez az impulzus végighalad a közegen, a közegre jellemző hangsebességgel, majd elér egy felszín alatti objektumot, amelybe részben behatol, részben visszaverődik róla. A visszaverődő impulzus eléri a szonár hidrofónját, amely elektromos, majd elektronikus jellé alakítja a visszaérkező hangenergiát.

Ha meg tudjuk mérni az impulzus kibocsájtása és visszaérkezése közt eltelt időt, akkor meghatározhatjuk a reflektáló objektum szonártól mért távolságát.

A kétutas hangterjedést figyelembe véve a távolság az

$$s = \frac{1}{2} ct \quad \{2\}$$

képlettel számítható, ahol 's' az objektum távolsága, 'c' az aktuális hangsebesség, 't' az impulzus kibocsájtása és visszaérkezése közt eltelt idő.

Így például, ha a szonárunk kibocsájt egy impulzust, a víz hőmérséklete 15°C, a sótartalom 0,2‰, és a szonár a víz felszínén halad és azt észleli, hogy a kibocsájtott impulzus 0,004094468 másodperc múlva érkezett vissza visszhang formájában, akkor a reflektáló objektum *megközelítőleg* három méteres távolságban van a szonártól.

4.3 A szonárok mérési pontosságát befolyásoló fizikai tényezők

Bár az előző fejezetben leírtak alapján a szonárok működési elve igen egyszerű, a gyakorlatban számos fizikai tényező befolyásolja a mérés pontosságát. A szonárból kilépő, majd egy tereptárgyról visszaverődő impulzus nem eredeti állapotában érkezik vissza a hidrofónhoz, hanem jelentősen legyengül, részben elnyelődik, visszaverődik és megtörik.

4.3.1 Geometriai jelerősség-csökkenés

Homogén közegben – gömbszimmetrikus terjedést feltételezve – a kibocsájtott impulzus erőssége a fordítottan arányos a jelforrástól mért távolság négyzetével ($I \sim \frac{1}{R^2}$). A jel viszont a tereptárgyról történő visszaverődés után még egyszer megteszi az utat a szonárig, ezért ezt a veszteséget kétszer szenved el, így a szonár hidrofónjához visszaérkező jel erőssége fordítottan arányos a távolság negyedik hatványával ($I \sim \frac{1}{R^2} \cdot \frac{1}{R^2} = \frac{1}{R^4}$). Ezen geometriai

hangteljesítmény-csökkenés a $\Delta P = -40 \log_{10}(R)$ [dBW] képlettel fejezhető ki, ahol 'R' a szonártól mért távolság (BLONDEL, 2009).

Levezetve:

$$I \sim P \text{ és } I \sim \frac{1}{R^4} \quad \{3\}$$

$$P_{dBW} = 10 \log_{10}\left(\frac{P}{P_0}\right), \quad \{4\}$$

behelyettesítve:

$$P_{dBW} = 10 \log_{10}\left(\frac{1/R^4}{1}\right) = 10 \log_{10}\left(\frac{1}{R^4}\right) = -4 \cdot 10 \log_{10}(R) = -40 \log_{10}(R) \quad \{5\}$$

$$P_{dBW} = -40 \log_{10}(R) \quad \{6\}$$

Ezt a geometriai veszteséget a szonárok – különösen az oldalra tekintő pásztázó szonárok –, vagy azok utófeldolgozó/vizualizációs alkalmazásai korrigálják. A szonárok azonban nem távolságot, hanem időt mérnek elsődleges mennyiségként, amely viszont egyenesen arányos a távolsággal (konstans hangsebesség esetén), ezért ezt az utólagos „erősítést” időfüggő erősítésnek, „*Time Varied Gain*”-nek (TVG) nevezik (BLONDEL, 2009; BUSCOMBE, 2017); még egyes halkereső szonárok sidescan felvételek esetében „*Surface Clarity*”-nek jelölik (LOWRANCE, 2014).

4.3.2 Elnyelődés

A vízben a longitudinális hullámok az előző fejezet geometriai megfontolásain kívül is veszítenek energiájukból, mivel magán a közegen munkát végeznek. Ez a jelenség az elnyelődés. Az elnyelődés erősen frekvenciafüggő: egy 0,1 kHz-es hullám 1 000 kilométert is megtehet, mielőtt a közeg teljesen elnyeli, egy 1 MHz-es hullámmaláb mindössze 100 méterre képes eljutni (HANSEN, 2012).

Az elnyelődés leírására a *Francois – Garrison*-képletet használják, mely édesvízre egyszerűsített alakja (a bórsav- és a magnézium-szulfát komponensek elhanyagolásával):

$$\alpha \approx APf^2 \quad \{7\}$$

$$P = 1 - 3,83 \cdot 10^{-5} \cdot D + 4,9 \cdot 10^{-10} \cdot D^2 \quad \{8\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau \leq 20^{\circ}\text{C} \rightarrow A = 4,937 \cdot 10^{-4} - 2,59 \cdot 10^{-5} \cdot \tau + 9,11 \cdot 10^{-7} \cdot \tau^2 - 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot \tau^3 \\ \tau > 20^{\circ}\text{C} \rightarrow A = 3,964 \cdot 10^{-4} - 1,146 \cdot 10^{-5} \cdot \tau + 1,45 \cdot 10^{-7} \cdot \tau^2 - 6,5 \cdot 10^{-8} \cdot \tau^3 \end{array} \right\} \{9\}$$

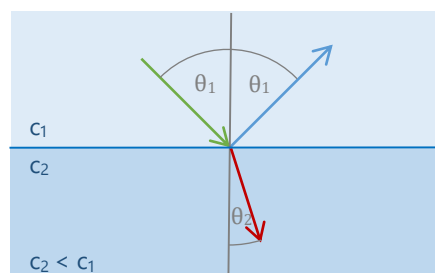
ahol 'α' („attenuáció”) az elnyelődés mértéke $\left[\frac{dBW}{km}\right]$, 'τ' a víz hőmérséklet [°C], 'D' a vízmélység [m], 'f' a hanghullám frekvenciája [kHz] (BLONDEL, 2009; MEDWIN & CLAY, 1998). A *Francois – Garrison*-képlet alapján 5 méteres mélységben, 18°C-on egy 455 kHz-es hanghullám elnyelődésének mértéke $\sim 48,68 \frac{dBW}{km}$.

4.3.3 Törés

A vízben a hang terjedési sebességét idáig térben állandónak feltételeztük, viszont a hang terjedési sebességét leíró, empirikus *Medwin*-képletből is látszik, hogy az *aktuális hangsebesség erősen helyfüggő*, így a szonár által kibocsájtott jel különböző terjedési sebességű szakaszokon halad keresztül. A *Snellius – Descartes*-törvény értelmében viszont, ha a hang egy olyan közeghatárra érkezik, ahol a túoldalón lévő közegben más a helyi hangsebesség, akkor megtörik és eltér eredeti haladási irányától úgy, hogy a két hangsebesség érték hányadosa egyenlő a beesési- és a kilépési szög szinuszának hányadosával:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2} \quad \{10\}$$

ahol 'c₁' az első, 'c₂' a második közegre jellemző hangsebesség, míg 'θ₁' a beesési merőlegestől mért szögtávolság az első közegben, 'θ₂' a beesési merőlegestől mért szögtávolság a második közegben (6. ábra).

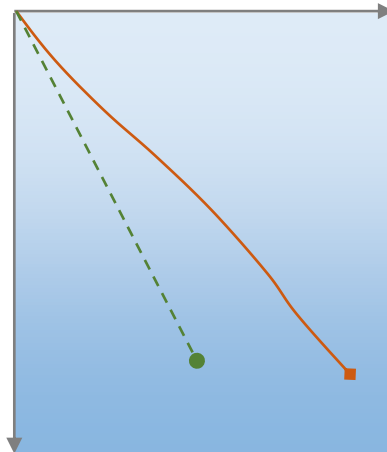


6. ábra. Eltérő hangsebességű közegek határán bekövetkező törés és visszaverődés. A zöld vonal a beeső-, a kék a visszaverődő-, a piros pedig a megtört hang haladási irányát mutatja. Az ábrán a második- (alsó-) közegben kisebb a hangsebesség, mint az elsőben.

Ezzel a szonárból kilépő, majd visszaverődő impulzus elveszti eredeti irányát, a hang nem a szonárt és reflektáló objektumot összekötő egyenes vonal mentén terjed, hanem számtalan

alkalommal megtörik, így nem a valós, hanem egy látszólagos távolságot és pozíciót kapunk a mérés során (7. ábra).

Ezen jelenség kiküszöbölésére a professzionális, nagy mérési távolságoknál alkalmazott mélytengeri szonárok a „ray-tracing” eljárást alkalmaznak, amely egy mélységfüggő sebesség-profil alapján kiszámítja a nyaláb közel valódi útját.



7. ábra. A vízben a hangsebességet állandónak feltételezve a reflektáló objektum látszólag a zöld egyenes végében helyezkedik el. A valóságban azonban a hangsebesség helyről-helyre változik, így a hang csak számtalan törés után érkezik el a reflektáló objektumhoz (narancssárga vonal).

4.3.4 Visszaverődés és szóródás a hordozóközegben

A különböző hangsebességekkel jellemezhető felületeken viszont nem csak törés, hanem (rendszerint csak részleges) visszaverődés is bekövetkezik. A megtört- és a visszavert hullámrészek amplitúdóinak arányát az alábbi képlet írja le:

$$1 + R = T \quad \{11\}$$

ahol 'R' a reflexió-, 'T' a közegethatáron átbocsájtott hang amplitúdójának aránya. Ebből

$$R = \frac{\rho_2 c_2 \cos \theta_1 - \rho_1 c_1 \cos \theta_2}{\rho_1 c_1 \cos \theta_2 + \rho_2 c_2 \cos \theta_1}, \quad \{12\}$$

$$T = \frac{2\rho_2 c_2 \cos \theta_1}{\rho_1 c_1 \cos \theta_2 + \rho_2 c_2 \cos \theta_1} \quad \{13\}$$

ahol ' ρ_1 ' és ' ρ_2 ' az első- illetve a második közeg sűrűsége; ' c_1 ' és ' c_2 ' az első- illetve a második közegben mérhető hangsebesség; ' θ_1 ' és ' θ_2 ' a beesési- illetve a törési szög (MEDWIN & CLAY, 1998; MEI, 2004).

Ennek a jelenségnek két következménye van:

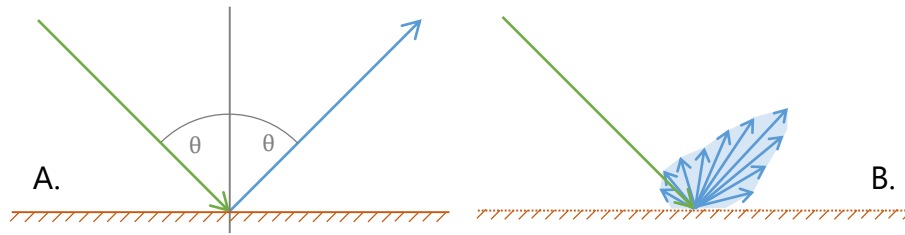
1. Egyrészt a szonárból kibocsájtott impulzus nem éri el maradéktalanul a medret, mert minden egyes vízrétegnél, ahol a hangsebesség eltérő, részben visszaverődik a beesési szöggel megegyező szögben – a beesési merőleges túloldalán –, így a hanghullám energiájának egy része „rossz” irányban távozik.
2. Másrészt a ρc szorzat a közegre jellemző állandó, így ha egy ismert ρc szorzatú közegből (a szonár alatti vízoszlopból) merőlegesen hanghullámot bocsájtunk a mederfenékre akkor a visszaverődött jel erőssége alapján következtethetünk a mederfenék anyagi összetételére (HANSEN, 2012). Bár az eljárás nem alkalmas sem a ρ , sem a c önálló meghatározására, azaz közvetlen anyagfelismerésre; de a különböző felszínborítású mederfelszínek egyedileg elkülöníthetők.

A közegben terjedő hanghullámokat a térfogati szóródás is érinti, amelynek elsődleges oka a vízben lebegő szemcsék, uszadékok, egyéb tárgyak és életformák.

4.3.5 Visszaverődés a mederfenékről

Idáig a hang vízben való terjedésének fizikai tényezőit vizsgáltuk, de egy szonárvizsgálat szempontjából a legfontosabb esemény a mederfenékről történő visszaverődés. A felszíni visszaverődésnek két típusát különböztetjük meg.

Első, triviális visszaverődési forma a *szabályos visszaverődés* (amelyet a fénytanban tükrös visszaverődésnek neveznek). Ebben a visszaverődési formában a beesési szög egyenlő a visszaverődés szögével, csak a beesési merőleges másik oldalán helyezkedik el. Ez a visszaverődési forma megegyezik azzal a jelenséggel, amikor egy tükörrre például lézerpointerrel rávilágítunk. Ezen visszaverődési formából visszaérkező hanghullámokat csak olyan szonárok képesek észlelni, amelyek (közel) függőlegesen lefelé tekintenek, így a szonár tengelye megközelítőleg egybeesik a beesési merőlegessel. Az olyan szonárrendszerek, amelyek oldalra tekintenek (többcsatornás- és oldalpásztázó szonárok) nem észlelik a szabályos visszaverődésből származó hanghullámokat, mert azok a szonárral ellentétes irányban távoznak (BUSCOMBE, 2017). A szabályos visszaverődés tiszta- és kizárólagos formájában csak sima, egyenletes felszínekről következik be (8. ábra, 'A').

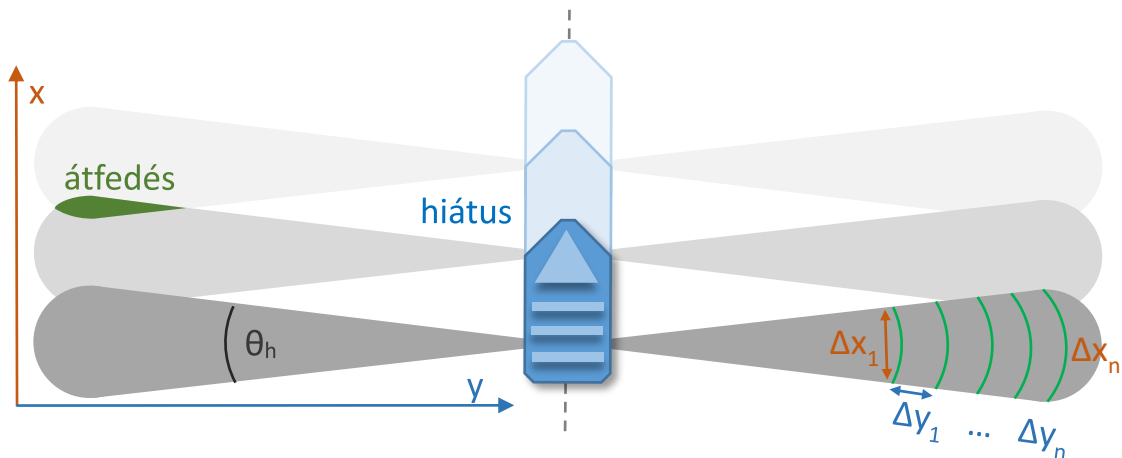


8. ábra. A szabályos- (A) és szórt (B) visszaverődés. Az (A) ábrán a zöld nyaláb jelöli a beeső hangnyalábot, míg a kék a szabályos visszaverődést szenvedett nyaláb. A szürke vonal jelöli a beesési merőlegest, melynek két oldalán a beesési- és a visszaverődési szög (θ) azonos. A (B) ábrán a szaggatott barna vonal az érdes-, egyenetlen felszín jelöli. A vastagabb kék vonal a visszaverődés fő irányába esik, míg a vékony kék vonalak a diffúz visszaverődés irányfüggő intenzitását jelölik.

A második visszaverődési forma a *diffúz visszaverődés*. Ebben a visszaverődési formában ugyan a hangnyaláb egy meghatározott irányból érkezik, de a visszaverődés nem csak egy irányban, hanem szórtan, a tér számtalan irányában bekövetkezik, amely ugyan jellemezhető egy olyan kitüntetett iránnyal, amely felé az energia nagy része távozik, de a többi irányba is juttat hanghullámot (8. ábra, 'B'). A szonárhoz csak a beeső nyalábbal közel párhuzamosan visszaverődő komponensek jutnak vissza. A jelenség fénytani analógiája, hogyha fehér bársonyt világítunk meg lézerpointerrel. Oldalra tekintő- és fáziskülönbség mérésén alapuló szonároknál csak a diffúz visszaverődésből származnak észlelések. A diffúz visszaverődés mértékét – a szonár irányából személve – a *Lambert-féle koszinusz törvény* írja le (BLONDEL, 2009; BUSCOMBE, 2017).

4.3.6 A térbeli felbontóképesség fizikai alapjai

A térbeli felbontóképesség az oldalra tekintő szonárok gyakorlati felhasználhatósága szempontjából kulcsfontosságú. A terepi felbontás két komponensre bontható a haladási irány szerint: kereszt- (*across-track*; ' Δy ') és hosszirányú (*along-track*; ' Δx ') felbontásra (9. ábra).



9. ábra. Oldalra tekintő (sidescan) szonárok hossz-('Δx') és keresztirányú felbontása ('Δy').

A hosszirányú felbontóképesség a felmérési területen nem állandó, mivel a szonár-
ból jobb- és bal oldalra kilépő nyáláb kúp alakú – így a szonár közelében kicsi, míg távolabb
egyre nagyobb térrészt fed le. A kúp ' θ_h ' nyílásszöge függ a szonár hangszórójának hosszirá-
nyú kiterjedésétől és az alkalmazott frekvenciától. A besugárzási területen a hosszirányú
„cellaméret” az alábbi képlettel adható meg:

$$\Delta x \approx R \cdot \sin \theta_h \quad \{14\}$$

ahol ' Δx ' a hosszirányú cellaméret [m]; ' R ' a szonártól mért távolság [m]; ' θ_h ' a szonár leta-
pogatósi kúpjának nyílásszöge (BLONDEL, 2009). A képletből látható, hogy $\Delta x \sim R$ ezért $\Delta x_n >$
 Δx_1 (9. ábra), így a felbontóképesség – a mederfenék geometriája miatt – távolsággal fordí-
tottan arányos.


A kúp alak további következménye, hogy a szonártól távolabb a cellák részben átfedhetik
egymást, ezért a külső, távoli celláknál előfordulhat, hogy ugyanazon fizikai térrészről több
letapogatósi cellába is jut visszaverődés, így egy kisméretű, igen magas reflektanciájú test
képe – hamisan – akár kettő vagy több cellában is megjelenhet (9. ábra „átfedés”).

A kúp a szonár közelében viszont kis kiterjedésű, ezért a jármű haladási sebességének függ-
vényében kisebb kihagyások alakulhatnak ki – olyan térrészek, amelyekre egyáltalán nem
jut hangenergia a letapogatózás közben, ezzel láthatatlanok a szonár számára.

A keresztirányú felbontóképesség a keresztirányú cellamérettel fordítottan arányos.
A keresztirányú cellaméret a következő képlettel számítható:

$$\Delta y \approx \frac{ct_0}{2 \cdot \cos \beta} \quad \{15\}$$

ahol Δy a keresztirányú cellaméret [m]; c az aktuális hangsebesség $\left[\frac{m}{s}\right]$; t_0 a szonárimpulzus hossza [s]; β a mederfenékre becsapódó sugárnyaláb és a felszín által bezárt szög (a 8. ábra [A] részén látható θ szög kiegészítő szöge; BLONDEL, 2009). Síknak feltételezett mederfenék esetén $\beta = \arcsin \frac{d}{R}$, ahol R a szonártól mért távolság; d pedig az aktuális vízmélység; ezért a keresztirányú cellaméret a szonártól távolodva csökken ($\Delta y_n < \Delta y_1$).

Az itt megadott kereszt- és hosszirányú cellaméreteket a cellák geometriáját csak közelítik, mivel a cellák nem téglalap alakúak (9. ábra), hanem sokkal inkább egy sajátos „” formához hasonlíthatnak. Ezen tulajdonságok jelentősen megnehezítik az oldalra tekintő szonárképek informatikai feldolgozását, mert a cellaméreteket igen változékonyak, a cellák átfedők lehetnek és speciális formájuk nem illeszkedik az elterjedten használt téglalap- és hatszög alakú pixelekhez, ezért ha a szonárképeket raszteresen, de közben a földrajzi térben koordinátahelyesen is szeretnénk ábrázolni, akkor mindenképpen interpolációs eljárást kell alkalmaznunk.

Ahhoz, hogy megfelelően georeferálhassuk az oldalpásztázó szonárképeket szükséges a θ_n szög ismerete, amely 455 kHz-en üzemelő, rekreációs célú szonárok esetében megközelítőleg $1,4-1,7^\circ$.

A kutatás során alkalmazott Lowrance® StructureScan® 3D szonár esetében ez az érték viszont nem állt rendelkezésre. A Lowrance® idevágó technikai szabadalma (COLEMAN, 2013) ugyan említi egy „kb. $1,4^\circ$ -os” értéket, azonban kihangsúlyozza, hogy a szabadalomban szereplő értékek csak példák és ezért eltérhetnek a készülékben *ténylegesen* alkalmazott nyílásszögtől – miközben a szabadalom utolsó, „Követelések” bekezdésében *tényként* említi az előbbi értéket.

Hasonlóan ismeretlen a t_0 érték is, de az azonos funkcionalitású, konkurens, 455 kHz-es Humminbird® szonárok t_0 értéke $85 \mu s$ (BUSCOMBE, 2017).

4.4 A szonár-egyenlet

A szonárrendszerek hangtanának leegyszerűsített, absztrakt összefoglalója a „szonár-egyenlet” (PRIBIČEVIĆ, et al., 2016), amelynek minden tagját az összevethetőség érdekében tízes-alapú, logaritmikus skálán fejezzük ki (MEDWIN & CLAY, 1998):

$$EL = SL - 2TL + TS \quad \{16\}$$

ahol EL (Echo Level) a visszaérkezett jel erőssége; SL (Source Level) a szonárból kilépő „forrás” jel erőssége; TL (Transmission Loss) továbbítási veszteség, amely a jelet a fentebb

felsorolt fizikai tényezők miatt kétszeresen (oda-vissza) érinti és 'TS' (Target Strength) a mederfenékről, vagy a mederfenéken fekvő tereptárgyról visszaverődő jel erőssége (mely függ az objektum anyagi minőségétől és a besugárzás szögétől egyaránt). A képletből az 'SL' tag konstans, a szonár aktuális üzemmódjára jellemző állandó. Az egyenlet egyes tagjai tovább bonthatók:

- A szonárra jellemző konstans 'SL' tag rekreációs célú szonároknál közvetlenül nem ismert, viszont minden esetben adott a szonár akusztikus teljesítménye, vagy annak négyzetes középértéke (RMS – Root Mean Square). Ez az érték rendszerint 250–1 000 W RMS között mozog. (a Humminbird® szonárok 1 000 W RMS-en; a kutatás során alkalmazott Lowrance® StructureScan® 3D szonár pedig 250, vagy 500 W RMS-en üzemel – beállítástól függően). Ezen értékek logaritmikus konverziójára (BUSCOMBE, 2017) a következő képletet javasolja: $SL = 10 \cdot \log_{10}(P_{RMS})$, ahol ' P_{RMS} ' az alkalmazott szonárrendszer teljesítményének négyzetes középértéke; így behelyettesítve az alkalmazott Lowrance® StructureScan® 3D szonárok 'SL' értéke 500 Wattos teljesítmény esetén: $SL = 10 \cdot \log_{10}(P_{RMS}) = 10 \cdot \log_{10}(500 \text{ W}) \approx 26,9897 \text{ dBW}$.
- A jeltovábbítás veszteségét leíró '2TL' tag is tovább bontható: $2TL = 40 \cdot \log_{10}(R) + 2 \cdot \frac{\alpha}{1000} R$, ahol ' R ' a szonár- és a besugárzott célpont közt mért távolság [m]; ' α ' („attenuáció”) az elnyelődés mértéke $\left[\frac{\text{dBW}}{\text{km}} \right]$. A $40 \cdot \log_{10}(R)$ tag megegyezik a fentebb említett 'TVG'-vel.
- A 'TS', a mederfenékről visszaverődő jel erőssége két komponensből tevődik össze: $TS = BS + 10 \log_{10}(BA)$, ahol ' BS ' (Backscatter Strength – visszaverődés) a reflektáló felület reflektanciájára jellemző állandó; ' BA ' (Backscatter Area) pedig a reflektáló felület területe. Ezen képletben azért szükséges a ' BA ' tagot bevezetni, hogy az azonos anyagi minőséggel rendelkező mederfenék-részek reflektanciája azonos legyen, függetlenül a besugárzott terület nagyságától, így a szonárfej távolságától. $BA \approx \Delta x \cdot \Delta y$, ahol ' Δy ' a keresztirányú-, ' Δx ' pedig a hosszirányú cellaméret [m]. Batimetria mérésére képes (interferometrikus-, vagy többcsatornás-) szonárok esetében a képlet tovább finomítható a Lambert-féle koszinusz-törvény értelmében (VERONESI & HURNI, 2014): $BS = BS_0 + 10 \log_{10}(\cos \theta)$, ahol ' BS_0 ' a felület irányfüggetlen reflektanciája, ' θ ' pedig a beesési szög (8. ábra), $\theta \in [0^\circ; 90^\circ[$ (PRIBIČEVIĆ, et al., 2016; BUSCOMBE, 2017).

- A logaritmusos szonárregyenletből már csak egy, az 'EL' komponens maradt. Ez az az érték, amelyet a szonárfej az adott visszaérkezési irányból regisztrál. A szonárregyenlet matematikai értelemben ezzel teljesnek tekinthető, viszont a rekreációs célú szonárok ezen értéket nem dBW-ban, hanem 8-bitre kódoltan, binárisan adják meg, így a regisztrált érték nullától 255-ig terjedhet a pozitív egészs számok halmazán. A konverzióra (BUSCOMBE, 2017) az alábbi képletet adja: $EL = B \cdot \frac{SL}{255}$, ahol 'B' a szonárból kapott byte-érték; 'SL' (Source Level) a szonárból kilépő, „forrás” jel erőssége.

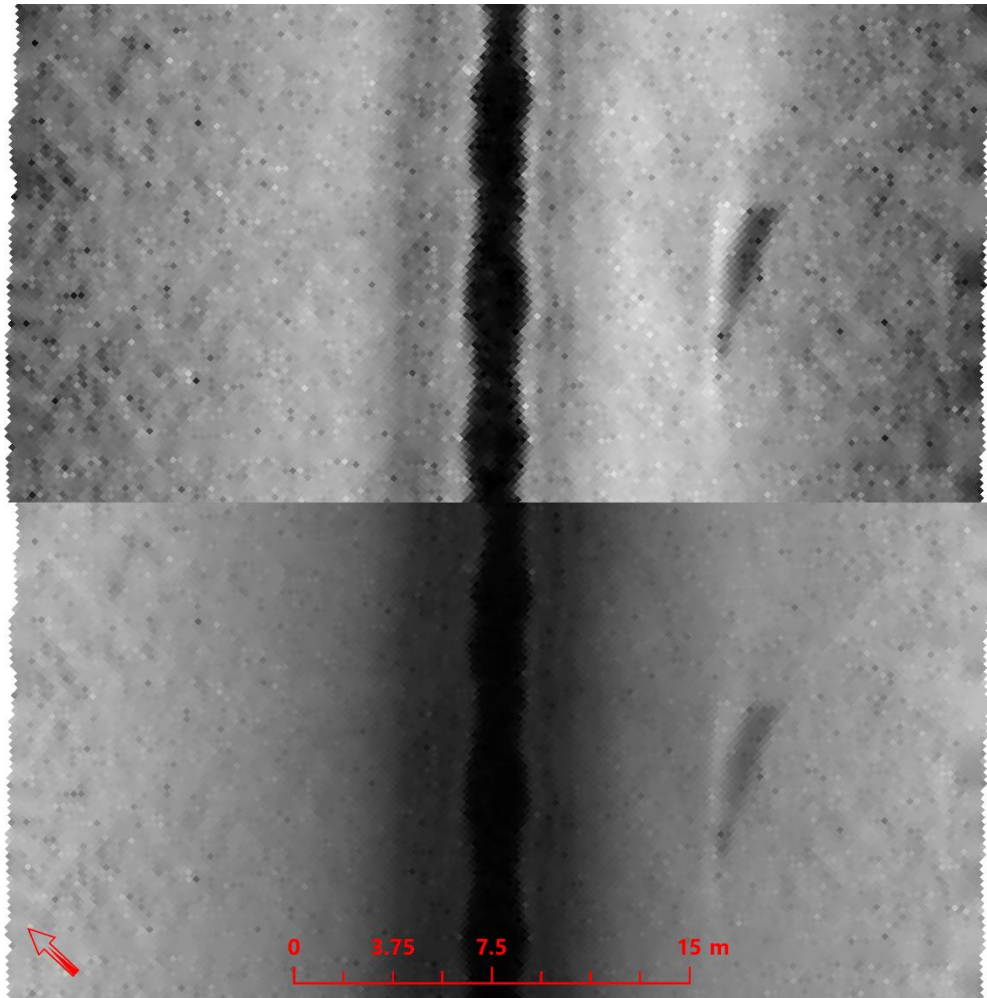
Így az egyes tagokat behelyettesítve az alábbi képletet kapjuk:

$$B \cdot \frac{SL}{255} = SL - \left(40 \log_{10}(R) + 2 \frac{\alpha}{1000} R \right) + BS_0 + 10 \log_{10}(\cos \theta) + 10 \log_{10}(BA) \quad \{17\}$$

A képletből a 'B' adott; az 'SL' tag ismert; folyóvízi felmérésben az ' α ' elhanyagolható; a ' θ ' az oldalra tekintő szonár képével legalább egyező felbontású batimetria hiányában vagy ismeretlen, vagy síknak *feltételezett* mederfenék esetében közelíthető; a 'BA' viszont a – Lowrance® szonárok esetében – a sugárnyaláb részletes geometriájának ismerete nélkül ismeretlennek tekinthető. Így *nem kevés elhanyagolással élve* és 'BS₀'-re rendezve arra jutunk, hogy:

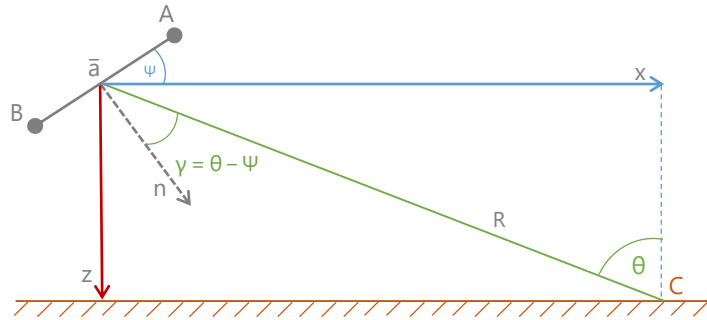
$$BS_0 = SL - B \cdot \frac{SL}{255} + 40 \log_{10}(R) \quad \{18\}$$

Ezzel a képlettel egy olyan eszközt kapunk, amellyel alapszintű radiometriai korrekciót hajthatunk végre az oldalra tekintő szonárok képein (10. ábra). A 10. ábra felső paneljében egy korrigálatlan, byte-kódolt [0; 255] fenék-szakasz látható. A panel középvonalában látható fekete csík az alacsony reflektanciájú vízoszlop. A felső panel kontrasztos, de jól megfigyelhető a peremi sötétedés az ábra szélei felé. Ugyanezen ábra alsó panelje a fenti képlettel korrigált, rekvantált, dBW-ra átszámított formája. Ez a panel már kevésbé kontrasztos, de eltűntek a peremi sötétedés jelei, kevésbé zajos és a valósághoz közelebb álló, homogénebb képet ad.



10. ábra. Ugyanazon folyószakasz korrigálatlan- (felső panel) és a $BS_0 = SL - B \cdot \frac{SL}{255} + 40 \log_{10}(R)$ képlettel radiometriailag korrigált sidescan képe (alsó panel). A felvétel a Dráván, a Barcsi kikötőtől nyugatra készült (K. h.: $17^{\circ}25'33,082''$; É. sz.: $45^{\circ}56'45,565''$), Lowrance® StructureScan® 3D szonárral. A kiértékelés saját feldolgozó programban készült. Az oldalra tekintő szonárképek értelmezésének módszertan a „4.6.3 Oldalra tekintő szonárképek értelmezése” című fejezetben olvasható.

4.5 Fáziskülönbség mérésén alapuló, háromdimenziós batimetrikus szonárok működési elve



11. ábra. Fáziskülönbség mérésén alapuló batimetrikus szonárok működési elve. A betűjelek magyarázata alább, a szövegben olvasható. (LURTON, 2000) alapján szerkesztve.

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

Ha ismerjük a szonár tervezéséből adódó, a 11. ábrán szereplő $\bar{a} = \overline{AB}$ 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:

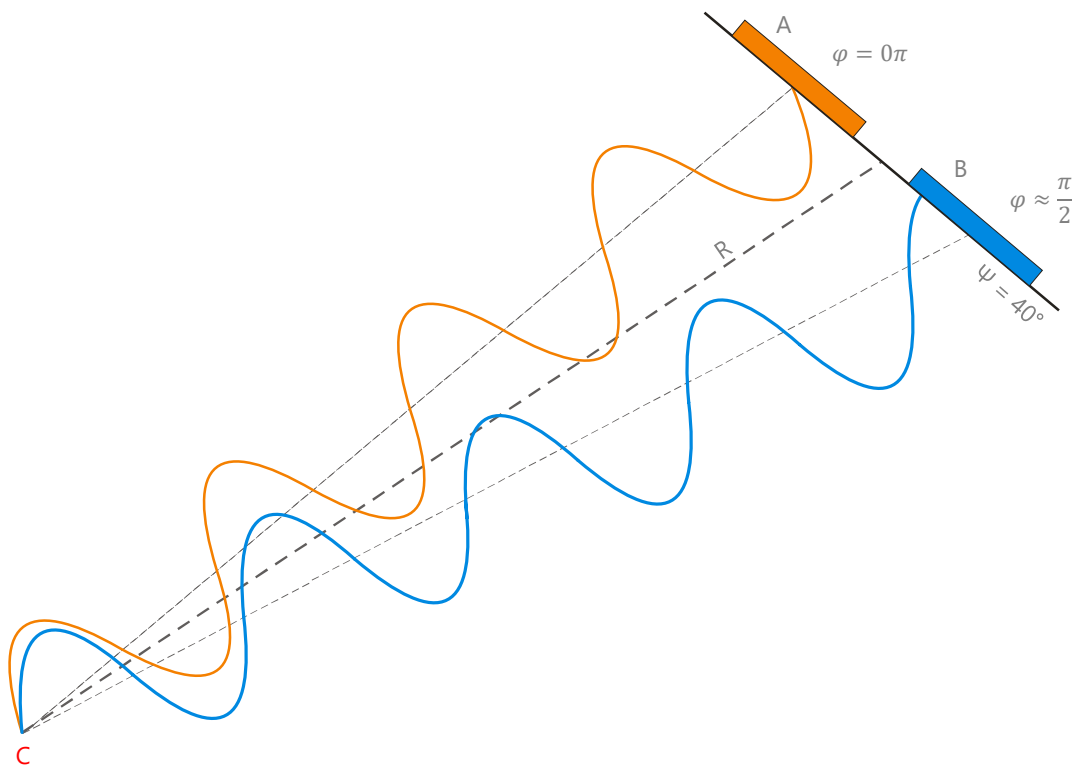
$$\Delta\varphi_{AB} = k\delta R = ka \sin \gamma = 2\pi \frac{\bar{a}}{\lambda} \sin \gamma \quad \{19\}$$

ahol $\Delta\varphi_{AB}$ az 'A' és a 'B' ponton mért fázis különbsége (12. 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 {19}. és a $\gamma = \theta - \Psi$ képletből (11. ábra) a keresett θ szög kifejezhető (LURTON, 2000):

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta\varphi_{AB} + 2\pi \cdot n}{ka} \right) + \Psi \quad \{20\}$$

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.



12. ábra. A fáziskülönbség gyakorlati észlelése. A betűjelek magyarázata a szövegben és a 11. 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 szinuszcörbe a vízrészecskék kitérésének mértékét szimbolizálja a longitudinális hullámban. PROCTOR, et al. (2016) ötlete alapján.

A ' $\Delta\varphi_{AB}$ ' értéke azonban nem mérhető *tényleges* fáziskülönbség formájában, a két hidrofon csak a *látszólagos, relatív* fáziskülönbség megadására képes (LURTON, 2000; BLONDEL, 2009). 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 szinuszhullámban – 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 koordinátáira, 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 (BUSCOMBE, 2017). 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 11. ábra ‘ x ’ vektorának kezdőpontját az ismert koordinátapontba 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 (11. ábra ‘ n ’ vektor), majd befelé és kifelé folyamatosan csökken – a mért pontok jellegzetesen, pillangószerűen szóródnak (GRALL & MARSZAL, 2015; ØDEGÅRD et al., 2018). A hiba mértékét a következő képlet alapján határozhatjuk meg (LURTON, 2000):

$$\frac{\delta z}{z} = \frac{\delta \Delta \varphi_{AB}}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{a} \cdot \frac{\tan \theta}{\cos \gamma} \quad \{21\}$$

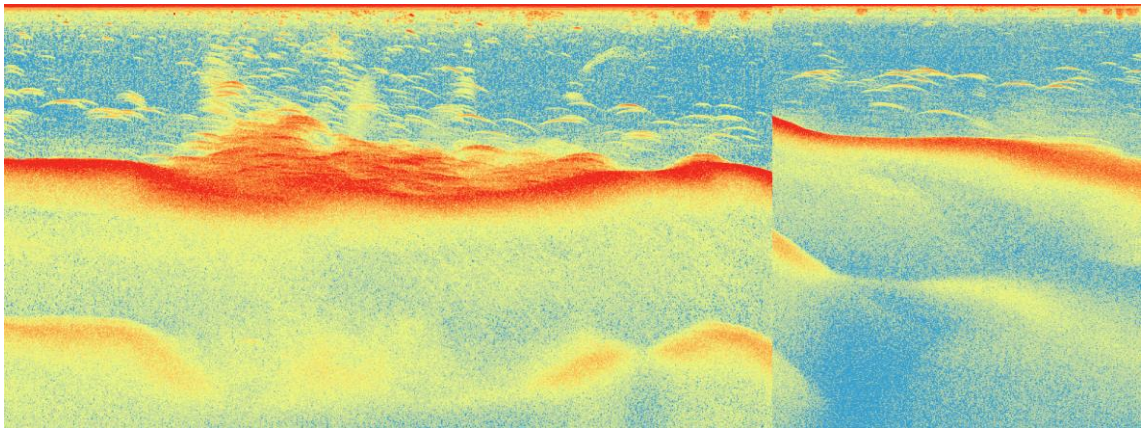
A hiba mértéke függ a fáziskülönbség meghatározásának hibájától; valamint a ‘ θ ’ szög tangensének, illetve a ‘ γ ’ koszinuszának hányadosától, ahol $\gamma = \theta - \Psi$ (11. ábra).

4.6 Kétdimenziós szonárképek értelmezése

Jelen alfejezetekben a rekreációs célú szonárokból kinyerhető szonogramok vizuális interpretációjának módszereit mutatjuk be. Ezen szonogramok együttes értelmezése szükséges a mederfenék tulajdonságainak térképezéséhez. A 4.6.1. – 4.6.3. fejezetek ábráit az 5.3. fejezetben leírtak alapján készült, saját fejlesztésű szoftverrel (10.1 Szonáradatsort feldolgozó szoftverrendszer) nyertük ki a nyers adatállományokból.

A szonogramok értelmezése teljesen nem automatizálható, mert ehhez a hidrológiai környezet ismerete, vagy többszörös, többirányú felvételezés szükséges.

4.6.1 Lefelé tekintő szonárképek értelmezése

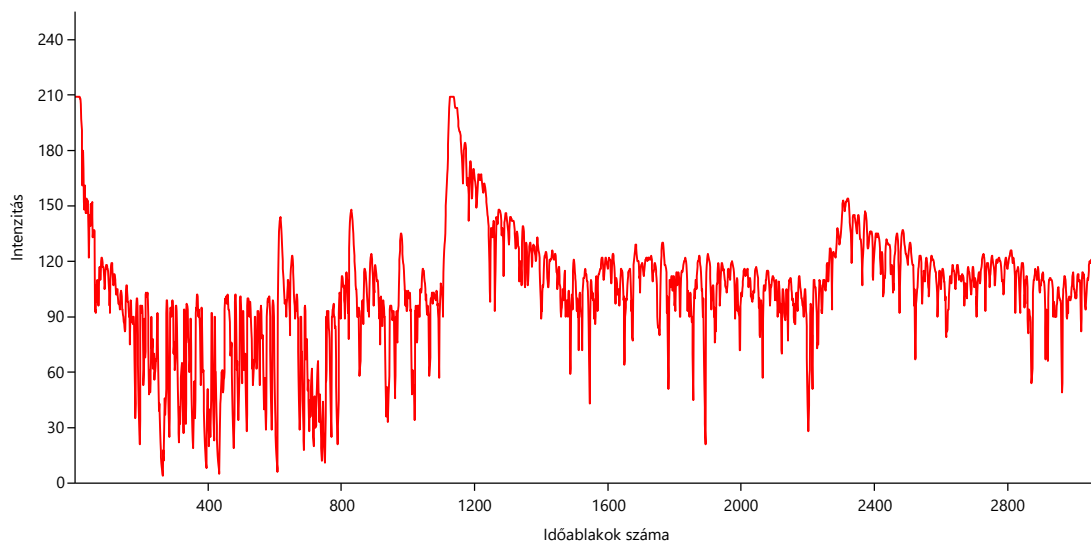


13. ábra. Függőlegesen lefelé tekintő szonár intenzitás diagramja. Az ábra csak TVG korrekciót tartalmaz. A felmérés a Skiatook tavon, Oklahoma államban (U.S.A.), a 20-as főút töltésétől északra készült (Nyugati hosszúság: 96,1830055°; Északi szélesség: 36,3792042°). A felvételt a Lowrance Inc. fejlesztőgárdája készítette 2015-ben (LOWRANCE, 2015). A kép kiolvasása és az 5.3-as és a 10.1-es fejezetben bemutatott, saját fejlesztésű szoftverrendszerrel történt.

A feldolgozatlan, függőlegesen lefelé tekintő szonárok képe általában a 13. ábrára hasonlít. Ez az intenzitás diagram a 2. ábrán bemutatott geometriai konfigurációban készült, így a szonár alatti kúpban elhelyezkedő objektumokat és mederfenék-részletet írja le. Nézzük meg, hogy a szonár elektronikája hogyan állítja elő az alábbi képet!

1. A hajótestre szerelt, lefelé tekintő szonárfej hangszórója kibocsájt egy rövid, például egy 1 milliszekundum hosszúságú, 200 kHz-es hanghullámot. Ez a gyakorlatban 200 darab teljes szinusz hullámot jelent. A kibocsájtott impulzus kúpszerű formában egyenesen halad lefelé a vízben.

2. Mikor befejeződik a jelkibocsajtás, a hangszórók lekapcsolnak, a hidrofonok pedig bekapcsolnak. A szonárfej innentől kezdve közönséges hangfelvevőként rögzíti a mederfenékről és a köztes objektumokról visszaverődő hanghullámok amplitúdóját és beérkezésének idejét. Ez a technika annyiban tér el a közönséges mikrofonoktól, hogy nem rögzíti a beérkezett hang frekvenciáját – mivel az ismert, jelen esetben 200 kHz – csak a hangerősséget az idő függvényében.
3. A hidrofonok csak egy meghatározott ideig vannak bekapcsolva. Jelen ábra esetében a kép (bal szélső) első oszlopának felmérésekor ennek az időablaknak a nagysága megközelítőleg 48,8 milliszekundum volt. A szükséges időablak nagyságát a szonár elektronikája egy előzetes mérés alapján automatikusan állítja be. 48,8 milliszekundum alatt, $1500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ -os terjedési sebességet feltételezve a hang 73,125 métert képes megtenni: 36,576 métert lefelé és 36,576 métert visszafelé a szonár irányába, tehát ebben a konfigurációban a legnagyobb detektálható (valós) mélység 36,576 méter, amely a 13. ábra bal, első oszlopának legalsó pixelét jelöli. Ezen időablakban keletkezett felvételekre ne úgy tekintsünk, mint egy hagyományos hangfelvételre, hanem úgy, mint egy pontosan 48,8 milliszekundum hosszúságú, 3 072 lépésre bontott idő-amplitúdó diagramra (14. ábra).



14. ábra. A 13. ábra első oszlopának idő-intenzitás diagramja.

4. A rögzítés után megkezdődik a felvétel feldolgozása. Jelen esetben a szonár elektronikája 3 072 db, kicsit hosszabb, mint 15,8 mikroszekundumos szeletekre vágta a felvételt. Ennyi idő alatt a hang kb. 2,4 centimétert képes megtenni – ezzel a számmal meg is becsülhetjük a szonár függőleges felbontását. Ez 63 kHz-es mintavételezési frekvenciát jelent, miközben a kibocsajtott impulzus frekvenciája 200 kHz.

5. Az így kapott adatsor viszont további utófeldolgozást igényel, mivel a hangerősség ilyen nagy távon nem rögzíthető közvetlenül, mivel a hangintenzitás a távolság negyedik hatványával egyenes arányban csökken – pusztán geometriai okokból. A hang egy része a közegben elnyelődik, egy része szóródik, egy része visszaverődik a különböző hangsebességű közegek határfelületéről. Ezen két okból a hang a kibocsájtott hang hangerejéhez képest több nagyságrendet gyengül. Ezt a gyengülést a szonár elektronikájának kompenzálnia kell, különben egy, a távolsággal arányosan csendesedő, elhaló függvényt kapunk. Különböző anyagú és felszínű anyagok különböző mértékben verik vissza a rájuk eső hangot. A visszaverődés mértéke alapján, ha nem is azonosíthatjuk, de jól elkülöníthetjük a különböző anyagi minőségű mederfelszíneket. Ha a hangfeldolgozás folyamatából kihagynánk a távolságfüggő (időfüggő) erősítést, akkor ezt az elkülönítést nem lehetne megtenni, mert akár az is előfordulhatna, hogy egy közeli, puha, rosszul reflektáló homokpad pont ugyanolyan intenzitású képet adna, mint egy sokkal mélyebben, a mederfenéken fekvő igen jól reflektáló acéllemez. Ez a lépés a valóságban nem feltétlenül jelent utófeldolgozást, gyakran a mikrofon jelének az idő függvényében növekvő erősítésével oldják meg. Gyakorlatban ezt úgy kell elképzelni, mintha adott ritmusra feltologatnánk a hangerőt.
6. Az így kapott, már normalizált, felszeletelt adatsort a szonár elektronikája átskálázza nullától 255-ig tartó (1 bájtos) skálára, majd néhány metaadattal (mérés időpontja, maximális detektálható távolság, a mérés koordinátái, a kibocsájtott hanghullám frekvenciája, a vízhőmérséklet, a vízsebesség, a valódi haladási sebesség, a szonárfej háromdimenziós állásszögei) sorfolytonos, bájt-tömbként (vektorként) kiírja a szonárhoz csatlakoztatott microSDHC™, vagy microSDXC™ memóriakártyára. Az elektronika a kapott függvény elemzésével megállapítja a hajó alatti mélységet – amit biztonsági okokból rendszeresen néhány százalékkal alábecsül.
7. Ezután a teljes folyamat (1–6) megismétlődik. A 13. ábra minden egyes oszlopa egy ilyen feldolgozási folyamat eredménye, ahol a 14. ábrán látható „Idő–Intenzitás” diagramot úgy vizualizáltuk, hogy a függvényről leolvasható értékeket egymás alá tettük, úgy hogy egy időablak eredménye egy pixelnek feleljen meg. Ezzel egy teljes mérés egy oszlopot jelent. A mérések oszlopait egymás után helyeztük, ezzel kialakult egy kétdimenziós, szürkeárnyalatos bitkép, amelyet utólag úgy színeztünk, hogy a '0' a kék, a '255' pedig piros legyen (256 lépésben, úgy hogy egy lépés nagysága az adatsor szórásának 256-od része legyen).

Nézzük meg a rögzített kép (13. ábra) értelmezését! Először helyezzük el a mérést térben: ez a szonárdiagram egy víztározóban készült, a hajó nagyjából egyenesen nyugatról kelet felé haladt, így a 13. ábra egyes oszlopai lefelé táguló kúpok egymás utáni sorozatának tekinthetők (2. ábra szerinti formában). A felső sorok viszonylag kis térrész visszaverődési viszonyainak összegzett képei, az alsó sorok pixelei sokkal nagyobb terület visszaverődési viszonyainak geometriai összegzésekként jönnek létre, így nem szabad ezen diagramokra egy hajó alá rögzített, vékony lapként gondolni.

A 13. ábra tetején végigvonul egy látszólag nagy intenzitású, egy szonárhoz közeli objektumot jelölő vékony piros csík. Ez egy melléktermék, amely abból fakad, hogy a hangszórókból kilépő jel nem irányítható tökéletesen és a hanghullámok nem csak lefelé, hanem kismértékben a felszín felé is megindulnak, majd a vízfelszínről visszaverődnek. Ez a hamis zaj nagyintenzitású, közeli tárgyként jelenik meg a szonár képén. Egyes szonogram-vizualizációs alkalmazások egyszerűen levágják ezt a csíkot.

A felső zajcsík alatt egy közepes intenzitású, lefelé hamar elhaló (itt sárga), fraktálokra emlékeztető zóna következik. Ez a vízfelszín közelében lévő törmelékek, levelek, kisméretű, a hajótest által keltett örvények reflexiója, a hajómotor zaja, ritkán a kavitációs buborékok összeomlásából származó „dübörgés” nyoma.

Ettől lefelé egy nagyobb összefüggő kék, alacsony reflexiójú zóna látható: ez maga a tiszta víz a mederben, ami gyakorlatilag nem szolgáltat semmilyen visszaverődést. Ezekben az időablakokban a hidrofon csendet regisztrál. A kék zónát jellegzetes lefelé mutató ívek törik meg. Ezek az ívek a halak. A „halívek” eleje és vége lehajlik, miközben az intenzitás mindkét irányban csökken. Maximális intenzitás a nagyobb testű halaknál középen látható. A halívek azért jönnek létre ilyen jellegzetes formában, mert a halak teste orsószzerű, fejük és farkuk irányában elvékonyodik abban a síkban, ahonnan a szonár szemléli őket, így gyengébb visszaverődést kapunk a farokúszóról, és a fejről, valamint erősebbet a hal vastagabb hátáról. A hal háta közelebb esik a szonárhoz, ezért közelebb jelenik meg, formájából- és méretéből fakadóan nagyobb intenzitással. A halak és a halívek mérete összefüggést mutat, így nagyobb halak rendszerint nagyobb ívet jelentenek, viszont a halak méretén kívül az ív hosszát befolyásolja a szonár és a hal relatív sebessége is. Gyors csónakokról végzett szonármérések esetén a halívek jellegzetesen összenyomódnak és „∩” alakúvá válnak. A halívek léte jelenti a tökéletes bizonyítékát annak, hogy a lefelé tekintő szonár nem egy keskeny lapban, hanem egy nagyobb térrészben gyűjti az adatait, különben a halívek alatt a halak egyszerűen kitakarnák a mederfeneket.

A kék zóna után egy nagyobb intenzitású, változatos szélességű sáv következik. Ez a sáv jelenti magát a mederfeneket. A 13. ábra bal oldalán a mederfenék kicsivel a diagram

egyharmada felett helyezkedik el, az elméletileg regisztrálható 36,576 méteres távolságból 13,8 méter mélységben.

A felszín borítására és mederfenék keménységére három tényező alapján következtethetünk:

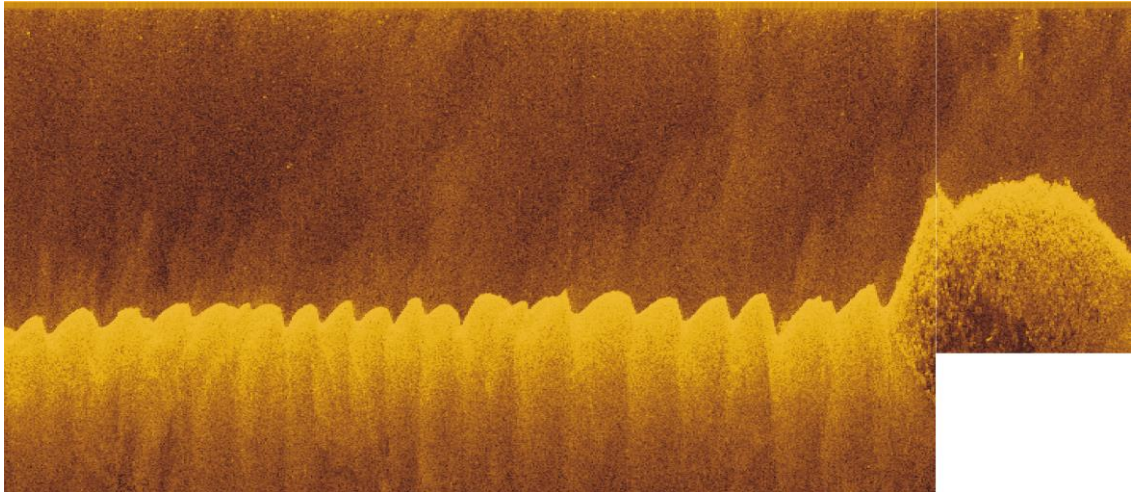
1. Minél élesebben, minél nagyobb intenzitáskülönbséggel válik el az alacsony reflektanciájú zónától, annál nagyobb a valószínűsége, hogy kemény anyag borítja a felszínt. A 13. ábra bal oldali ötödében határozottan kemény mederfelszín látható.
2. Minél szélesebb a nagyintenzitású sáv, annál biztosabb, hogy kemény felszínborítású, de esetleg lejtős a mederfenék. A 13. ábra a széles, narancssárga rész nem kemény felszínt jelöl, mert formailag ugyan széles sáv, de intenzitása csak közepes (narancs – vörös helyett).
3. Ha a mederfenék elsődleges visszhangja alatt, ugyanolyan távolságra, mint amilyen messze van a mederfenék a vízfelszíntől egy másodlagos visszhangot is látunk, akkor biztosak lehetünk benne, hogy a mederfenék kemény, jól reflektáló anyaggal borított. Ez a jelenség akkor jön létre, hogyha a hang négyszer teszi meg a közegben az utat: egyszer a szonártól a mederfenékig, majd a mederfenékről visszaverődve a szonárig, majd a szonár felett lévő vízfelszínről visszaverődve ismét a mederfenékig, majd a mederfenéktől végül vissza a szonárig. Ezért a másodlagos mederfenék-visszhang látszólag kétszer olyan messze van a szonártól mint a valós mederfenék, valamint intenzitása szükségszerűen kisebb. Az olyan helyeken, ahol a mederfenéket puha, jó hangelnyelő anyag borítja, esetleg növényzet fedi, a jelenség nem alakul ki, mert már nincs hanghullám, ami megegyezné az utat – még kétszer.

A 3. pontból következik, hogy a szonárrendszerek úgy határozzák meg a megfigyelési időablakuk nagyságát, hogy az elvi távolság tartomány fele fölött helyezkedjen el a valós mederfenék, így a másodlagos visszhangok is megfigyelhetők, melyek által következtethetünk a meder anyagára. Néhány szonár-alkalmazás elrejtí a szonogram ezen tartományát.

A 13. ábra utolsó harmada környékén egy éles váltás látható. A jelenség oka, hogy a vízmélység csökkenése miatt a szonár automatikusan lerövidítette a megfigyelési időablak hosszát, így a közeli objektumok nagyobb felbontású detektálására van lehetőség. A helyes értelmezéshez az elvágott részeket – képzeletben – egyszerűen helyre kell csúsztatni. Automatikus és precíz elemzésekhez a szonár minden egyes mérés metaadatában közli az időablak nagyságát, így a több „ugrást” tartalmazó szonogramok is georeferálhatók. A szonárok ezen automatikus szolgáltatása kikapcsolható – és érdemes is kikapcsolni, ha előre ismerjük a működtetés mélységtartományát (LOWRANCE, 2014).

A lefelé tekintő szonárok képén ritkán a termoklin réteg felszíne is látható kisintenzitású, zajos sávként.

4.6.2 DownScan™ és Down Imaging™ szonárképek értelmezése



15. ábra. DownScan™ kép a Barcsi kikötő előteréből (Keleti hosszúság: 17,4258014°, Északi szélesség: 45,9460126°). A kép függőleges irányban tízszeresen túlmagasított. A medermélység bal oldalon átlagosan 7,6–7,8 méter, míg jobb oldalon kiemelkedő küszöb csúcsa 4,4 méteres mélységben van. A kép jobb oldalán, a küszöb előtt látható fehér, függőleges csík a mélységváltozás miatt bekövetkezett automatikus időablak- és felbontásállítás következménye.

A DownScan™ (Lowrance®) és a Down Imaging™ (Humminbird®) képek a 15. ábrán látható szonogramhoz hasonlítanak. DownScan™ és a Down Imaging™ képek olyan egycsatornás szonár által készített speciális, lefelé tekintő szonárképek, amelyek a hagyományos megoldással ellentétben nem egy közel kör alaprajzú területről, hanem egy a haladási irányra merőlegesen elnyúló, ellipszis alaprajzú térrészről szolgáltatnak összegzett mélység- és intenzitásinformációt. A DownScan™ előnye a hagyományos lefelé tekintő szonárképekhez képest, hogy az akusztikailag összegzett terület kiterjedése jóval kisebb, így az egyes objektumok nem elmosódottan, hanem látszólag hosszmeteszben jelennek meg.

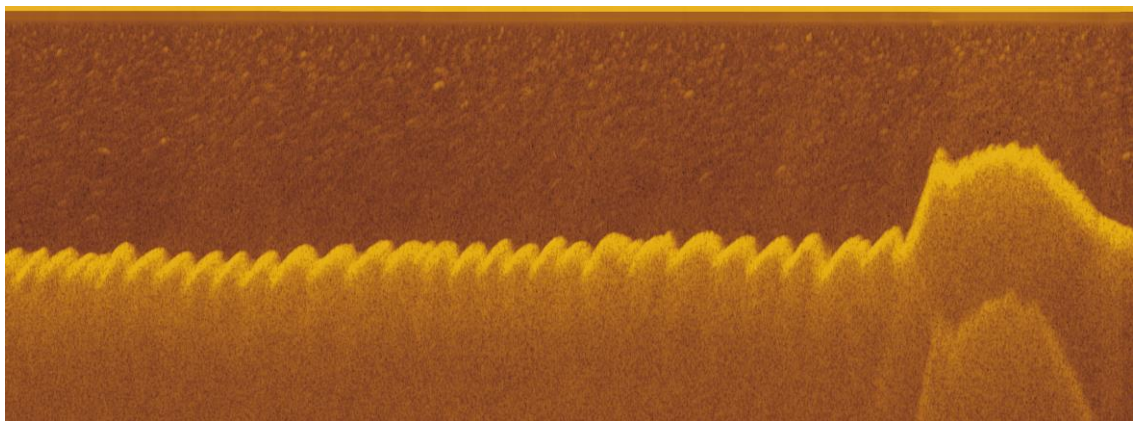
Vegyük például a 15. ábra bal oldalán látható homokfodrokat! Ezek a homokfodrok a mérőhajó haladási irányára közel merőlegesen, keresztben helyezkednek el a folyómederben és szabályszerűen, az áramlási sebességtől függően ismétlődnek.

A kép jobb oldalán a mederanyag viszont erősen megváltozik: a mélység hirtelen lecsökken, a felszín érdessé válik; a szemcseméret homokról kavicsra vált. Mivel a kiemelkedés egyik oldala lefelé sötétebb, miközben a magas reflektanciájú, részletgazdag terület látszólag szélesebb, feltételezhető, hogy a küszöb nem csak kiemelkedik, hanem a csónak haladási

irányára merőlegesen kismértékben lejt is (a lejtés iránya ezen szonogram esetében nem megállapítható).

A DownScan™ képen látottakat hasonlítsuk össze ugyanezen terület lefelé tekintő szonárképével (16. ábra)! Látható, hogy a kép részletgazdagsága alacsonyabb, annak ellenére, hogy a felbontás nagyobb (3 072 pixel 1 400 helyett). A lefelé tekintő szonárkép azért hat elmosódottnak, mert az átlagolt terület kiterjedése jóval nagyobb, így hiába változik a mederanyag, a kavicsok sokaságának a szonártól mért átlagos távolsága nagyban hasonlít a homokos területek képére. Egyetlen információ, amely alapján (jókora beleérzéssel és terepi tapasztalattal) következtethetünk a mederanyag váltásra az a magas reflektanciájú sáv enyhe megvastagodása (amit például a lejtőszög megváltozása is okozhat).

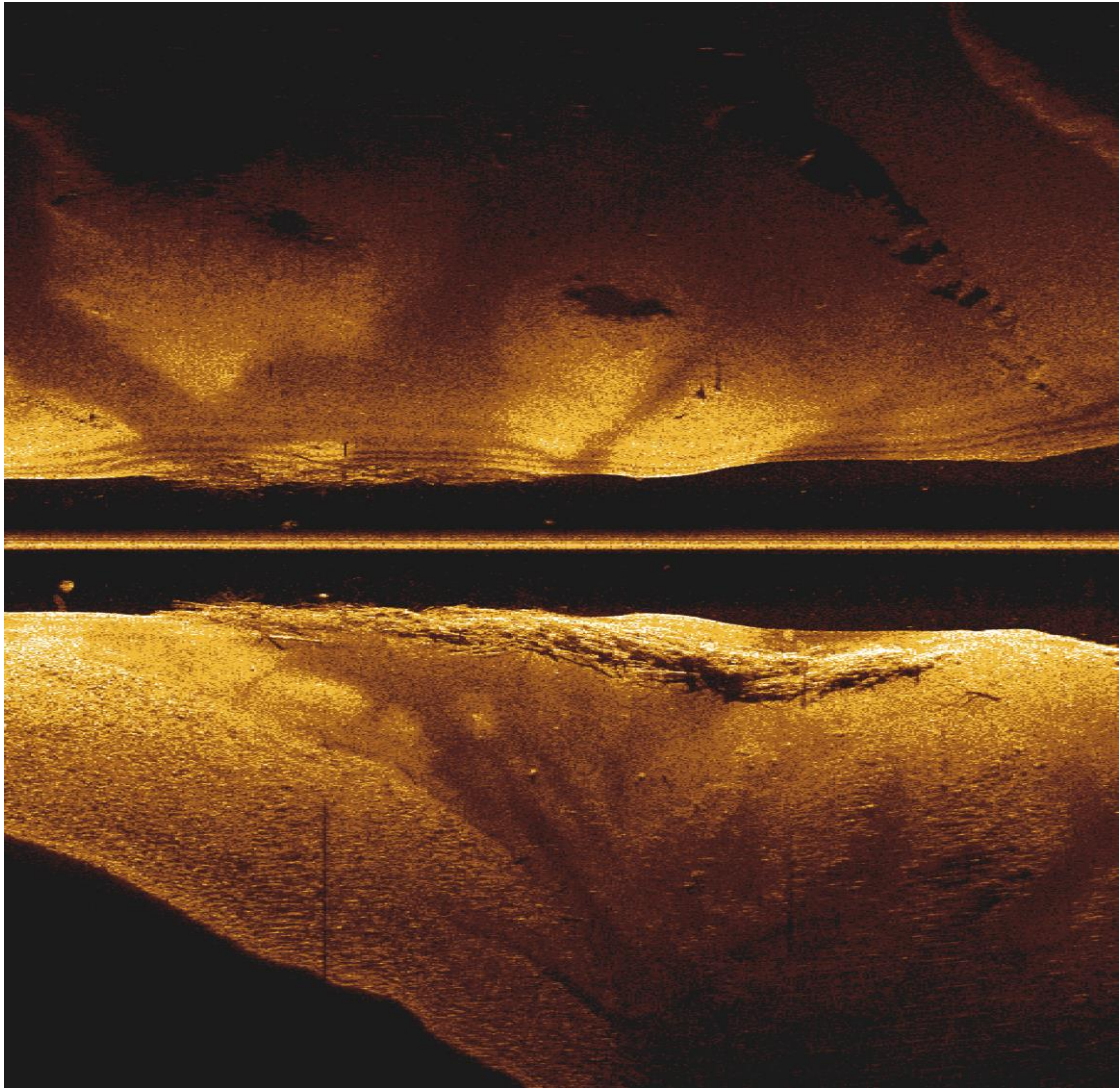
Mindemellett a DownScan™ nem tekinthető a lefelé tekintő szonárképek fejlettebb párjának, vagy leváltójának: a DownScan™ képen a zátony pontosan akkor jelenik meg, amikor nekiütköztünk – mélységváltozás előrejelzésére így nem alkalmas.



16. ábra. Lefelé tekintő szonárkép kép a 15. ábrával megegyező helyről, tízszeres túlmagyarással.

4.6.3 Oldalra tekintő szonárképek értelmezése

A feldolgozatlan, oldalra tekintő szonárképek általában a 17. ábra szerinti. A kép legfeltűnőbb része, hogy szimmetrikusnak hat, mert középen egy fehér csík választja ketté, melyet jobbról és balról egy-egy fekete, néhány világosabb pöttyöt tartalmazó sáv vesz körül. Ettől a két sötét sáv felé rendszerint egy világosabb perem következik, amely folyamatosan sötétedik a kép szélei felé.



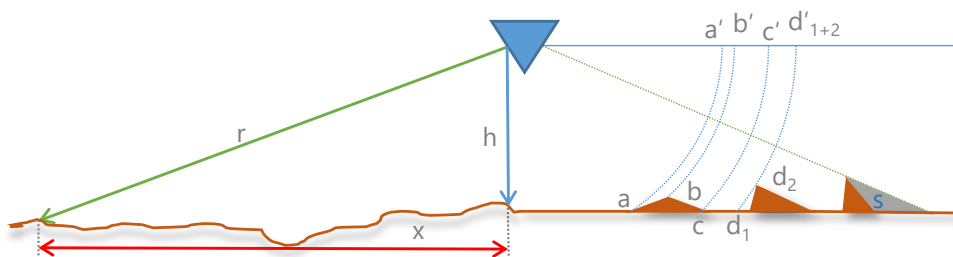
17. ábra. A 13. ábrával megegyező helyen készült, oldalra tekintő, pásztázó szonár kronogramja.

A kép két részre osztható: a középső világossárga csíktól felfelé a szonártól balra, lefelé a jobbra eső mederfenék sidescan képe látható. Az oldalra tekintő szonár lényegében csak abban tér el a fentebb leírt, függőlegesen lefelé tekintő szonáralkalmazásoktól, hogy a hangszórók és a hidrofonok párosával, a jármű jobb- és bal oldalán, szimmetrikusan helyezkednek el és kb. 30–60°-ban döntöttek (CALEB, 2005; KIRMANI, 2016). A 17. ábra és a 13. ábra ugyanarról a területről készült.

A középső világos csík kétpixelnyi középvonalát a szonárhoz legközelebbi reflektáló felület, a vízfelszín okozza, majd mindkét irányban egy keskeny, elhaló, zóna látható. Ez a zóna teljesen megegyezik a 13. ábra felső részén látható területtel, amely reflexióját szintén a vízfelszín közelében lévő törmelékek, levelek, kisméretű, a hajótest által keltett örvények okozzák, annyi különbséggel, hogy itt ez 30°-os oldalnézetben látható.

A következő sötét zóna a szonár alatt lévő vízoszlop, melyben kevés a reflektáló test, vagy sűrűségkülönbség. A benne lévő elszórt, világos pöttyök közvetlenül a jármű alatti vízoszlopban lévő objektumok és élőlények (halak) visszhangjából származik. Ezen a szonár képen, mivel kissé oldalról nézzük a halakat, nem „halív” formájában, hanem – a felbontás (igen szűk) korlátai közt – valós formájukban jelennek meg. A sötét zóna minél kiterjedtebb, annál nagyobb a szonár alatti vízmélység, így például a 17. ábrán a mélység – kis ingadozásokkal – balról jobbra növekszik. Ha a vízoszlopot ábrázoló sáv a középvonalhoz képest szimmetrikus, akkor a meder közel vízszintes, hogyha aszimmetrikus, akkor a mederfenék lejtős. Minél aszimmetrikusabb, annál nagyobb a lejtő meredeksége, úgy hogy a *nagyobb fekete sáv irányába lejt*.

A belső, sötét sáv külső oldalain lévő világos perem közvetlenül a szonár alatt lévő mederfenék visszhangja. Ez a pont a térben, a 18. ábrán a 'h' jelű vektor felszíni dőléspontjában található.



18. ábra. Az oldalra tekintő szonárképek torzulásai. Az ábra bal oldalán az 'r' a valós-, a hang által ténylegesen megtett távolságot jelöli (slant range); 'h' az aktuális vízmélység, 'x' a felülnézeti távolság (ground range).

Bár a sidescan szonárok által készített képek látszólag hasonlítanak egy árnyékolt domborzatmodellre, nem szabad őket magasságmodellként értelmezni: a szonár távolságokat mér (18. ábra 'r' vektora) miközben a mederfelszínen, vízszintesen mért távolság ennél jelentősen kisebb lehet (18. ábra 'x' szakasza).

Nézzünk egy példát a 17. ábrán! Először feltételezzük, hogy a szonár alatt a meder tökéletesen sík. Az ábra bal oldali első oszlopában a vízmélység 14,2 m, a legnagyobb érzékelhető távolság jobb- és bal oldalra egyaránt ±73,152 m (a 18. ábra 'r' vektora mentén mérve). A kép 2 800 sort tartalmaz, így egy pixelre $2 \cdot 73,152 \text{ m} / 2 800 \approx 52,25 \text{ mm}$ távolságkülönbség jut, így az 'r' vektor hosszúságát kb. 5,2 centiméteres lépésekben ismerjük. A szonár által mért távolság és a vízmélység ismeretében *Pitagorasz-tétel* segítségével meghatározhatjuk az egy pixelre eső terepi hosszat:

$$x = \sqrt{r^2 - h^2} \quad \{22\}$$

Ez alapján egy pixel a síknak feltételezett terepen 15 és 15,052 méteres távolságnál $\sim 0,16$ métert, 70 és 70,052 méteres távolságnál pedig csak 0,053 métert jelöl. Így, az oldalra tekintő szonárok képein a szonárhoz közeli, a jármű alatti részek erősen „kitágulnak”, a távoli, alacsony szög alatt látszó részek pedig „összenyomódnak”.

Néhány kommerciális sidescan vizualizációs alkalmazás (ReefMaster[®], SonarTRX[®], SonarWiz[®]) kivágja a vízoszlopot jelképező alacsony reflektanciájú sávot és a felszabaduló részen egy újra-mintavételezési eljárás segítségével, a fenti képlet alapján egalizálja az egy pixelre jutó terepi hosszat (bár ez adatvesztéssel járó folyamat). Ez rendszerint segíti az oldalra tekintő szonárképek értelmezhetőségét, de csak olyan környezetben használható, ahol a mederfenék jó közelítéssel sík.

Az olyan környezetben, ahol a mederfenéken nagy magasságkülönbségek vannak, további torzulásokkal kell számolni (18. ábra jobb oldala):

1. A 18. ábra jobb oldalán, az oldalirányban elhelyezkedő nézőpont miatt a terepen az \overline{ab} szakasz hossza megegyezik a \overline{bc} szakasz hosszával. A képsíkon (felső, vékony sötétkék vonal) az $\overline{a'b'}$ szakasz viszont lényegesen rövidebb, mint a $\overline{b'c'}$ szakasz (ADRAGNA, et al., 2008). A mederfenék olyan lejtőszakaszai, amelyek a szonár irányába dőlnek, jellegzetesen megrövidülnek (*foreshortening*), az ellentétes lejtésűek viszont megnyúlnak. A lejtés másodlagos következménye, hogy a szonár felé dőlő lejtőszakaszok fényesebbek (FERRETTI, 2014), mivel a visszaverődés fő iránya közelebb kerül az adott pontot a szonárral összekötő vektorhoz (8. ábra 'B.' része).
2. A 18. ábrán a 'd₁' és a 'd₂' pont bár térben elkülönülten helyezkednek el egy lejtő tetején és talpán, azonos távolságra vannak a szonártól, így a két pontról származó reflektancia összeadódik, a két pont a képen „átfedí” egymást (*layover*), látszólag ugyanazon a pixelen jelennek meg ('d₁₊₂'). Ezeket a pontokat a pontos domborzatmodell ismeretében, vagy annak hiányában a környezet és az adott pixel magasabb intenzitása alapján lehet felismerni (FERRETTI, 2014).
3. Ugyanezen ábra jobb szélén, egy magas meredek oldalú domborzati forma árnyékot vet a mederfenékre ('s'). Az árnyékban lévő területekről egyáltalán nem érkezik információ, ugyanakkor az árnyék segít elkülöníteni a mederfenékből kiálló és a vízben lebegő objektumokat: a lebegő élőlények és tárgyak árnyéka nem csatlakozik az objektumhoz, míg a mederből kiálló tárgyak árnyéka magában a tárgy képében végződik.

Az oldalra tekintő szonárok képei (egymagukban) nem alkalmasak domborzatmodell előállítására. A 17. ábra bal alsó részén látható „levágódás” azért jött létre, mert a hajó oldalirányban megközelített egy meredek töltést, így a határvonal magát a partélet jelöli: ezen túl egyáltalán nem látható visszaverődés.

4.7 A vizsgálati terület hidrológiai tulajdonságai

A dolgozatban ismertetett kutatás vizsgálati területe a Dráva folyó magyarországi és kelet-horvátországi szakasza: 198+600 → 0+000 fkm, Őrtilos – Aljmaš (Almás). A vizsgálati terület magyarországi része a Közép-Dráva-völgyre és a Dráva-síkra esik (DÖVÉNYI, 2010).

A Dráva Észak-Olaszországban, a Déli-Mészköalpokban, Dobbiaco (Toblach) és San Candido (Innichen) települések közt félúton, Bolzano (Bozen) autonóm megyében, a Cima Nove (Neunerköfele) hegy északi, erdőszült lábánál, több forrásból ered, a Fekete-tenger vízgyűjtőjének déli határvonala közelében (é.sz.: 46°43'22,6"; k.h.: 12°15'10,9"), megközelítőleg 1228 méteres tengerszint feletti magasságban. A Dráva végighalad Olaszországon, Ausztrián, Szlovénián, Magyarországon és Horvátországon, végül jobb oldali mellékfolyóként Horvátország területén, Aljmaš (Almás) községtől északra a Dunába torkollik (é.sz.: 45°32'38,4"; k.h.: 18°55'33,1"), megközelítőleg 81 méteres tengerszint feletti magasságban. A folyó teljes hossza 733 fkm. Elnevezése olaszul, szlovénul és horvátul 'Drava', németül 'Drau', magyarul 'Dráva'; míg angol nyelvterületeken a 'Drave' megnevezést használják.

Vízgyűjtő területe nyugat – keleti irányban hosszán elnyújtott, aszimmetrikus a folyásirány szerinti bal oldal javára, kiterjedése 43 238 km², melynek több mint fele Ausztria területére esik.

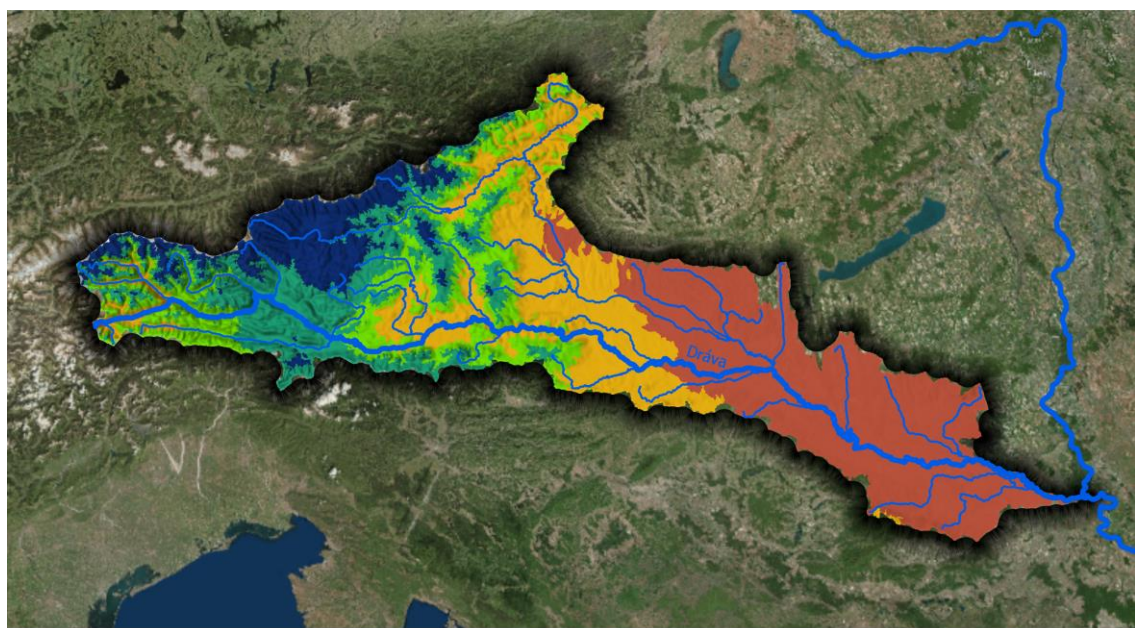
Jelentős mellékfolyói balról, nyugatról kelet felé az Isel, majd a Möll, a Leiser, a Gurk (Krka), a Lavant (Labotnica) és a Mura (Mur); jobbról – szintén nyugatról kelet felé – a Gail (Villachtól keletre), a Vellach (Bela), a Meiß (Meža), a Dravinja (Drann) és a Bednja.

Középvízi vízhozama Drávaszabolcsnál $516 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ (1970 – 2013).

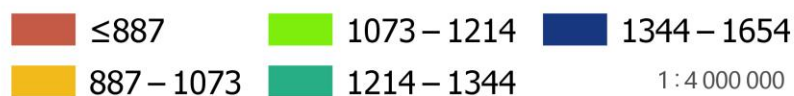
A Dráva természetes állapotában jelentősen eltért a mai hidrológiai viszonyoktól. Az Első Katonai Felmérés (1763 – 1787) 1784-es lapjain a Dráva egy meanderező, néhol szigetes, erdővel szegélyezett folyó képét mutatja; a betorkoló vízfolyások környékét gyakran mocsarasnak jelölték, a jobb parton ritka településszerkezettel. Viszont már ez az állapot sem tükrözi a természetes viszonyokat: Heresznye túlszéljén árvízvédelmi töltések láthatók. Ezt támasztja alá (HAAS, 1845) is, aki szerint a Dráva „... Rendetlen, csavargós, alacsony partok között folyván, szakadatlanul mocsárok kísérik, és ámbár a' megye erős töltéseket tesz ellene 1780 óta mégis áradásaival ... lakosait többször károsítja...” (eredeti írásmód szerint).

A Dráva mentén 1784 és 1848 között 62 helyen vágták át a kanyarulatokat a Mura torkolatától lefelé, mellyel a folyószakasz hossza 75 kilométerrel csökkent (LÓCZY, 2018), így jelentősen növekedett a folyó esése. Ezt követően csak kisebb léptékű, a hajózást könnyítő meder-szabályozások történtek – néhány átvágással –, viszont kavicsot 1980-as évektől kezdve – főleg a horvát oldalon – jelentős mennyiségben bányásztak (LÓCZY, 2018).

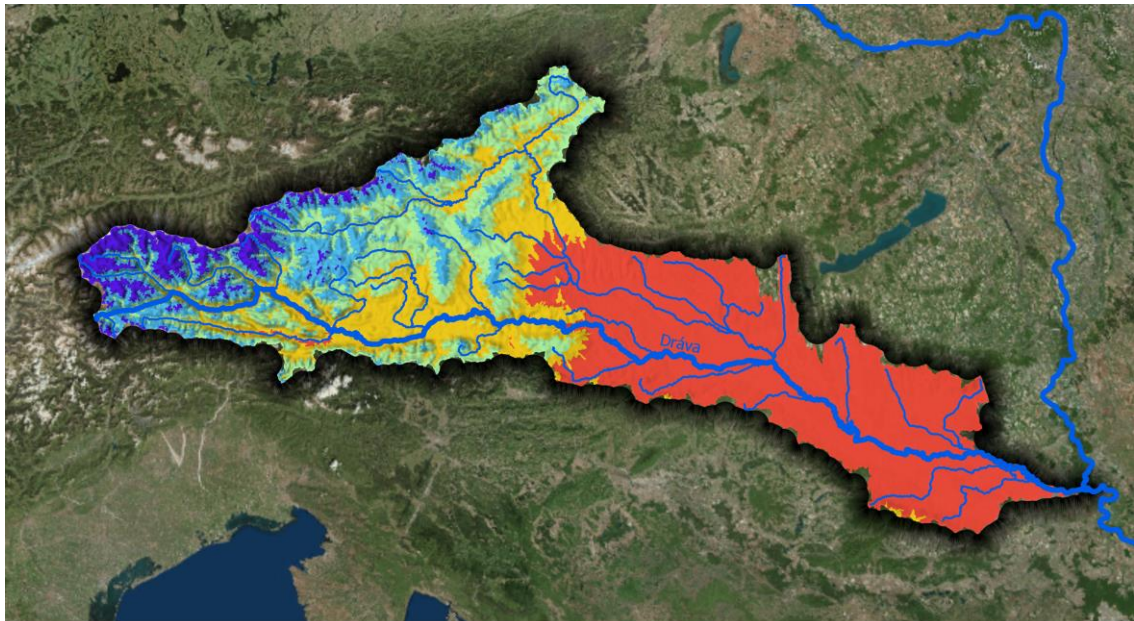
A Dráva vízjárását természetes- és mesterséges tényezők egyaránt befolyásolják. Vízjárásának természeti oldalát a vízgyűjtő területre, annak is a hegyvidéki részére hulló csapadék mennyisége és időbeli eloszlása/olvadása határozza meg (LÓCZY, 2018; 19. ábra és 20. ábra).



Éves csapadék [mm]



19. ábra. A Dráva vízgyűjtőjére hulló csapadékmennyiség. VOGT *et al.*, 2008; CONSERVATION BIOLOGY INSTITUTE, 2010; ESRI Inc., 2019 adataiból, NELSON, 2018 ötlete alapján szerkesztve.



1 : 4 000 000

Évi középhőmérséklet [°C]

≤ 0,4
 0,4–3,1
 3,1–5,5
 5,5–8,3
 8,3–11,3

20. ábra. Évi középhőmérséklet a Dráva vízgyűjtőjén. VOGT et al., 2008; CONSERVATION BIOLOGY INSTITUTE, 2010; ESRI Inc., 2019 adataiból, NELSON, 2018 ötlete alapján szerkesztve.

A vízgyűjtő terület éghajlati szempontból háromosztatú:

1. Az északi, északnyugati részen az Atlanti-óceán felől érkező nedves légtömegek hatására, valamint az olvadás következtében a bal oldali Lavant és Gurk folyókon keresztül, június és augusztus között haladhat le árhullám a Dráván.
2. A vízgyűjtő terület délnyugati részéről, mediterrán hatásra október és november közt, a jobb oldali Gail-on és a bal oldali Murán keresztül egy második vízhozam-maximum is érkezik. A Mura vízgyűjtőjéről egy májusi árhullám is lefuthat. Elsődlegesen ez a két terület időjárása határozza meg a Dráva aktuális vízhozamát.
3. A vízgyűjtő terület harmadik, keleti, kontinentális hatás alatt álló része nyáreleji csapadékmaximummal jellemezhető, de alacsony vízhozamú, így a vízjárás alakításában kevés szerepet játszik. A folyó vízjárása kiegyenlített (LÓCZY, 2018).

A Dráva vízjárásának – és hordaléktranszportjának – elsődleges antropogén befolyásolója a folyóra telepített 22 db vízierőmű (1. táblázat).

1. táblázat. A Dráva vízerőművei. Az „Üzembe helyezés éve” a villamos áram termelés kezdetét jelöli, időközben az erőművek jelentős része átalakításon, felújításon, vagy bővítésen esett át. A feltüntetett teljesítmény az aktuális (2018) névleges teljesítmény. A DÉL-DUNÁNTÚLI VÍZÜGYI IGAZGATÓSÁG (2014), a DRAVSKE ELEKTRANE MARIBOR (2018) és a VERBUND AG. (2018) gyűjtése alapján szerkesztve.

Duzzasztómű neve	fkm	Üzembe helyezés éve	Térfogat [10 ⁶ m ³]	Teljesítmény [MW]	Ország
Amlach	715,7	1989	0,23	60,2	Ausztria
Paternion	601,2	1988	3,6	23,5	Ausztria
Kellerberg	590,9	1985	3,5	25	Ausztria
Villach	580,8	1984	1,0	24,6	Ausztria
Rosegg – St. Jakob	554,2	1974	19,3	80	Ausztria
Feistritz – Ludmannsdorf	539,4	1968	50	88	Ausztria
Ferlach – Maria Rain	530,4	1975	33	75	Ausztria
Annabürcke	515,4	1981	26	90	Ausztria
Edling	491,6	1962	80	87	Ausztria
Schwabeck	474,6	1943	25	79	Ausztria
Lavamünd	468,5	1949	1,0	28	Ausztria
Dravograd	451,6	1945	5,3	26,2	Szlovénia
Vuzenica	439,5	1953	1,85	55,6	Szlovénia
Vuhred	426,3	1956	17,5	72,3	Szlovénia
Ožbalt	413,7	1960	12,9	73,2	Szlovénia
Fala	405,1	1918	2,9	58	Szlovénia
Mariborski otok	389,5	1960	15,2	60	Szlovénia
Zlatoličje	283,6	1969	2,18	126	Szlovénia
Formin	353	1978	4,2	116	Szlovénia
Varaždin	302	1975	10	86	Horvátország
Čakovec	278	1982	50	84	Horvátország
Dubrava	254	1989	93,5	84	Horvátország

Az 1. táblázatban felsoroltak közül legnagyobb térfogatú az utolsó, dubrava-i erőmű, melynek teljesítményét csúcsrajáratással maximalizálják, így egy nap alatt két árhullám indul meg Magyarországra felé. Az ebből származó vízszintingadozás Őrtilosnál 110–130 cm, Barcsnál 50–60 cm, Drávaszabolcsnál 30–40 cm.

A meder anyaga Őrtilos környékén kavics (16–52 mm), amely Barcsnál átmegy homokos kavicsba (0,5–20 mm), végül Drávaszabolcsnál finom- és közepes szemű homok (0,02–2 mm) jellemző (LÓCZY, 2018).

■

5 Eredmények

5.1 Szonárrendszer kiválasztása

A szonárelvű mélységmérés elektronikai eszközei két fő családra oszthatók: *professzionális* szonárrendszerekre és *halkereső* eszközökre.

A kutatás megkezdésekor a professzionális (sidescan) szonárok ára 7379 és 45 000 USD között mozgott (GREENE et al., 2018; kb. 2 000 000 – 12 600 000 HUF + vám + ÁFA; 2018. szeptemberi árfolyamon).

A mélységmeghatározásra nagy kiterjedésű területeken is alkalmas interferometrikus szonárra a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság egy 195 436 USD-os árajánlatot kapott (kb. 55 300 000 HUF). Ezen termékek árfekvéséből kiderült, hogy *elérhetőbb alternatívák felkutatása szükséges*.

Így esett a választás a halkereső szonárokra. Az irodalmi áttekintésből tudtuk, hogy az ilyen területek felméréséhez multi-beam, vagy interferometrikus szonár szükséges. A halkeresők piacán mindkét technológia elérhető.

A többcsatornás szonárok közül – az időközben megszűnt – Humminbird® Matrix 47 3D-t teszteltük. A Matrix 47 hat, keskeny nyalábot használ a szenzor alatti terület letapogatására, amely a képernyőn szép és pontos domborzatmodellt szolgáltat. Hátránya, hogy ezen pászták adatai nem menthetők fájlalba: a mélységadatok közül csak a középső (single-beam) nyaláb adatsora rögzíthető.

Multi-beam technológiát használ még a Furuno® több szenzora is, ezekhez azonban nem sikerült hozzáférnünk kísérletezés céljából.

Mivel a multi-beam rendszerekkel nem jártunk eredménnyel, áttértünk az interferometrikus szonárok vizsgálatára: 2017-ben, a kutatás megkezdésének évében az interferometrikus halkereső rendszerek piaca lényegében egyszereplős volt: a Navico holding két leányvállalata a Simrad® és Lowrance® kínált teljesen azonos küllemű és beltartalmú interferometrikus szonárokat, StructureScan® 3D néven. (Időközben a Garmin® is felzárkózott az interferometrikus szonárok piacához.)

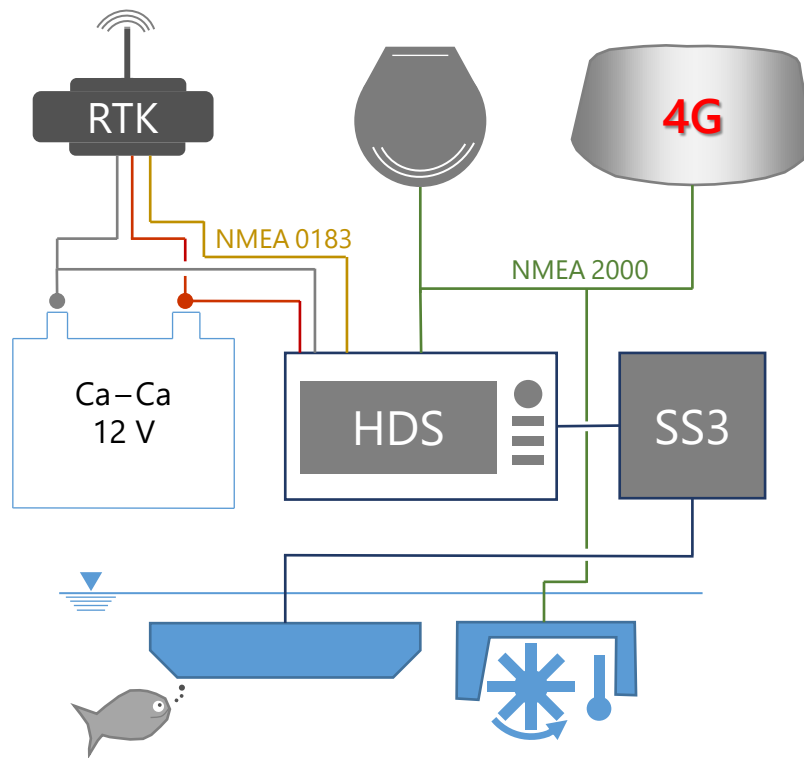
Így kezdtünk el kísérletezni egy Lowrance® StructureScan® 3D szonárral, amely megfelelőnek bizonyult, mert:

1. a kezelőszerve összeköthető külső, geodéziai GNSS-el,

2. a szonár képes rögzíteni a víz hőmérséklet, a vízsebesség, a haladási sebesség, adatokat, a single-beam, a side-scan, a DownScan™ szonogramokat és az interferometrikus, háromdimenziós fenékdomborzat-adatokat egyaránt,
3. a szonár felfüggesztése átalakítható és számos kompatibilis szenzorral kiegészíthető.

A Kvassay hajószilip környékén végzett kísérleteink eredményei alapján a halkereső rendszerek közül a *Lowrance® StructureScan® 3D* szonárt választottuk.

5.2 A választott szonárrendszer felépítése



21. ábra. A használt szonárrendszer vázlatos felépítése. Felső sor, balról jobbra: RTK+/DGPS nagy pontosságú helymeghatározó rendszer; háromtengelyű elfordulásmérő (giroszkóp) és digitális iránytű; Lowrance® Broad-band 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: Structure-Scan® 3D transducer (hangszórók és hidrofonok sorozata közös házba építve [SCHULTZ et al., 2013]); lapátkerekes vízsebességmérő. Részletes technikai leírás alább, a szövegben.

A szonárrendszer sematikus, moduláris felépítése a 21. 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 nagy pontosságú, 10 Hz-es, RTK+ GPS jele kétféleképpen, 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 21. 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, áramlástanai vizsgálatokhoz a rendszerhez csatlakozik még egy Lowrance® EP-70R 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 feketedobozá külön áramforrásra került, így a tényleges áramellátást 2 db, 12 V-os, 40 Ah-s akkumulátor biztosítja.

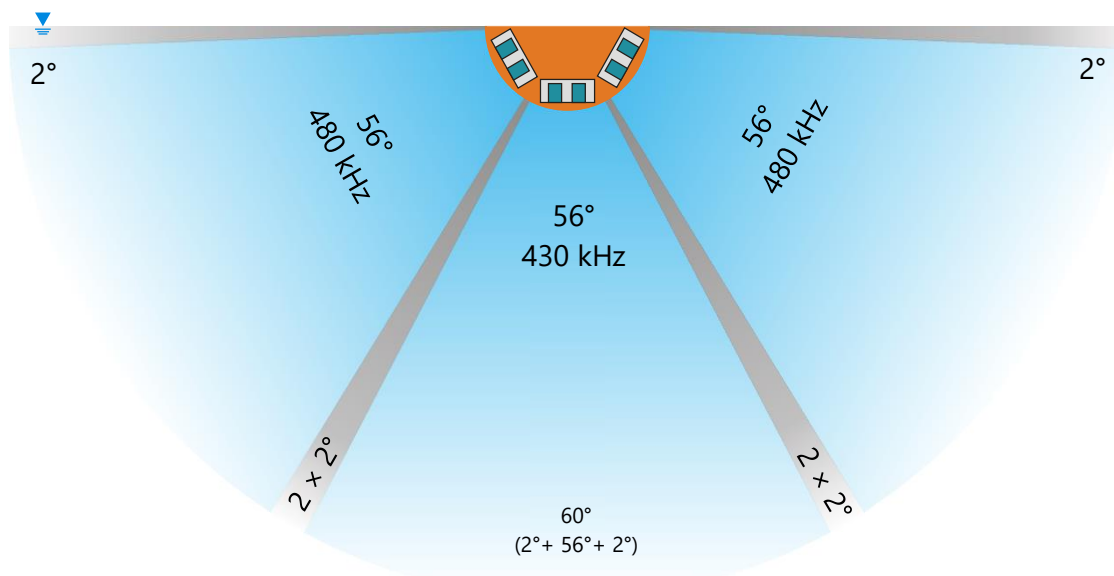
5.2.1 A képalkotó szonárfej felépítése

A szonárfejek közül műszakilag legfontosabb elem az interferometrikus mélység adatokat, a sidescan és a DownScan™ eredményeket szolgáltatató Lowrance® StructureScan® 3D.

Műszaki felépítése nem teljes mértékben ismert, mivel az idevágó Lowrance® szabadalmak (COLEMAN, 2013; PROCTOR, 2014; PROCTOR, et al., 2016) nagyszámban sorolnak elvi lehetőségeket – kizárólag feltételesmódban –, konkrétumokat viszont csak elvétele.

Ezen szabadalmak alapján feltételezhető, hogy a StructureScan® 3D két részre osztható:

1. Az első szektorban helyezkednek el az interferometrikus mérést végző hangszugárzók és hidrofonok, egy-egy jobb- és bal oldalon 30-30°-os lehajlással, egy pedig középen, függőlegesen lefelé fordítva. Mindhárom letapogatási nyílásszöge $1,4^\circ \times 56^\circ + (2 \times 2^\circ)$ (22. ábra). Feltételezhető, hogy a középső elem 430 kHz-en sugároz, még a két szélső 480 kHz-en, hogy a középső interferométer működése ne zavarja a két szélsőt, továbbá szintén feltételezhető, hogy először a középső elem ad le egy rövid impulzust, majd a két szélső következik egy időben, egy-egy hosszabb impulzussal. Az interferometrikus mérés névleges frekvenciája a két frekvencia átlaga, 455 kHz.
2. A második szektorban helyezkednek el a sidescan és a DownScan™ szolgáltatásért felelős rendszerek. Ezek névlegesen 455 kHz-en és 800 kHz-en képesek üzemelni. Irányultságuk megegyezik az interferometrikus szektorban bemutatott párok irányával (30-30°; 90°) (22. ábra). Jelentős különbség viszont, hogy hangenergiát csak a lefelé tekintő középső elem bocsájt ki, három irányban, jobbra és balra vízszintesen, mellyel – 455 kHz esetén – 180° kiterjedésű térrészt besugárzó nyalábot kapunk. Feltételezhető, hogy az interferometrikus rendszerhez hasonlóan az oldalirányú besugárzás frekvenciája itt is eltér a középső sugárzó frekvenciájától. Elképzelhető, hogy az első és a második szektor hangszugárzóiban, vagy teljesen integráltak.



22. ábra. Lowrance® StructureScan® 3D szonárok háromnyalábos interferometrikus letapogatósi rendszere. Az egyes nyalábok nyílásszöge $1,4^\circ \cdot 56^\circ$, amely térrészbe a hangszóró által kibocsájtott energia 50%-a jut. A szürke részek csökkent besugárzású területek, melyek az 56° -os sávok szélein helyezkednek el. Ezzel az egyes nyalábok effektív nyílásszöge 60° . COLEMAN (2013) nyomán.

5.3 Az adatfájlok feldolgozása

A Simrad®, illetve a Lowrance® rendszerek mérései fájlokba menthetők. Ennek elsődleges célja (kezdetben) az volt, hogy a szonárhoz kapcsolt kezelőszerven az egyes mérések utólag is megtekinthetők legyenek, így a horgászok visszataláljanak azokra a helyekre, ahol kapásra lehet számítani. A rekreációs célú szonárrendszerek méréseinek tudományos feldolgozása ezen rögzített állományok feldolgozásán alapul (BUSCOMBE, 2017).

A fájlok feldolgozása azonban nem rutinszerű, mivel a kimeneti állományok formátumát, így a használt Lowrance® StructureScan® 3D szonár „SL3” fájl formátumát sem publikálta a gyártó Navico Ltd. Léteznek ugyan olyan kereskedelmi, zárt forráskódú szoftverek, amelyek képesek ennek a formátumnak az olvasására (ReefMaster®, SonarTRX®), de ezek csak a mentett adat egy részét (sidescan) képesek kiolvasni és vizuálisan megjeleníteni. Létezik továbbá egy professzionális szonárállomány-feldolgozó alkalmazás is (SonarWiz®), amely ugyan képes az adattartalom nagyrésztének kiolvasására, de a kimenő adatok láthatóan utófeldolgozottak és szűrtek is – és ezt a szolgáltatást nem is lehet kikapcsolni. Mivel a termék zárt forráskódú, az adatok szűrésének és utófeldolgozásának módszere nem megismerhető, így nem lehet meggyőződni a kimenő adatok elvi helyességéről. Mindeközben a szoftver ára igen borsos, így használatával a rekreációs célú szonárok értelmüket veszítik,

mert az alkalmazás árán már professzionális többcsatornás szonár is kapható – saját, jól dokumentált formátummal.

Megvizsgáltuk a nyílt forráskódú szoftverek adta lehetőségeket is, ezek között azonban csak a sidescan és kétdimenziós szonár-adatok kiolvasására találtunk tudományos igényű fejlesztett megoldást (BUSCOMBE, 2017) – miközben nekünk a háromdimenziós adatokra van szükségünk. Rekreációs célú szonárokhöz fejlesztett batimetriai adatok kinyerésére képes, jól dokumentált, és/vagy nyílt forráskódú alkalmazást nem találtunk.

Így az SL3 fájlok feldolgozására csak egy út maradt: *saját olvasóprogram fejlesztése*. Az olvasóprogramot Microsoft® .NET Framework™ 4.7.2. keretrendszerben fejlesztettük, Visual Basic .NET™ nyelven, Microsoft® Visual Studio™ 2017-es integrált fejlesztési környezetben.

Azért esett a választás erre a technológiára, nyelvre és fejlesztőkörnyezetre, mert használata kényelmes, benne a fejlesztés gyors, és nagyszámú előre beépített eszközt tartalmaz; továbbá a nyílt forráskódú Mono projektnek (és részben a Xamarin™-nak) köszönhetően az elkészült binárisok UNIX-szerű környezetekben is futtathatók; továbbá automatizált megoldásokkal, kevés manuális utómunkálattal könnyen átalakítható C#™ nyelvre.

Az első lépés a fájlszerkezet feltárása volt: az egyes mezők tartalmának meghatározásában nagy segítséget jelentett a Low2Ozi forráskódja (LOW2OZI, 2016); A SonarLogAPI forráskódjai és leírásai (BAGRICH, 2016); az OpenStreetMap közösség formátumleíró lapja (OPENSTREETMAP, 2017) és a node-sl2format forráskódja valamint leírása (MAGNUSSON, 2017). A visszafejtést nehezítette, hogy a SonarLogAPI (és kis részben a Low2Ozi) kivételével az összes leírás az SL3-at megelőző, SLG és SL2 formátumokra vonatkozott, melyek nem alkalmasak háromdimenziós adatok tárolására, valamint fejlécük is jelentősen eltérő. A SonarLogAPI ugyan jól leírja a fájlformátum fejléc-szerkezetét, viszont nem tér ki a háromdimenziós adattartalomra, így azt *önálló kísérletsorozattal kellett feltárni*.

Az SL3 fájl bináris szerkezetű „Little Endian” (Intel®) bájtsorrendű, zárt formátumú állomány, 8, 16 és 32 bites egész- és 32 bites lebegőpontos törtábrázolással. A fájl méretének elvi korlátja, hogy a 32 bites egészszám ábrázolás miatt nem alkalmas 49 napnál hosszabb ideig tartó szonárfelvételek rögzítésére. A fájl méret gyakorlati korlátja ~2 GiB – a microSDHC™ memóriakártya FAT32 (File Allocation Table – Fájlallokációs tábla) fájlrendszere miatt.

Az SL3 elsődleges fejléce nyolc bájttal hosszúságú, melyből az első két bájttal a formátum verzióját, a második kettő a rögzítő eszköz típusát, a harmadik kettő a szonogramok időbeli felbontását határozza meg. A maradék két bájttal valószínűleg későbbi felhasználás céljából fenntartott, üres mező.

Ezen általános fejléct csomagok követik, amelyek úgy sorakoznak egymás után, mint a videók képkockái és minden egyes csomagban más-más szonár mérés található. A jellemző adatcsomag-típusok:

- Hagyományos, lefelé tekintő single-beam szonár mérési eredmények (13. ábra). A 13. ábra egy oszlopa egy adatcsomag.
- Nagyfrekvenciás, lapított letapogatási ellipszisű DownScan™ single-beam szonár adatok (15. ábra).
- Sidescan (oldalpásztázó) szonár mérések (17. ábra). A 17. ábra egy oszlopa egy adatcsomagot jelent.
- Interferometrikus, háromdimenziós (PDBS) mérés egy, a szonártestre merőleges pásztája.
- (A feldolgozott állományokban még két másik adatcsomag is azonosítható volt; ezeknek pontos célja azonban ismeretlen. Az egyik állomány 8-bites és vizuálisan nagyban hasonlít az elsődleges, egycsatornás szonár echogramjára, csak a távolabbi időkorlát közelebb helyezkedik el. A másik feltehetően 16-bites egészszámokból áll, maximális mérési távolsága minden esetben azonos, $\sim 512'$ [$1' \stackrel{\text{def}}{=} 0,3048 \text{ m}$; $512' \approx 156 \text{ m}$; $\approx 0,1 \text{ s}$]. Ezen csomagok képe hasonlít két egymás melletti hidrofon időbeli regisztrátumához [KUPERMAN & ROUX, 2007]. Féltehetően ez az interferometrikus mérőrendszer nyers adatsora.)

Minden egyes adatcsomagnak – típustól függetlenül – egyforma, 168 bájtos fejléce van. A csomagfejléc elsődleges információja a mérés helye, 'X' és 'Y' koordináta formájában, „Lowrance Mercator” (SR-ORG: 8230) vetületi rendszerben. A koordináták sajnos 32-bites, előjelbittel rendelkező egész számok. A GNSS eredeti koordináta-adatai NMEA 0183 mondatok formájában érkeznek 'λ', 'φ' WGS84 ellipszoidi (poláris-, földrajzi-) koordináták képében.

Ebből az 'X' koordinátát a következő képlettel számítja át a szonár elektronikája:

$$X = R \cdot \frac{\lambda\pi}{180^\circ} \quad \{23\}$$

ahol 'λ' a földrajzi hosszúság; 'R' konstans, a WGS84 ellipszoid *poláris* sugara (6 356 752,3142518 m, melyet a Lowrance® rendszerek csonkoltan, 6 356 752,3142 méternek vesznek [BAGRICH, 2016; LOW2OZI, 2016; LIPE, 2018]).

Az 'Y' koordináta kiszámítása nehezkesebb:

$$Y = R \cdot \log_{10} \left[\tan \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\varphi\pi}{180^\circ} + \frac{\pi}{2} \right) \right) \right] \quad \{24\}$$

ahol ' φ ' a földrajzi szélesség; ' R ' a WGS84 ellipszoid *poláris* sugara (négy tizedesre csonkol-tan).

Ezen két vetületi egyenlettel poláris koordináta rendszerből derékszögű koordináta rendszerbe térhetünk át, amely informatikai környezetekben sokkal hatékonyabban kezelhető. Az így kapott vetületi rendszer szög tartó-, Mercator-féle hengervetület, amely csak az alkalmazott gömb sugarban tér el a széles körben használt Web Mercator (EPSG: 3857) vetülettől.

A fenti vetületi egyenletek nem vezetnek önmagukban a mérés pontosságának csökkenéséhez, viszont jelentős hiba keletkezik abból, hogy az SL3 fájlban a koordinátákat egészszámként tárolják. Mivel ezen koordinátarendszer alapegysége a méter, minden mérés csak méteres élességgel jegyezhető le.

Ismeretlen, hogy a Lowrance® beépített szoftvere az átszámításakor keletkező lebegőpontos számról csonkolással, vagy kerekítéssel tér át egészszámra (kerekítéssel: 1,9 := 2; csonkolásnál: 1,9 := 1).

Ezzel a helymeghatározás pontossága rossz esetben 1 métert is csökkenhet – koordinátánként – amihez még hozzáadódik a GNSS saját mérési hibája is. Ezt a mérési pontosság-csökkenést további adatok bevonásával mérsékelni lehet.

A GNSS magassági (WGS84 geoid feletti-) ' h ' koordinátája a fejlécben 32-bites lebegőpontos számként szerepel (Nemzetközi-) láb egységben ($1' \stackrel{\text{def}}{=} 0,3048 \text{ m}$). Ezen ' X ', ' Y ' és ' h ' koordinátákból megszerkeszthető a szonár test *megközelítő* térbeli helyzete.

A csomagfejlécbe eltárolásra kerül a jármű tényleges (a GNSS által, a WGS84 koordinátákból számított) haladási iránya, északról kezdett, órajárás szerint mért (azimut) irányban, radiánban, 32-bites lebegőpontos szám formájában; valamint a jármű mágneses úton (Precision-9), szintén északi azimut szerint mért irányszöge. A két érték rendszerint közel egyenlő, de ha a csónak farol, vagy sodródik a két érték jelentősen eltérhet egymástól. A szonár a mágneses úton meghatározott irányvektorra merőlegesen, jobbra és balra mér (interferometrikus és sidescan típus esetében). Ahhoz, hogy ezen mérések pontosan georeferálhatók legyenek, ismernünk kell a szonártest és a GNSS vevő elvi középpontjának távolságát ' ΔX '; ' ΔY '; ' ΔZ ' formájában, ahol ' ΔX ' a haladási irányra merőleges-, ' ΔY ' a haladási irányval párhuzamos eltérés, míg a ' ΔZ ' a helyi függőleges mentén mért magasságkülönbség.

A fejlécbe bekerül a mélység (32-bites lebegőpontos szám, szintén láb egységben), amely minden adatcsomag-típus esetében – a hajózás biztonsága érdekében – alulbecsült érték (BUSCOMBE, 2017).

A szonár eltárolja a jármű tényleges (WGS84 ellipszoidi koordinátákból, a geoid felületén értelmezett) haladási sebességet, 32-bites lebegőpontos szám formájában, csomó egységben ($1 \text{ kn} \stackrel{\text{def}}{=} 1,852 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 0,514 \frac{\text{m}}{\text{s}}$).

Minden egyes méréshez tartozik még egy előjelbit nélküli, 32-bites egészszám alapú időbélyeg-pár, amely tartalmazza a mérés pontos idejét és dátumát másodpercekben *UNIX epocha* szerint (1970. január elseje, nulla óra, nulla perc, nulla másodperc óta eltelt másodpercek száma), valamint a mérés kezdete óta eltelt időt, milliszekundumokban. Csatlakoztatott hőmérséklet szonda esetén megjelenik még a vízhőmérséklet, Celsius-fokban, 32-bites lebegőpontos szám formájában. Csatlakoztatott vízsebesség mérő esetén a csomagfejléc tartalmazza a vízsebességet is, 32-bites, lebegőpontos számként, csomó egységben.

A fenti adatokon kívül a fejléc nagyszámban tartalmaz metaadatokat (mérési kampány sorszáma, a mérés típusa, működési frekvencia, az adott szonárbeállítással mérhető minimális és maximális vízmélység vagy távolság) és fizikai indexeket (az adatcsomag hossza, a következő adatcsomag kezdete, a következő azonos típusú adatcsomag kezdete stb. – mind a kezdő, 0. bájtától számítva), amelyek a kis(ebb) számítási teljesítményű kézi eszközök fájlban való navigációját segítik. Az adatcsomagok fejléce után következnek a tényleges mérési adatok, amelyek batimetria esetében 32-bites lebegőpontos számsorozatok (*single array*), az összes többi esetben pedig szonogram bájtorozatok (*byte array*) formájában.

Ezen fájlstruktúra kísérleti feltárása után fejlesztettük *saját*, SL3 specifikus olvasó-programunkat.

A programkód első lépése, hogy beolvassa a fájl fejlécét, így leellenőrzi, hogy az állomány valóban SL3 fájl-e. Ha igen, megindul a csomagok kiolvasása és utófeldolgozása. Minden olvasási művelethez a .NET Framework™ „FileStream” osztályát használtuk. Az adatok feldolgozása öt hullámban történik:

1. Indexállományok létrehozása
2. Koordináta-korrekción
3. Mérési adatokhoz kötődő koordináta-számítások
4. Mérések szűrése
5. Adatok exportálása

Az implementációt a 10.1. fejezet tartalmazza.

5.3.1 Indexállomány létrehozása

Első lépésben a program végighalad az egész fájlban és beolvassa az összes adatcsomag fejlécét. A fejlécben szereplő indexek és metaadatok felhasználhatók a fájlban való, későbbi navigációhoz. A fejlécek egy tömbbe kerülnek. A tömb feltöltésével egyidőben készül egy indexállomány is, amely az azonos típusú fejlécek indexeit sorolja fel. Ezzel a megoldással típus szerint úgy érhetjük el később az egyes fejléceket, hogy közben nem kell a teljes fájl, sem a teljes fejléc-tömböt végigolvasni. Mivel az SL3 fájlok igen nagyra nőhetnek (≤ 2 GiB) az olvasót memóriahatékonyan kellett megszerkeszteni, ezért – a .NET által kezelt gyorsítótárakat nem számítva – fejlécenként egyszerre csak 168 bájtot kell a memóriában tartani (amely a mértékegységváltások és típuskonverziók után 64-bites menedzselt platformon 224 bájtra növekszik), így a szoftver memóriaigénye kb. 1,1 GiB-os fájlok esetén sem haladja meg a 120–160 MiB-et.

5.3.2 Koordináta-korrekción

Második lépésben megkíséreljük az tizedesjegy eldobásból fakadó koordinátpontosság-csökkenést mérsékelni. A koordináták ugyan csak méteres felbontásban állnak rendelkezésre, de ezen adatokkal egy időben megérkezik a jármű haladási sebessége, GNSS adatokból származtatott, valamint mágneses irányszöge, továbbá a két mérés közt eltelt idő, milliszekundumos pontossággal (és egyben -élességgel). Ezen adatokból sebesség-, majd elmozdulás-vektor szerkeszthető. Ezzel a *Manhattan*-rácshoz igazodó, eredeti koordinátpontok között felvehetünk egy olyan koordináta láncot, amely nem tökéletesen, de az egészszámokkal rögzített rácsnál pontosabban közelíti a szonár tényleges földrajzi helyét:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \frac{1}{2} \cdot (\alpha_0 + \alpha_1) \\ v = \frac{1}{2} \cdot (v_0 + v_1) \\ t = t_1 - t_0 \\ s = v \cdot t \end{array} \right\} \quad \{25\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = X_0 + s \cdot \cos \alpha \\ Y_1 = Y_0 + s \cdot \sin \alpha \\ Z_1 = Z_{1 \text{ GNSS}} \end{array} \right\} \quad \{26\}$$

ahol ' α_1 ' az aktuális adatcsomagban rögzített irányszög, ' α_0 ' az előző csomagban rögzített irányszög; ' v_1 ' az aktuális haladási sebesség, ' v_0 ' az előző haladási sebesség; ' t_1 ' az aktuális időpillanat, a fájlrögzítés kezdetétől, mint ' 0 ' időponttól mérve; ' t_0 ' pedig az előző adatcsomag

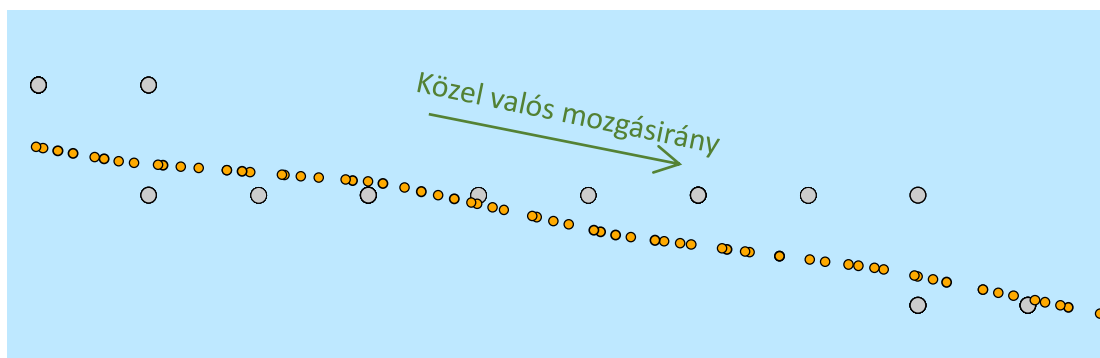
mag rögzítésének időpontja. A képletekben szereplő X_0 és Y_0 a számítás kezdő koordinátája, amely a feldolgozás kezdetén, az első adatcsomag esetében az adatcsomag fejlécében rögzített (méterre csonkolt) érték, míg a második- és az azt követő adatcsomagok esetében az előző, számított érték.

A koordináta számítások kiinduló állapotát a 23. ábra mutatja be. A pontok szabályos 1×1 méteres *Manhattan*-rácshoz helyezkednek el. Mivel a méteres élességű koordináta-regisztráció nem alkalmas a finomabb elmozdulások visszaadására ezért a pontok „összetapadnak”. A 23. ábrán, a pontok alatt/felett lévő sötétkék számok a látszólag egy helyre eső pontok számosságát mutatják. Az ábra északnyugati sarkában lévő, egészszámra csonkolt koordinátájú pontba *kilenc* mérés esik. Az ábra középső részén a szonár látszólagos mozgásiránya a csonkolás miatt pontosan nyugat→keleti. A szonárból kinyert mérési pontok ezen állapotukban nem használhatók domborzat-modell készítésére.



23. ábra. A koordináta számítások kiinduló állapota: a mérési pontok 1×1 méteres *Manhattan*-rácshoz igazodnak. A pontok alatt/felett lévő sötétkék számok az egy koordinátapontba csoportosuló mérések számosságát mutatják. Az ábrán bemutatott pontsor a drávaszabolcsi határátkelőtől keletre készült (K. h.: $18^{\circ}13'14''$; É. sz.: $45^{\circ}46'47''$). Méretarány: 1 : 70. Vetületi rendszer: Lowrance Mercator (SR-ORG: 8230).

A mérési pontokban viszont rendelkezésre áll a haladási sebesség és az aktuális irányszög értéke. Ezen adatokból, valamint egy kezdőponti koordináta értékkel a {25}. és a {26}. képlet segítségével kiszámítható a közel valós útvonal (24. ábra). A két ábrán bemutatott pontsorozat jelentősen eltér, miközben sem 'x' sem 'y' irányban nem távolodik el a hozzá tartozó ponttól egy méternél jobban.



24. ábra. GNSS sebesség és -útirány alapján számított pontsorozat (narancssárga pontok). A durva, méteres Manhattan-rácsra igazodó méréseket a szürke pontok jelölik (23. ábra).

Mivel ezen számítás hibával terhelt és kiindulópontja is alacsony pontosságú, ezért első elképzelésünk az volt, hogy minden lépés után ellenőrizni kell, hogy a kapott koordináta nem távolodik-e el a GNSS rendszerből kapott helykoordinátától 'x' és 'y' irányban fél métert meghaladó mértékben (feltételezve, hogy a poláris \rightarrow derékszögű koordinátarendszer-áttérésnél kerekítés történik). Ha az eltérés nagyobb, mint fél méter, akkor az adott tengely mentén, a fél métert meghaladó résszel „visszahúzzuk” a koordináta pontot. Ez az eljárás azonban nem adott elegendően pontos eredményeket.

A koordináták megjavítására tett második kísérlet sikerebb volt. Ehhez felhasználtuk a Lowrance® szonárok egy másodlagos adatállományát, amely a mérés útvonalát az SL3 fájlról függetlenül, egy külön adatsorba menti *.USR kiterjesztéssel – és ezen állomány koordináta sorait használja a szonár képernyőjén a jármű útvonalának ábrázolására. Ennek az állománynak rögzítése a szonár működésétől függetlenül ki- és bekapcsolható. Sajnos ez az állomány is egy zárt-, bináris formátum, amelynek ezidáig 6 különféle verziója ismert, de a GPSBabel fejlesztőközösségének sikerült (többek között) a négyes verziószámú állomány felépítését visszafejteni (LIPE, 2018). A GPSBabel forráskódját elemezve kiderült, hogy az USR fájlok – az SL3 fájlokkal ellentétben – a WGS84 ellipszoidon mért koordinátákat átszámítás nélkül, 64-bites radián formájában tárolják, egy 32-bites egészszámú, másodperc alapú POSIX (UNIX epocha) időbélyeg mellett. A WGS84 \rightarrow Lowrance Mercator (EPSG: 4326 \rightarrow SR-ORG: 8230) konverziót ArcGIS® Pro 2.2.1-ban végeztük.

Így egy olyan referencia adatsort nyertünk, amely *másodpercenként* egy-egy pontos koordináta-adatot szolgáltat. Az adatsor egyetlen hibája, hogy a mért pontok *másodpercenként* szerepelnek – miközben az SL3 fájlból származó szonogramok milliszekundumos lépésközben bélyegzettek, így a két adatsor számossága igen eltérő és az időbélyegeket csak ritkán esnek egybe:

SL3: ...2018.06.07. 06:45:25,004; 2018.06.07. 06:45:25,132; 2018.06.07. 06:45:25,347...
USR: ...2018.06.07. 06:45:25,000; 2018.06.07. 06:45:26,000; 2018.06.07. 06:45:27,000...

Ezért kifejlesztettünk egy olyan algoritmust, amelyik beolvassa mindkét állomány idősorát és koordinátáit, majd olyan időpontokat keres, ahol az eltérés kisebb, mint 12 milliszekundum (ez $6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ -ás sebességnél 2 centimétert jelent). Ha sikerül ilyen pontot találni, akkor az időeltérés figyelembevételével az USR fájlból származó pontot a haladási út mentén – a legközelebbi, SL3 fájlból származó pontban mért irányszöveget és haladási sebességet figyelembe véve – elmozgatja úgy, hogy az időbélyegek egybeessenek. *Az így kapott pontot referenciapontnak tekintjük.* Megvizsgáljuk, hogy a referenciapont és a hozzá tartozó számított pont 'x' és 'y' mennyivel tér el egymástól. A kapott hibát időarányosan, az SL3 fájlban visszafelé lépkedve elosztjuk. Elméletileg a távolságalapú hibaosztás pontosabb eredményt adna, de szubszekundumos tartományban a számításhoz szükséges sebesség fluktuációja alacsony és a gyakorlatban nem is állt rendelkezésre.

Ezzel az eljárással meggátolható a számított koordinátasorban kumulatíván jelentkező hibaterjedés, így a SL3 korlátai ellenére *gyakorlatilag* visszaállítható a szonártest eredeti útvonala. Ezzel a módszerrel sikerült felülmúlni a professzionális SonarWiz® alkalmazás geometriai pontosságát is.

Abban az esetben, hogyha a mérés csak rövid ideig tart és a mélységadatokat közvetlenül szeretnénk felhasználni, akkor a 'Z' koordináta – itt, mint 'h' geoid feletti magasság – nem igényel korrekciót, ezért azonos az aktuális, GNSS-ből érkező értékkel.

Azonban ha a mérés hosszabb ideig elhúzódik, a folyón levonuló természetes és mesterséges árhullámok, valamint a folyó esése hibát visz a mérésbe, ezért a mederfenék helyzetét egy referencia szinthez viszonyítva, abszolút magasság formájában kell megadni. Mivel minden más adat EOMA-ban (Egységes Qrszágos Magassági Alaphálózat) állt rendelkezésre ezért az EOMA-t választottuk függőleges vonatkoztatási rendszernek (EPSG: 5787) (International Hydrographic Organization, 2008). Az SL3 fájlba viszont WGS84 geoid feletti magasságok kerülnek (ESRI WK-ID: 105700). Mivel mindkét függőleges vonatkoztatási rendszer gravitáció alapú – és mért pontok sokaságaként meghatározott – ezért nincs lehetőség a két érték közt zárt formulával történő átszámításra, egyetlen megoldás transzformációs rácsból használata. Ilyen eljárás például a Budapest Főváros Kormányhivatala – Földmérési, Távérzékelési és Földhivatali Főosztály által forgalmazott EHT (ETRS89 – EOV Hivatalos Helyi Térbeli Transzformáció) VITEL (Valós Idejű Terepi Transzformációs Eljárási adatbázisa).

Ez az adatbázis ugyan rendelkezésre állt a mérés során használt GeoMax® Zenith35™ Pro GNSS-ben, de a szonár kezelőszervébe eljutó NMEA0183 mondatok nem az ezzel transzformált magasság adatokat, hanem az eredeti WGS84 geoid feletti magasságot tartalmazzák. Mivel a VITEL eljárásban használt raszter nem elérhető, ezért az EHT on-line felületével létrehoztunk egyet:

1. A Dráva magyarországi szakaszán a két partél között felvettünk 355 véletlen pontot, WGS84-es földrajzi koordináta rendszerben, úgy hogy ezek ne legyenek egymáshoz 350 méternél közelebb. Minden pont a WGS84 geoid felett értelmezett 200 méteres, virtuális magasságot kapta.
2. Ezen koordináta-értékeket az EHT on-line felületén manuálisan megadtuk, majd az átszámítás után megkaptuk az adott pontokban érvényes eltérést a két függőleges vonatkoztatási rendszer között. A kapott értékek $-45,6509$ m és $-44,3243$ méter között ingadoztak, $0,2432$ méteres szórással. A Dráva területén a WGS84 geoid '0' szintfelülete kb. $44,8155$ méterrel van az EOMA '0' szintfelülete felett. Az on-line felületen megadott ' λ ' és ' φ ' értékeket Lowrance Mercator vetületi rendszerbe számítottuk át.
3. Ezen pontokból *Spline* interpoláció (FRANKE, 1982) segítségével egy $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ felbontású, a vizsgálati területet lefedő, georeferált rasztert készítettünk.
4. Az így kapott rasztert konstansként eltároltuk a feldolgozó programban és minden egyes (javított) koordinátpont ' h ' geoid feletti magasságát a cellában kiolvasható értékkel átszámítottuk EOMA 'Z' (Balti feletti) magasságra.

A kutatás során kivétel nélkül az abszolút magasságmegadás módszerét használtuk, mivel ebben az esetben nem szükséges a szonárfej merülését rögzíteni, elegendő a rudazat konstans, háromméteres hosszát ismerni; illetve a mérést nem befolyásolják az árhullámok és vízszintingadozások; a csónak különböző terheléséből és sebességingadozásból fakadó állásszög-változások; továbbá az abszolút magasságértékek közvetlenül illeszkednek partél magasságát leíró LiDAR felvételekhez.

5.3.3 Koordináták horizontális- és vertikális hibáinak szűrése

A mérés során használt GeoMax® Zenith35™ Pro Rover ugyan nagy pontosságú eszköz, de a koordináta meghatározás során kisebb-nagyobb zavarok előfordulhatnak. A fellépő hibák három csoportra oszthatók:

- Emberi hibák (a kezelőszemélyzet a szonármérés megkezdése előtt nem várt a „Fix 3D” pozícióra);
- Fizikai jelvesztés (a GNSS jel kitakarása; az RTK+ kapcsolatot biztosító mobilhálózat hiánya);
- Az RTK+ hálózat kimaradásai.

Az adatfeldolgozás során a hibák okai utólag nem voltak feltárhatók, és a 'λ' és 'φ' koordináták abszolút hibája – referencia hiányában – nem megállapítható, ezért detektálásukra *indikátorként* a geoid feletti magasságot vizsgáltuk, mivel a mérés pontosságának csökkenése fokozottan jelentkezik a magassági adatokon.

Elsődleges hibaszűrés végett a feldolgozó program automatikusan kizárja azon adatcsomagokat, amelyek a WGS84 ellipszoidon 100 méternél alacsonyabban (~66 mBf), vagy 280 méternél magasabban vannak (~236 mBf). Ezzel a szűréssel a durva hibák eltávolíthatóak. (A gyakorlatban ez kivétel nélkül 0 méteres méréseket jelentett.)

Másodlagos szűrésnéként az aktuális mérés magasságát az adott állományban lévő összes adatcsomag átlagos magasságához viszonyítottuk.

Figyelembe véve, hogy egyik mérési kampány sem volt hosszabb, mint 10 km, megjelöltük azokat a méréseket, ahol a GNSS szerinti magasság $\pm 0,5$ méternél jobban eltávolodott a kampányra jellemző átlagtól. Az általunk fejlesztett szoftverkörnyezetben ezen „megjelölt” mérésekkel két dolgot tehetünk:


1. Eltávolítjuk őket; ezzel helyükön egy-egy rés keletkezik.
2. Megkíséreljük javítani őket – azt a jelenséget kihasználva, hogy a hibásnak ítélt részek rendszerint csoportosan jelennek meg. Hibajavításkor megvizsgáljuk a teljes állományt és meghatározzuk azon $1...n$ elemű csoportokat, ahol a magasság fél méternél jobban eltér az átlagtól. Ha a csoport a mérési kampány belsejében van (jobbról és balról is „jó” magasságértékű pontok szegélyezik), akkor kiolvassuk a csoport előtti, majd a csoport utáni – elvileg – helyes magasságértéket és a két érték között lineáris interpolációval új magasságértéket adunk a csoport elemeinek. Abban az esetben, ha a csoport a kampány szélén van, akkor az első-, vagy az utolsó – elvileg – helyes magasságértékű pont magasságát írjuk a csoport összes tagjára. Bár az eljárással sok pont „megmenthető” a horizontális pontosság-csökkenést nem befolyásolja, így a mérési lánc adott esetben cikk-cakkos lehet, de úgy ítéltük, hogy a kis-méretű (1–15 centiméteres) horizontális hibákból fakadó keresztaszelvény elcsúszá-


sok a végső, interpolált fenékdomborzat-modellben kisebb magassági hibát okoznak, mintha az összes ilyen mérési pontot elvetnénk és több tíz méteren át csak egy felület-interpolációs eljárásra támaszkodnánk.

5.3.4 Kurzushibák és kilengések csillapítása

Az eredeti SL3 fájlokban kétféle kurzus állt rendelkezésre: GNSS-ből (koordinátageometriai úton) származtatott és mágneses módon mért. A mágneses rendszer pontossága azonban csak akkor kielégítő, ha ismerjük a pontos, adott helyen, adott időpillanatban érvényes deklinációt (CHULLIAT, et al., 2015) és az eszközt minden mérési kampány előtt kalibráljuk – és a maximális pontosság ekkor is csak $\pm 2^\circ$.

A GNSS rendszerből kapott irányszög ennél jóval pontosabb – megfelelő GNSS mérés esetén. Abban az esetben, ha a folyón felfelé haladunk a sodrás és az örvények a csónakot igen kicsi amplitúdóval, de folyamatosan jobbra-balra mozgatják és billegetik (ami a három méter magas rúdon már jelentős), úgy hogy a kurzus még rövid (~ 1 s) időátlagot tekintve is állandó marad.

Az így keletkező elmozdulások már a GNSS mérési tartományába esnek, ezért a WGS84 koordinátákból számított haladási irány kismértékben, de jobbra-balra cikázik. Ez a későbbi feldolgozás során azért jelent problémát, mert a pásztázó, oldalra tekintő mérések ezen haladási irányra merőlegesen történnek, így miközben a csónak gyakorlatilag egyenesen halad a mérések „” formában elforognak.

Ezen hatás csillapítására az utófeldolgozás során bevezettünk egy harmadik kurzust, amelyet úgy kapunk meg, hogy veszünk három egymást követő mérést és a középső pont kurzusát az öt megelőző és az öt követő pontot összekötő vektor irányszögeként adjuk meg; így az elvi „” mérés kép jobban közelíthető és a háromtagú „átlagolás” még nem mossa el a valódi kanyarokat, de már elégséges, hogy a későbbi interpolációk során megjelenő adathiányos csíkokat kiküszöbölje. Az eljárás az útvonal-koordinátákat nem érinti.

5.3.5 Mérési adatokhoz kötődő koordináta számítások

Harmadik lépésben megkezdődik a mérési adatok exportja. Ezek közül első és legfontosabb az interferometrikus mélységadatok feldolgozása. A mélységadatok az interferometrikus adatcsomagok fejléce után következnek, 32-bites lebegőpontos számsorozat formájában, ahol az első érték mindig a szonártesttől jobbra, illetve balra mért távolság vízszintes vetületét jelenti (11. ábra ‘x’ vektora); a második érték pedig a szonártest felfüggesztési síkjához képest mért mélység (11. ábra ‘z’ vektor). Az első mérés a szonártól balra, 0 láb távolságban

(a szonár alatt közvetlenül) történik, majd lábanként halad kifelé addig, amíg a 11. ábrán látható ' θ ' szög nem lesz túl alacsony, vagy a mederfenék reflektanciája jelentősen le nem csökken; ekkor a sor megtörik és több lábat is ugorhatnak a távolsáértékek, de legfeljebb az elvi 90°-ig tartanak. Ezután középről indulva a jobb oldali irányában is végighalad a mérési lánc. A jobb- és bal oldal rendszerint nem azonos számú mérést tartalmaz és térben sem feltétlenül szimmetrikus (KIRMANI, 2016).

Feltételezhető, hogy a szonár a fájlba kiírt mélységadatoknál sokkal több mérést végez, de később úgy válogatja le ezeket, hogy az adatcsomag mérete ne haladja meg a fejlécben deklarált, maximum 3 200 bájtot, miközben a jármű közelében a térbeli felbontás nagy legyen, de néhány távoli, jól azonosítható pont is bekerüljön a méréssorozatba (KIRMANI, 2016).

A szonártól mért távolság, a mélység, az irányszög, valamint a szonár aktuális (számított és korrigált) pozíciója segítségével megszerkeszthető az egyes mért pontok térbeli helyzete:

$$\begin{cases} X_b = X_0 \pm d \cdot \sin \gamma \\ Y_b = Y_0 \pm d \cdot \cos \gamma \end{cases} \quad \{27\}$$

ahol ' X_0 ' és ' Y_0 ' a szonár koordinátája (amely érkezik GNSS eszközből, vagy a fentebb leírt módon származtatott koordináta forrásból is); ' d ' a szonártól mért aktuális távolság; melynek előjele pozitív, ha a pont a szonártól jobbra-, negatív, hogyha a szonártól balra esik; ' γ ' a jármű irányszöge (amely az exportáló program beállításaitól függően lehet mágneses-, GNSS- és az útvonalból számított irányszög). A mélységkoordináta két módszer szerint számítható: relatív mélység esetén a szonár által kiadott mélységérték közvetlenül felhasználható (11. ábra ' z ' vektora), ekkor eredményül a helyi vízszinteshez viszonyított, aktuális vízszint szerinti értéket kapjuk; vagy abszolút magasságot használunk a GNSS, vagy EOMA magasságból kivonva (a GNSS és a szonár magasságkülönbségét figyelembe véve). Bár a relatív mélységexport lehetőségét meghagytuk, a kutatás további részében kizárólag abszolút, EOMA szerinti magasságot használtunk.

5.3.6 Interferometrikus mélységadatok szűrése

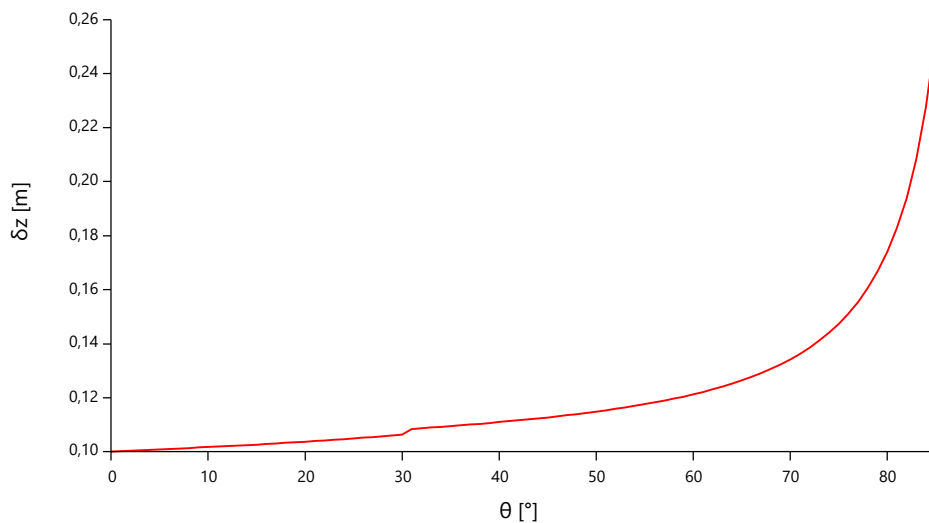
A szonár által készített interferometrikus mérések hibával terheltek. A hiba mértéke (LURTON, 2000) szerint:

$$\frac{\delta z}{z} = \frac{\delta \Delta \varphi_{AB}}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{a} \cdot \frac{\tan \theta}{\cos(\theta - \Psi)} \quad \{28\}$$

(A képlet részletes magyarázata a 4.5. fejezetben, a {19}. egyenletnél és a 11. ábrán.)

A képletből a 'δz', a hiba mértéke látszólag könnyen kifejezhető, gyakorlatilag viszont csak nehezen használható, mert a szonár nem rögzíti a 'δΔφ_{AB}' (látszólagos fáziskülönbség) értékét; továbbá az 'a' (két hidrofon közötti távolság) érték sem ismert pontosan, – (PROCTOR, et al., 2016) szabadalmában csak példákat közöl. Tovább bonyolítja a hiba meghatározását, hogy a StructureScan® 3D szonár 3 db, 60°-os nyílásszögű részből áll, amelyek 430, illetve 480 kHz-en üzemelnek (COLEMAN, 2013).

Tételezzük fel, hogy a 'δΔφ_{AB}' értéke konstans, $\frac{2\pi}{360} = \frac{\pi}{180}$ – tehát minden mérésnél a szonár 1° hibát vét – miközben a mederfenék tökéletesen sík és 5 méter mélységben fekszik, a hangsebesség pedig $1450 \frac{m}{s}$! Az egyszerűség kedvéért csak a szonárrendszer jobb oldalát vizsgáljuk: ekkor a 'θ' szög minimális értéke 0°, maximális értéke $60^\circ + \frac{60^\circ}{2} = 90^\circ$. A nullától 30°-ig a 'Ψ' értéke 0°, majd 30°-tól 90°-ig 60° (COLEMAN, 2013). Ha tudjuk, hogy a lefelé tekintő (0–28°) szonár-rész frekvenciája 430 kHz, míg az oldalra tekintő szonáré 480 kHz, akkor PROCTOR, et al. (2016) szabadalma alapján az 'a' értéke 4,93 mm-nek, illetve 3,78 mm-nek közelíthető. Ha ezen értékeket behelyettesítjük és a hiba mértékét a 'θ' szög függvényében ábrázoljuk, akkor a 25. ábrán látható, összevont diagramot kapjuk.



25. ábra. Az interferometrikus hiba mértéke a $\frac{\delta z}{z} = \frac{\delta \Delta \varphi_{AB}}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{a} \cdot \frac{\tan \theta}{\cos(\theta - \Psi)}$ képlet alapján, melyben ha $\theta \leq 30^\circ$, akkor $\Psi = 0$, ha $\theta > 30^\circ$, akkor $\Psi = 60^\circ$. A diagram jobb oldala csonkolt, mivel 90° felé haladva a hiba mértéke a végtelelenséghez tart. $\theta = 0^\circ$ esetében a hiba elméletileg 0, de a gyakorlatban némi pontatlanság mindig adódik a méréshez, ezért az eredmények a 'δz' tengely mentén +0,1 méterrel (felfelé) eltoltak. A 30° környékén látható törés a függőlegesen lefelé és a 60°-al döntött interferométer közötti váltás miatt alakul ki.

Bár ezen diagram csak elméleti konstrukció, a mérési hiba az eredeti, 0,1 méteresnek feltételezett hiba 150%-át valahol 70° környékén éri el, ezért a szonártesttől, a helyi függőleges-

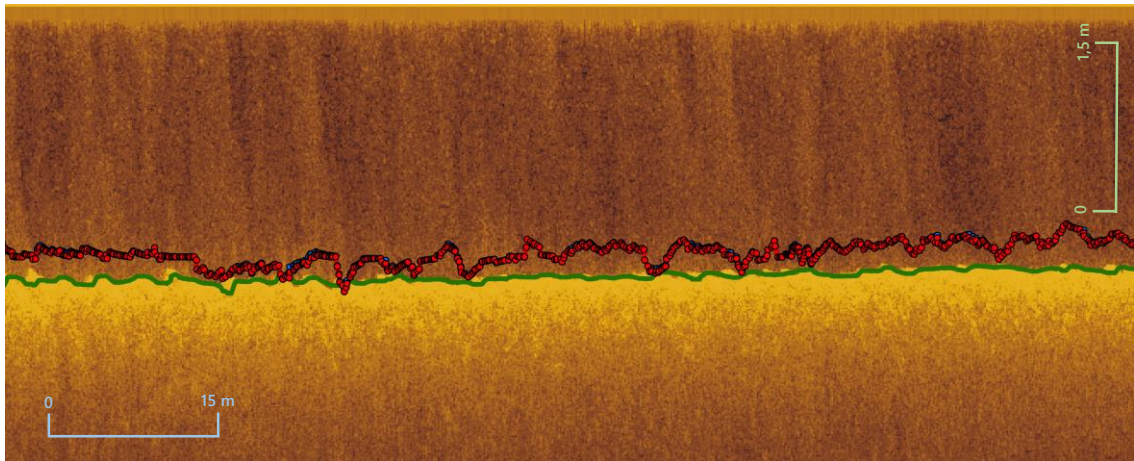
hez mérten 70° -nál nagyobb szög alatt látszó pontokat *kizártuk* a számításból. A nagy mérési hibával terhelt pontok leszűrésének viszont jelentős ára van: a letapogatási szélesség – a helyi domborzati viszonyoktól függően – körülbelül a *felére* csökken. A fenti képlet alapján kapott ‘ δz ’ értéket minden exportált pont mellé csatoltuk – arra az esetre, hogyha olyan interpolációt használnánk a fenékdomborzat raszterizációjához, amelyik támogatja a pontonkénti mérési hibamegadását (pl.: EBK Regression Prediction).

5.3.7 Interferometrikus mélységadatok korrekciója – Pontosságvizsgálat

A Dráva fenékdomborzati viszonyai változatosak és változékonyak egyben. Interferometrikus mérési elven működő alacsony költségvetésű, eredetileg rekreációs célú szonárt nem használtak még ilyen nagy kiterjedésű víztest felmérésére, ezért fontos az eszköz mérési pontosságának meghatározása.

A mérési pontosság klasszikus meghatározására sajnos nem volt lehetőségünk, mivel a vizsgálati területen nem volt olyan térrész, ahol a szonár terepi felbontásával összevethető adatsűrűségű, friss, nem távérzékeléses úton mért batimetria állt volna rendelkezésre, ezért a mérési pontosság növelésére és a pontosság becslésére több kísérletet tettünk.

Első kísérletünkben feltételeztük, hogy a rendszer single-beam szonárkomponense megbízható mélységadatokat szolgáltat. Ezt a feltevést látszólag alátámasztja a 26. ábra is, ahol egy TIFF exportált (5.3.8, fejezet) DownScan™ kép látható; ahol a sárga határfelület a mederfenék és a vízoszlop határát jelöli, azzal a megkötéssel, hogy a DownScan™ egy kicsi, de a menetirányra merőlegesen, erősen nyújtott térrészről ad összegzett reflektancia információt.



26. ábra. A 122+000 → 125+000 fkm között végzett mérés-kampány 124+900 és 125+000 között, folyásiránnyal szemben rögzített DownScan™ képe. A zöld, folytonos vonal az egycsatornás szonár mélységadatát jelöli, még a pontsorozat az interferometrikus mérőrendszer alatt, az elvi jobb- (kék – csak néhol látható) és bal oldalon (piros) regisztrált mélységet mutatja be. A DownScan™ és a mélységadatok függőleges irányban tízszeresen torzítottak.

A határfelületen végigfutó, olajzöld vonal a single-beam szonárból származó mélységadat-sort jelöli, amely túlnyomórészt együtt fut a mederfenékekkel. A vonal felett, a vízoszlopban két pontsor látható: a piros sorozat az interferométer bal oldalán, a helyi függőlegestől mentirány szerint balra 0 méteres távolságban mért mélységadat-sort mutatja; még a helyenként előbukkanó kék pontok a helyi függőleges jobb oldalán, – szintén 0 méteres távolságban – elhelyezkedő pontok mélységét írja le. A két pont térben egybeesik, ennek ellenére a szonár feldolgozószoftvere néhol eltérő mélységeredményeket ad. Ahol a kék pontsor teljesen eltűnik, ott a két érték azonos volt. Az ábráról több érdekesség is leolvasható: egyrészt a zöld vonal nem esik tökéletesen egybe a sárga határfelülettel, másrészt az interferometrikus méréseket szisztematikusan tűnő hiba sújtja, úgy hogy közben az elvi mélységadat-sor körül fluktuál, de nem esik azzal egybe.

A jelenséget statisztikai vizsgálatnak vetettük alá. Rendelkezésre álló felmérési pásztákból kiválasztottunk hat darabot – hármat folyásirányban, hármat azzal szemben rögzítve – és összehasonlítottuk, hogy az egycsatornás szonár és az interferométer mérései jobb- illetve bal oldalon mennyire térnek el. Ezen vizsgálat eredményeit foglalja össze a 2–7. táblázat. A mélységértékek összehasonlítását úgy végeztük, hogy az interferometrikus mélységből – referenciaként – kivontuk az egycsatornás szonárból származó mélységértékeket.

2. táblázat. A 106+000 → 110+000 fkm közötti folyószakasz egy, folyásiránnyal szemben rögzített pásztájának statisztikai vizsgálata – jobb- és bal oldalon. Az adatsort úgy állítottuk elő, hogy az interferometrikus jobb-, illetve bal oldali mérésből kivontuk a velük azonos pontban készült single-beam mérés mélységértékét.

106+000 → 110+000 ↑ Folyásiránnyal szemben ↑		
	Bal oldal	Jobb oldal
Elemzszám:	19 906 db	19 906 db
Átlag (\bar{x}):	+0,287582 m	+0,293589 m
Szórás (σ):	0,520458 m	0,526857 m
Medián:	+0,220456 m	+0,224345 m
Minimum:	-1,169912 m	-1,049346 m
Maximum:	+7,193678 m	+7,275974 m
Skewness:	+7,586371	+7,663736
$P(\bar{x} \pm 1\sigma)$:	0,958052	0,958254
$P(\bar{x} \pm 2\sigma)$:	0,984075	0,984025
$P(\bar{x} \pm 3\sigma)$:	0,987742	0,987642

3. táblázat. A 125+000 → 130+000 fkm közötti folyószakasz egy folyásirányban rögzített pásztájának statisztikai vizsgálata – jobb- és bal oldalon.

125+000 → 130+000 ↓ Folyásirányban ↓		
	Bal oldal	Jobb oldal
Elemzszám:	23 484 db	23 484 db
Átlag (\bar{x}):	+0,305596 m	+0,311295 m
Szórás (σ):	0,159784 m	0,152463 m
Medián:	+0,322859 m	+0,326452 m
Minimum:	-1,829805 m	-1,826757 m
Maximum:	+1,1677142 m	+1,109802 m
Skewness:	-0,616535	-0,630057
$P(\bar{x} \pm 1\sigma)$:	0,704479	0,700860
$P(\bar{x} \pm 2\sigma)$:	0,961676	0,960782
$P(\bar{x} \pm 3\sigma)$:	0,991483	0,992548

4. táblázat. A 185+000 → 188+000 fkm közötti folyószakasz egy, folyásiránnyal szemben rögzített pászttájának statisztikai vizsgálata – jobb- és bal oldalon.

185+000 → 188+000 ↑ Folyásiránnyal szemben ↑		
	Bal oldal	Jobb oldal
Elemzés:	23 225 db	23 225 db
Átlag (\bar{x}):	+0,432569 m	+0,448516 m
Szórás (σ):	0,701501 m	0,711526 m
Medián:	+0,302247 m	+0,313018 m
Minimum:	-2,838783 m	-2,951443 m
Maximum:	+5,485324 m	+5,543235 m
Skewness:	+1,964688	+1,944013
$P(\bar{x} \pm 1\sigma)$:	0,839268	0,841808
$P(\bar{x} \pm 2\sigma)$:	0,944198	0,943897
$P(\bar{x} \pm 3\sigma)$:	0,976146	0,975716

5. táblázat. A 145+000 → 149+000 fkm közötti folyószakasz egy folyásirányban rögzített pászttájának statisztikai vizsgálata – jobb- és bal oldalon.

145+000 → 149+000 ↓ Folyásirányban ↓		
	Bal oldal	Jobb oldal
Elemzés:	16 873 db	16 873 db
Átlag (\bar{x}):	+0,288671 m	+0,297203 m
Szórás (σ):	0,196243 m	0,196473 m
Medián:	+0,286623 m	+0,294634 m
Minimum:	-1,172790 m	-1,172789 m
Maximum:	+1,536295 m	+1,432662 m
Skewness:	-0,155313	-0,274919
$P(\bar{x} \pm 1\sigma)$:	0,758312	0,758786
$P(\bar{x} \pm 2\sigma)$:	0,959106	0,959817
$P(\bar{x} \pm 3\sigma)$:	0,985539	0,986072

6. táblázat. A 155+000 → 160+000 fkm közötti folyószakasz egy folyásirányban rögzített pásztájának statisztikai vizsgálata – jobb- és bal oldalon. A kerek elemszám abból következik, hogy a pászta végén a mérőhajó oldalirányban sodródni kezdett és az ezidő alatt rögzített méréseket levágtuk, mivel ilyenkor a szonár körüli áramlás megváltozik.

155+000 → 160+000 ↓ Folyásirányban ↓		
	Bal oldal	Jobb oldal
Elemzés:	22 400 db	22 400 db
Átlag (\bar{x}):	+0,346391 m	+0,335217 m
Szórás (σ):	0,150951 m	0,147356 m
Medián:	+0,353901 m	+0,341402 m
Minimum:	-0,529113 m	-0,510825 m
Maximum:	+1,027878 m	+1,027879 m
Skewness:	-0,394479	-0,343421
$P(\bar{x} \pm 1\sigma)$:	0,721830	0,720848
$P(\bar{x} \pm 2\sigma)$:	0,949018	0,950000
$P(\bar{x} \pm 3\sigma)$:	0,989911	0,989955

7. táblázat. A 122+000 → 125+000 fkm közötti folyószakasz egy, folyásiránnyal szemben rögzített pásztájának statisztikai vizsgálata – jobb- és bal oldalon. Ezen szakaszon a különbség megoszlása közel normál eloszlás.

122+000 → 125+000 ↑ Folyásiránnyal szemben ↑		
	Bal oldal	Jobb oldal
Elemzés:	13 576 db	13 576 db
Átlag (\bar{x}):	+0,271091 m	+0,275777 m
Szórás (σ):	0,173786 m	0,168996 m
Medián:	+0,269799 m	+0,275466 m
Minimum:	-1,127509 m	-1,136652 m
Maximum:	+1,205820 m	1,126572 m
Skewness:	-0,00635	-0,081518
$P(\bar{x} \pm 1\sigma)$:	0,724808	0,728197
$P(\bar{x} \pm 2\sigma)$:	0,953374	0,953889
$P(\bar{x} \pm 3\sigma)$:	0,989909	0,988951

A táblázatok vizsgálatából kiderül, hogy a 26. ábrán látszó szisztematikus hiba léte beigazolódott, amelyet a mediánok súlyozott átlagolásával 0,296461427 méternek határoztunk bal

oldalra és 0,299341593 méternek jobb oldalra. A kapott értékeket tapasztalati úton is sikerült alátámasztani: a szonár kezelőszervén leolvasható mélységértékek is rendre 30 centiméterre térnek el egymástól. A további számítások során az interferometrikus mérésből kapott, abszolút magasságértékeket ezen átlagokkal csökkentettük.

Második hibajavítási kísérletünkben az interferometrikus mérés egycsatornás szonárhoz viszonyított fluktuációját szerettük volna csökkenteni, ezt azonban a pontfelhők vizsgálata után el kellett vetnünk, mert a Lowrance® 200 kHz-es single-beam szonárjai a geodéziai single-beam-ekkel ellentétben az aktuális mélység egyharmadát kitevő alapátmérőjű kúpából nyert reflexió alapján határozzák meg a mélységvonalat, így a mélységet központonaltól oldalra eső magasabb mederformák is befolyásolhatják. Ha a középső interferometrikus mélység és a single-beam mélységének különbsége alapján elmozgatnánk az egész interferometrikus pásztát, akkor sík meder esetén javítanánk, tagolt, vagy lejtős mederfelnék esetén viszont rontanánk a mérés megbízhatóságát, így ezt az ötletet inkább elvetettük.

A hibaszűrő megoldások implementációja után a közelítő pontosságvizsgálatot 2018.07.18-án végeztük a drávaszabolcsi hídtól keletre. Mivel a meder abszolút, nem távérzékelési eszközökkel felmért geometriája itt sem ismert, ezért egy referenciaműszeres, relatív összehasonlítást végeztünk. A referencia műszer egy, a keresztaszvények felmérésére használt Ohmex SonarM8™ egycsatornás, 235 kHz-es, $\pm 4^\circ$ nyílásszögű szonár volt.

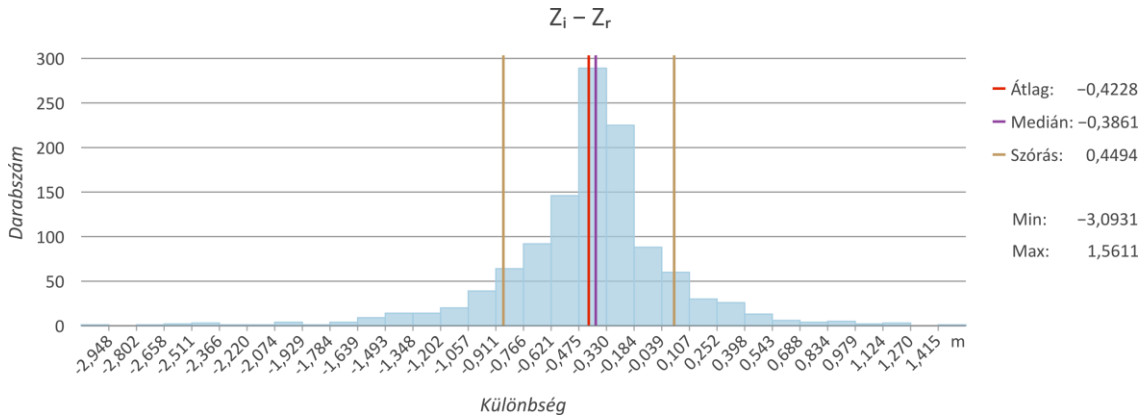
A referencia szonárt a használt mérőcsónak bal oldalára, a Lowrance® szonártól 1,1 méterre balra és két méterre hátra rögzítettük. A kísérlet során a Dráva bal oldalán, a part mentén hajóunk 3,8 kilométert lefelé, majd 2,7 kilométert felfelé, végül 2,7 kilométert lefelé. A mérési kampány során 1 231 db referenciamérés, és 1 584 444 db interferometrikus szonármérés készült.

Az 1 231 db referenciamérésből négyet eltávolítottunk, mert magassági koordinátáik az EOMA '0' szintje alá estek, majd még egy pontot leszűrtünk, mert adatkezelési hibából fakadóan, két példányban, másolatként is szerepelt. Az interferometrikus pontsorból is eltávolítottunk 1 678 db mérési pontot, mert ezek a pászták elején és végén lévő zónákban voltak, ahol a kurzusadatok nem megbízhatóak.

Mivel a referencia- és a Lowrance® szonárt a ráfordulások alkalmával nem lehetet tökéletesen egy időpillanatban elindítani, majd leállítani; illetve Ohmex® szonár működéséhez szükséges RTK+ jel egy alkalommal megszakadt végül 1 168 db referenciamérés és 1 582 766 db interferometrikus mérést hasonlítottunk össze.

A referencia- és az interferometrikus mérés pontjai nem estek egybe ezért a Lowrance® szonár mérési pontjait Topo To Raster függvény segítségével 0,75 méteres felbontású raszterre alakítottuk. Az interpolációt 1,5-es diszkretizációs hibafaktorról, 0,1 méteres vertikális hibaszórással és 0,3 méteres toleranciával végeztük. A kapott raszter 8,7 hektárt fedett le.

A raszter cellaértékeit összehasonlítottuk a rajtuk ülő referencia mérések magassági koordinátaival, úgy, hogy a raszterből kiolvasott értékből kivontuk a referencia értéket. Az így kapott hisztogramot a 27. ábra mutatja be:



27. ábra. Az interferometrikus mérésekből interpolált rasztercellák (Z_i) és a referenciapontok (Z_r) magasságkülönbségeinek hisztogramja. A hiba nem követi a normál eloszlást. A hisztogram 32, egyenlő szélességű osztályra bontott. A minimum-, a maximum-, az átlag-, a szórás- és a különbségértékek mértékegysége méter. Az 'x' tengely feliratai a kategóriák alsó/felső határát jelölik.

A hisztogramon látható, hogy a terjedelem igen nagy, mely főleg a minimum értéknek köszönhető.

A szélsőséges negatív értéket (-3,09311 m) DownScan™ képen megvizsgálva kiderült, hogy valójában semmilyen mederobjektum sincs jelen, ami a magasságkülönbséget indokolná, miközben az Ohmex® szonár egy magas mérés után hirtelen csökkenést mutat, ezért feltételezhető, hogy a referenciamérés is hibával terhelt. Egy ettől nyugatabbra eső pontnál a hiba oka viszont jobban magyarázható: a fenékre süllyedt uszadékfa ágát a Lowrance® szonár figyelmen kívül hagyta, míg az Ohmex® belefoglalta a mérésbe. A szélsőséges pozitív értékek környékén a Lowrance® szonár következetesen magasabb értékeket mért. A hiba oka a DownScan™ képen nem látható.

Kísérletképpen az adatsor alsó és felső 2,5%-át levágtuk: ekkor az átlag -0,4213721 méternek, a szórás pedig 0,363902 méternek adódik. A hisztogram alapján feltételezhető, hogy a két mérés technológia valamelyikét részben, vagy egészben ~0,38 méteres, szisztematikus hiba sújtja.

A mérés hibájának pontosabb meghatározásához a szonárt ismert medergeometriájú, nagy kiterjedésű, sekély, tisztavízű tóban kellene tesztelni.

5.3.8 Adatok exportálása

Az adatok exportálását a későbbi kompatibilitás érdekében három módon valósítottuk meg. Az elsődleges export felület egy szöveges, ASCII (American Standard Code for Information Interchange – Amerikai Szabvány az Információcserére) állományok exportjára képes szubrutin. Ezen szöveges, vesszővel elválasztott állományok térinformatikai támogatása széleskörű. ASCII formátumban exportálhatjuk a single-beam, a DownScan™, a side-scan szonogramokat ESRI ASCII raszter formájában, valamint a PDBS mélységadatokat hagyományos XYZ formátumban. Az ASCII export modult később kiegészítettük függőlegesen, tetszőlegesen torzított hossz-szelvény mentési lehetőséggel is. Ugyanígy, tetszőleges torzítási lehetőséggel elkészült a sidescan; a DownScan™ és a single-beam mentő alrendszer is – ami annyiban tér el az első, ESRI ASCII exporttól, hogy itt az eredményt nem raszteresen, hanem vektoros pontfelhőként menthetjük.

A második szubrutin ESRI File Geodatabase („fájlgeoadatbázis”) elemosztályok exportálására képes az ESRI File Geodatabase API Ver.: 1. 5. 1. 253. segítségével. Ez a függvénykönyvtár egy 64-bites natív, jogdíjfizetési kötelezettség nélküli formája az ESRI fájlgeoadatbázisok írásának. A fájlgeoadatbázis GDAL (Geospatial Data Abstraction Library – Földrajzi adatok absztrakciós rétege) támogatása, adatbázis-elvű felépítése, térbeli- és attribútum indexei miatt a szöveges állományoknál hatékonyabb és egyben kompaktabb adattárolási forma, amely natívan írható/olvasható ArcGIS® rendszerekben.

Fájlgeoadatbázisba exportálható az interferometrikus mérés eredményei mellett a GNSS-ből nyert útpontok láncolata; a számított útpontok; az oldalra tekintő pásztázó (sidescan) szonár nyers-, valamint a 18. ábrán bemutatott, 'x' távolságra korrigált adtasorai. Minden állomány pont (útpontok), vagy „multipont” (sidescan és interferometrikus mérések) típusú elemosztály, *Z és M geometriai attribútumokkal*; ahol a Z érték a magasságot/mélységet tartalmazza; míg az M érték az útpontok esetében a kezdőponttól mért távolságot, interferometrikus mérés esetén a várható mérési hibát, sidescan eredmények esetében pedig az aktuális reflektancia értékét tartalmazza. Ezzel a megoldással az állományok sokkal gyorsabban feldolgozhatók, minthogyha ezen értékeket hagyományos adattáblába, vagy szövegfájlokba rögzítenénk.

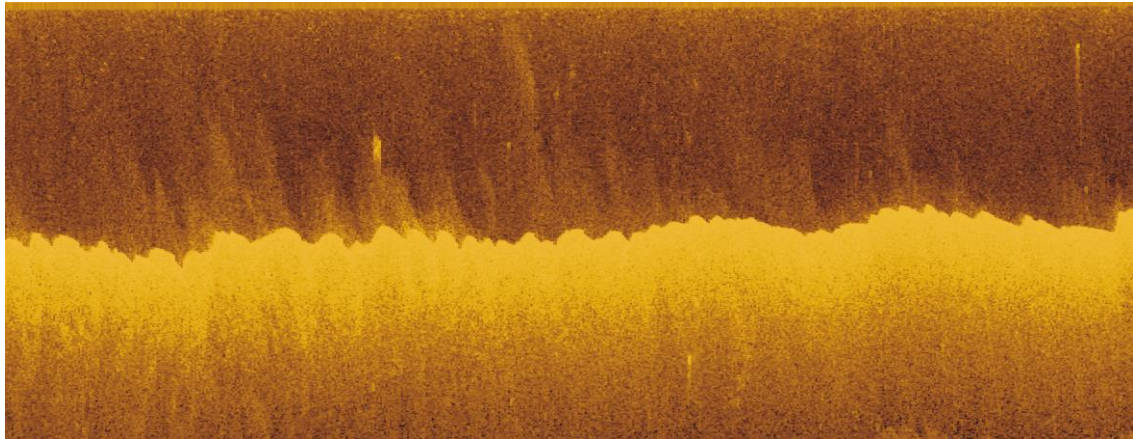
ESRI File Geodatabase export esetén az adatbázisba kerül még néhány metaadat is, így a felmérés dátuma; az adatfeldolgozás dátuma; az eredeti, bemeneti állomány mérete; a bemeneti fájl MD5 (Message-digest algorithm №. 5 – 5. üzenetkivonatoló algoritmus) újlényomata; valamint az, hogy az útpontok, az oldalra tekintő- és az interferometrikus szonár mérések térbeli kivetítésénél a mágneses-, az útvonal alapján csillapított, vagy a GNSS szerinti haladási irány lett-e figyelembe véve.

Harmadik exportálási lehetőség a TIFF (Tagged Image File Format – Címkézett képformátum) állományok mentése. TIFF állományba menthetők az oldalpásztázó szonárképek, a DownScan™ felvételek és az egycsatornás mélységmérő szonár regisztrátumai. A TIFF előnye, hogy konverzió nélkül beolvasható bármelyik térinformatikai programba és a hozzájuk csatlakozó koordináta-leíró *.TFW (Tagged Image File Format World File – Címkézett képformátum koordináta-leíró fájl) fájlokkal a képek a felmérés irányában sorba rendezhetők és pixelméretük is definiálható. TIFF export eredménye az előző fejezet 15–17. ábrája is.

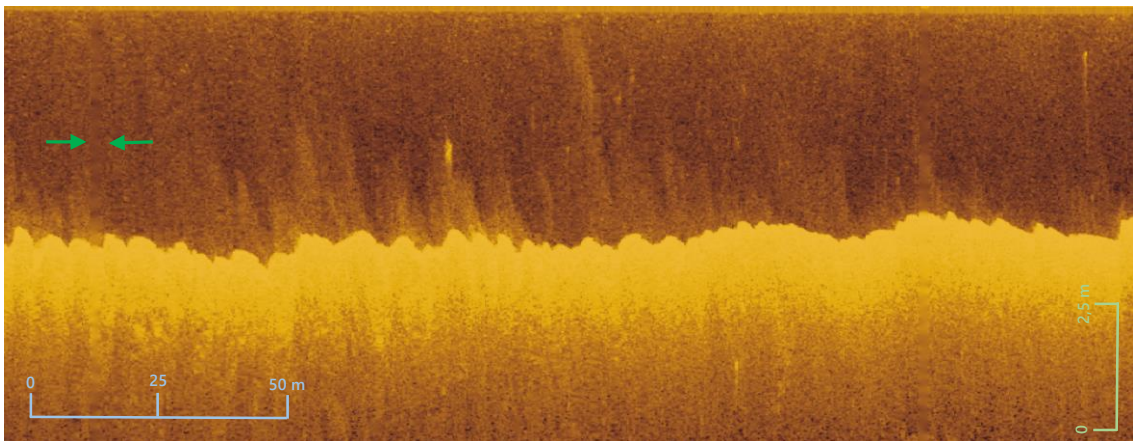
A TIFF export hátránya, hogy a mérési kampányt fel kell szeletelni olyan szakaszokra, amelyekben a szonár maximális letapogatási távolsága azonos volt – így egy mérési sorhoz nagyszámú TIFF fájl tartozhat.

Az eljárás további hátránya, hogy a TIFF-ekhez csatlakozó *.TFW állományokban az 'x' és 'y' irányú pixelméret csak az egész fájlra érvényes formában definiálható. Ez nem jelentene problémát, ha a jármű sebessége végig állandó maradna és az összes szonármérés sikeres is lenne egyben; ezek közül a gyakorlatban viszont egyik sem teljesül, így a szonár térbeli felbontása helyről-helyre változik – ezért a hosszabb szakaszok elcsúszhatnak a valódi pozíciójukhoz képest.

A 28. és a 29. ábra ilyen elcsúszást mutat be. A 28. ábra TIFF exporttal készült, az adott szakaszra érvényes *átlagos* pixelméret figyelembevételével. A képen egy oszlop egy szonármérést jelöl. A szonogram tiszta, éles képet mutat, a különböző pixelek határozottan elkülönülnek egymástól.



28. ábra. A Dráva fenékdomborzatviszonyai a 160. folyamkilométernél TIFF exportált DownScan™ képen. A kép függőleges irányban tízszeresen túlmagasított, míg hosszanti irányban kb. 220 méter széles. Egy szonármérés egy oszlopot jelent – átlagos pixelméret mellett.



29. ábra. A Dráva fenékdomborzatviszonyai a 160. folyamkilométernél ASCII pontfelhőből interpolált DownScan™ képen. A kép függőleges irányban tízszeresen túlmagasított, míg hosszanti irányban – szintén – kb. 220 méter széles – immár topológiailag helyes formában. A zöld nyilak egy nagyobb kiterjedésű interpolált szakaszt jelölnek (lásd alább, a szövegben). Az alkalmazott „Natural Neighbor” interpolációs eljárás leírása az 5.7.2. fejezetben olvasható.

A 29. ábra két lépésben készült: először ASCII pontfelhőt exportáltunk, majd ez Natural Neighbor (5.7.2 Szonogramok interpolációja) algoritmussal interpoláltuk. A két kép nagyjában hasonlít egymásra, de apróbb elcsúszások több helyütt is megfigyelhetők.

A képek bal oldalán a homokfodrok nem ugyanott és nem is azonos fázisban kezdődnek. A 29. ábra bal szélétől körülbelül egy centiméterre egy halvány, elmosódott, függőleges csík látható a zöld nyilak között, amelyben – különösen a vízoszlopban – lágyszélű vízszintes részek vannak. Itt egy, vagy több szonármérés hiányzik, az elmosódott részt az interpoláció töltötte ki a két szomszédos érték segítségével – Voronoi-diagram (Thiessen-poligon) alapú súlyozás szerint. Az elmosódott vonaltól jobbra és balra több halvány, de a vonalon belül

határozottan pixelezett csík látható: itt a mérés „feltorlódott”. A 29. ábra kissé életlen hatású az interpoláció következtében: mivel az interpolációs eljárások sok szoftvercsomag esetében nem támogatják az ‘x’ és ‘y’ irányban eltérő pixelméreték definiálását, ezért a legjobb (függőleges-) felbontáshoz kellett alkalmazkodni. Az interpolációs eljárás topológiailag helyes eredményt ad – miközben számítási igénye hatalmas (TIFF export a használt konfiguráción $\approx 0,1$ s ugyanez interpolációval: ~ 420 s), ezért a szonármegjelenítő alkalmazások is rendszerint raszteres kimeneteket adnak. Gyors megtekintési célra megőriztük a TIFF kimenetet, mérésekhez pedig az interpolált változatokat használtuk.

A TIFF színindexelhető képformátum, mellyel lehetőségünk van olyan kimentek gyártására, amelyek nem igényelnek utólagos színezést, hanem közvetlenül használhatók mind térinformatikai- mind közönséges képmegjelenítő programokban. A ReefMaster® és a Lowrance® HDS-7” Gen3 Touch kezelőfelülete alapján az alábbi két színskálát és indexet fejlesztettük:

- 6 elemű, folytonos fekete → barna → sárga színrampa: ■ R: 27; G: 27; B: 27; 0% → ■ R: 73; G: 40; B: 38; 9% ■ R: 57; G: 39; B: 38; 15% → ■ R: 65; G: 29; B: 28; 24% → ■ R: 227; G: 172; B: 14; 75% → ■ R: 240; G: 187; B: 56; 100%. Minden színátmenet CIE Lab (Commission internationale de l’éclairage – Nemzetközi Világítási Bizottság) szabvány szerinti (30. ábra, 2. függőleges csík).



- 6 elemű, folytonos fekete → szürkéskek → sötét ciánkék színrampa: ■ R: 27; G: 27; B: 27; 0% → ■ R: 38; G: 40; B: 73; 9% ■ R: 38; G: 39; B: 57; 15% → ■ R: 28; G: 29; B: 65; 24% → ■ R: 14; G: 172; B: 227; 75% → ■ R: 56; G: 187; B: 240; 100%. Minden színátmenet CIE Lab szabvány szerinti (30. ábra, 3. függőleges csík).

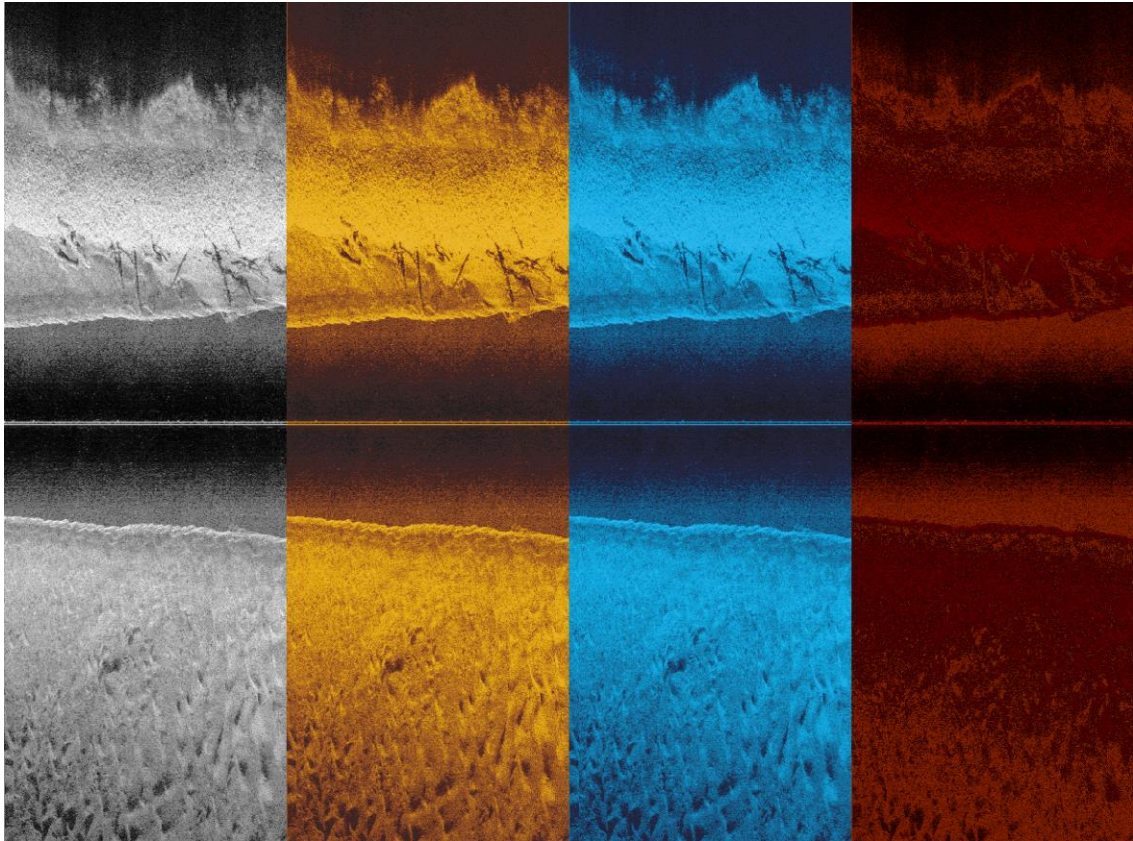


Ha a szonárképek „édesvízi” üzemmódban készültek és a maximális besugárzási teljesítmény 500 W (4.4 A szonár-egyenlet) az intenzitás 8-bitre kvantált értéke az $i \in \mathbb{N} [0; 171]$ intervallumban mozog, így mindkét színskála $[0; 255]$ -ös tartományra nyújtottan, 0,9-es ‘ γ ’ kompresszióval adja a „legplasztikusabb” eredményt. Mindkét skálát elkészítettük $[0; 255]$ -ös indexként is.

Készült még egy harmadik, alternatív indexskála az EdgeTech® Discover Bathymetric™ vörös színskálájának ötlete alapján is – elsősorban texturális elemzés céljából (30. ábra, 4. függőleges csík).

A 30. ábra első függőleges csíkja a közönséges, fekete → fehér referencia skálát mutatja be.

Plasztikussága, a morfológia könnyebb felismerhetősége, a valósággal többé-kevésbé összeegyeztethető színe miatt – prezentációs célokra – a fekete → barna → sárga színrámát használtuk.



30. ábra. Tanulmány a szonogramok megjelenítéséhez: az első függőleges csík a közönséges, [0; 255]-ös, fekete → fehér skálát mutatja be, a szonogram minimum–maximum értéke közötti lineáris „széthúzással”, 0,9-es ‘ γ ’ kompresszióval. Az egyes objektumok jól felismerhetők, a vízoszlop alacsony reflektanciájú sávja szűk, a texturális különbségek jól felismerhetők. A második függőleges csík a fekete → barna → sárga színrámpa képét mutatja be az első csíkkal azonos beállítások mellett. A texturális különbségek nehezebben kivehetők, de az árnyékok plasztikusabban elválnak, így a terület morfológiája jobban átlátható. A harmadik csík a fekete → szürkéskék → sötét ciánkék színrámpa képe, az első csíkkal azonos beállítások mellett. Bár az RGB értékek pixelről pixelre megegyeznek a második csík értékeivel, mégis sötétebb benyomást kelt, kevesebb kontraszttal. A negyedik csík (jobb oldalon) nem adja vissza a terület morfológiájának képét, de a különböző anyagi minőségű részek pontosan elválnak egymástól (morfológiai ráhatással).

A TIFF exportáló algoritmust úgy valósítottuk meg, hogy minden egyes képhez metaadatként tárolja el a szonárfelvétel készítésének (valódi) időpontját, a forrás SL3 állomány nevét, a rögzítő szonár típusát (jelenleg konstansként „Lowrance® StructureScan® 3D”), a szerző-, valamint az exportáló program nevét, a szonárfelvétel típusát (DownScan™; sidescan; primary scan, secondary scan) és az exportálás dátumát.

Az exportáló programot grafikus kezelőfelület nélkül, parancssoron valósítottuk meg, úgy hogy a működése naplózható legyen. A program az alábbi kimenetet szolgáltatja terminálemulátoron (*stdout*):

```
FKM_140_145_L3
8/11/2018 7:06:12 PM

    Inicializáció...

    Átlagos GNSS magasság: 134,70366343556
    Minimum GNSS magasság: 134,380002246094
    Maximum GNSS magasság: 135,229996875
    Terjedelem: 0,849994628906245

    Minimális GNSS magasság: 134,20366343556
    Maximális GNSS magasság: 135,20366343556
    Megengedett GNSS terjedelem: 1

    Átlagtól nagymértékben eltávolodott mérések száma: 135

    A terjedelem meghaladja a kritikus értéket!
    Töröljük, vagy interpoláljuk a hibás magasságértékű pontokat?
    T = Törlés / J = Javítás / M = Meghagyás változatlan formában / K = Kilépés

    Törölve...

    Összesen 58953 db elem.
    Kapcsolópontok száma: 576 db.

    Sikeres inicializáció!

    Side-scan... Rendben!
    Down-scan... Rendben!
    Primary-scan... Rendben!
    Geodatbázis export... Rendben!

Kész!
```

5.4 Felmérési terv

A Dráva magyarországi részének felmérésekor Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság szakembereinek tanácsa alapján 4–5 kilométeres szakaszokat jelöltünk ki, összesen 45 darabot. A Dráva magyarországi szakasznak vízjárta területe a nagyobb, el nem gátolódott holtágak és a szigetek figyelembe vételével $\sim 36 \text{ km}^2$ (3 605,959 ha), holtágak nélkül: $\sim 35 \text{ km}^2$. A főág maximális szélessége (szigetekkel): $\sim 230 \text{ m}$; minimális szélessége: $\sim 107 \text{ m}$; átlagos szélessége (holtágak nélkül, a szigeteket megkerülő mellékágakkal együtt): $\sim 150 \text{ m}$.

A szonár által belátott effektív nyílásszög $2 \times 70^\circ$ (5.3.6. fejezet), ez négyméteres, átlagosnak feltételezett vízmélység esetén megközelítőleg 22 méteres, sűrűn mintázott keresztzelvényeket ad.

Így 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 (a 4.6.3. fejezetben a 17. ábra bal alsó részén látható „levágódás”). Praktikusán úgy kell a part mentén végig haladni, hogy a fekete sáv az oldalra tekintő szonár képén, a jobb oldali panel $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{5}$ -e környéken ingadozzon. Így a felmérési terület veszteség még nem jelentős, de a rögzített szonárképen még a partél is látható, miközben a hajóvezető is elég időt kap, hogy a part kilengéseit követhesse. A partél képének rögzítése azért fontos, mert ha egy olyan folyó felmérését végezzük, amelyen terepi geodéziai mérésből, vagy légifelvételéből származó ortofotókon nem áll rendelkezésre a partél, akkor a szonárkép jobb oldalának utófeldolgozásával még mindig előállítható. A partél utólagos kinyerését az teszi lehetővé, hogy az oldalnézeti szonárképekre úgy tekinthetünk, mint egy távolság függvényében leírt intenzitás diagramra. Mivel a jármű aktuális, GNSS mérés szerinti pozíciója ismert és a szonár is minden mérés alkalmával megadja a maximális letapogatási távolságot és a haladás irányszögét ezért a szonárképek utólag georeferálhatók. Ezen georeferált képekről a partél aktuális vízszintnél mért helyzete *megközelítőleg* bedigitalizálható. Ez a megoldás még akkor is működőképes, hogyha nem rendelkezünk interferometrikus mélységadatsorokkal és a szonárkép ortorektifikációja csak sima, sík mederfenék feltételezésével történik – mivel a szonárfej és a partél közel egy síkban helyezkedik el. Hibát kizárólag a *foreshortening* okozhat (4.6.3. fejezet).
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 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, szimmet-

rikusan megjelenő sötét csíkokat eredményeznek – ritkán fehérzajjal („hangyásodás”). A Dráva, átlagosan $5-7 \frac{km}{h}$ -s folyási sebességét figyelembe véve a maximális, GNSS szerinti haladási sebesség folyásiránnyal szemben $5-6 \frac{km}{h}$, lefelé $10-11 \frac{km}{h}$.

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.

A szonárregisztrátumokat minden egyes le- és felfelé futó ágban külön-külön kell rögzíteni, mivel az SDHC™ kártyák FAT32-es fájlrendszeréből fakadó ~2 GiB-os korlát kb. kettő és fél fordulatból elérhető.

Az útvonalállományok folyamatosan menthetők.

Ezen mérési terv követésével a folyó ugyan nem fedhető le teljes egészében, de a keletkezett adatsűrűség több nagysárenddel meghaladja a hagyományos kereszttszelvényezés adatsűrűségét.

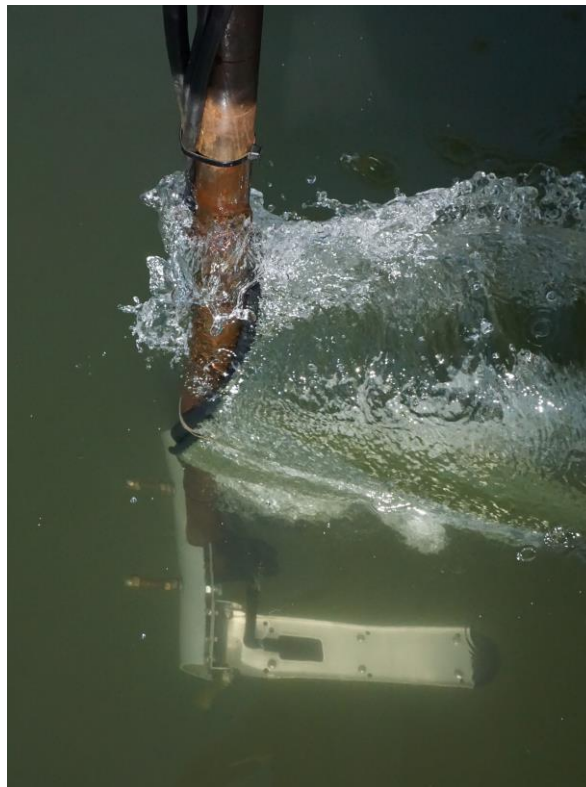
5.5 A mérőrendszer felépítése

A kutatás felmérési szakaszában a szonárrendszert egy kéttörzsű, katamarán szerkezetű, $6 \times 1,2 \times 2,3$ méretű ALUVU (Aluminijski čamci Vukovar) csónakon üzemeltettük. A katamarán test ideális mérőplatform, mivel merülése minimális és jól ellenáll a hossz tengely mentén fellépő billegésnek – ezért gyakran használják sekélyvízi körülmények között (SCHULTZ et al., 2013). A csónak teljes egészében alumíniumból készült, így nem zavarja a mérés során a Precision-9 mágneses iránymeghatározó rendszerét.

A mérőrendszert a csónak orrába, a két katamarántest közé helyeztük, úgy hogy a szonár legyen az első test, amely a vizet hasítja (GRZAÐZIEL et al., 2015; EDGETECH, 2017). Így a szonár kvázi intakt, örvényektől, kavitációtól és légbuborékoktól mentes közegben halad – mellyel az interferometrikus mérés pontossága és az oldalra tekintő szonárfelvételek részletgazdagsága maximalizálható (KAESER & LITTS, 2013; GRZAÐZIEL et al., 2015; 31. ábra és 32. ábra). Cserében, az orrnál történő elhelyezés hátránya, hogy az uszadékfával való ütközés veszélye viszonylag nagy – a hátsó, fartükörre történő felszereléshez képest (32. ábra).



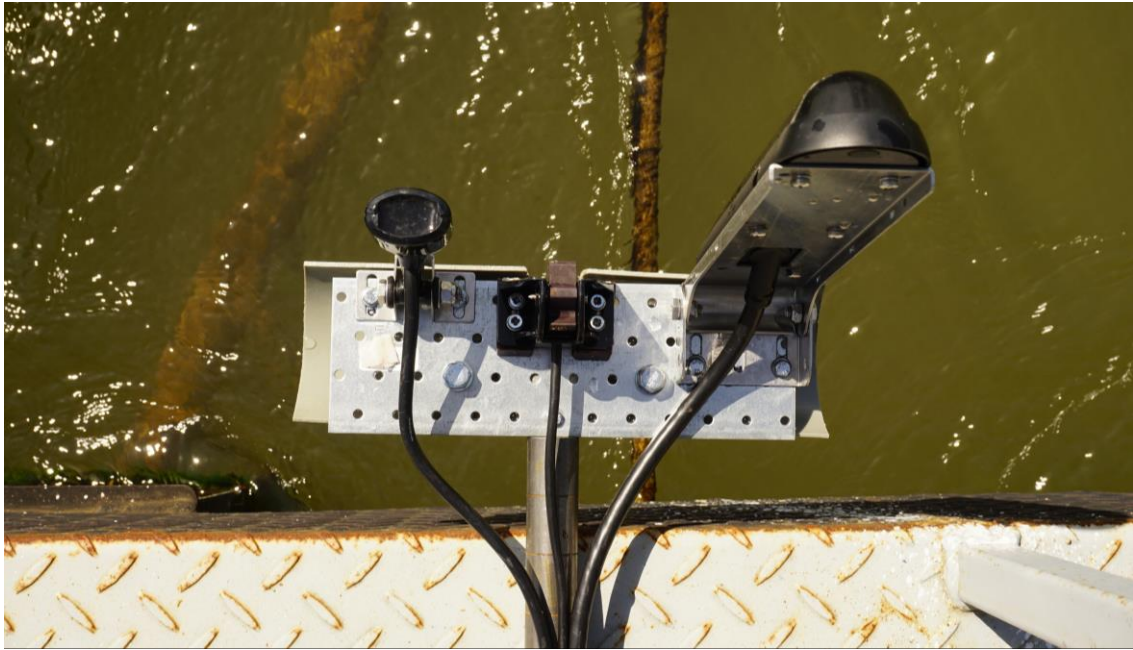
31. ábra. A mérőrendszer elhelyezkedése az orrban. A két szonárfej és a vízsebességmérő a rúd végén lévő hor-ganylemezekre rögzített. Szükség esetén az egész rudazat hátra hajtható, így a mérési területre a rendszer szétsze-relése nélkül is eljuthatunk – akár nagy sebességgel is. A rúd közepén szétcsavarható.



32. ábra. A szonár üzem közben. Mindkét szonárfej az intakt vízáramba merül, a rudazat keltette örvények, lég-buborékok és kavitációs jelenségek már nem érintik az érzékelőket. Az uszadékfával való ütközés veszélye – cser-ében – jelentős.

A mérőrendszert egy három méteres, függőleges rudazat köré szerveztük:

- Az acélrúd (GRZĄDZIEL et al., 2015) tetejébe egy $\frac{5}{8}$ "-es menet került, amelyre a GeoMax® Zenith35™ Pro GNSS rögzíthető. A GNSS-ből egy darab, kéterű kábel lép ki, amely az NMEA0183-as jelet továbbítja a szonár központi kezelőszerve felé. A kábel a GNSS kombinált USB/RS-232-es portjából kihúzható, így a GPS a kábel megcsavarodása nélkül le- és felszerelhető. A GNSS és szonárrendszer közös, függőleges tengelyre történő elhelyezésével a mérések georeferálása később egyszerűbben elvégezhető (GRZĄDZIEL et al., 2015).
- A rúd alsó végére egy 4 cm × 20 centiméteres horganylemez került, amelynek bal oldalára a StructureScan® 3D fejet, jobb oldalára pedig az egycsatornás mélységmérő szonárfejet rögzítettük. Az egycsatornás szonár feljebb, a horganylemez hidrodinamikai takarásában ül, míg a StructureScan® 3D kicsit lejjebb, közvetlenül a lemez alatt, a kvázi intakt vízáramba merül bele. A két szonárfej vízszintes középvonala közti távolság 0,15 m. A két szenzor függőleges irányú elkülönítésére azért van szükség, hogy a jobbról-balról 88-88°-os nyílásszögű interferometrikus mérés tartományába ne lógjon bele az egycsatornás szonár háza. Ha elhanyagolnánk, ez a magasságkülönbség kisméretű hibát okozna az oldalra tekintő szonárképek feldolgozásában, ezért a sidescan adatcsomaghoz csatolt mélységadatot ezen különbséggel csökkenteni kell. A GNSS- és a StructureScan® 3D elvi középpontja közötti távolság függőlegesen 3,05 m, vízszintesen a haladási irányra merőlegesen 0,075 m (balra), vízszintesen a haladási iránnyal párhuzamosan (hátrafelé) 0,05 m. Ezen értékek rögzítésére azért van szükség, hogy a mérőrendszerrel a relatív mélység mellett a fenékdomborzat abszolút magasságát is meghatározhassuk, valamint a mérés helyét kismértékben pontosítsuk. A mérésnél használt két szonárfejből (33. ábra) két-két kábel hald felfelé a kezelőszervehöz, illetve a „feketedoboz”-hoz.



33. ábra. A háromméteres rudazat aljára szerelt szonárfejek és köztük a lapátkerekes vízsebességmérő.

- A két szenzor között, a mérőrendszer tengelyében helyezkedik el a lapátkerekes vízsebességmérő, úgy hogy a sebességmérő alsó síkja egybeesik a rögzítő lemez aljával, így a lapátok közvetlenül a vízáramba esnek. Ez az elhelyezés kismértékben túlbecsüli a relatív sebességet. A vízsebességmérőtől 1 darab NMEA2000®-es (néhány jelölésen NMEA2k®) kábel indul a kezelőszerv irányába (33. ábra).
- A rögzítőlap elé egy PVC félhengert helyeztünk, hogy a szerelvény áramlástani 'k' formatényezője alacsonyabb legyen; mely síklapra vonatkoztatva $k \geq 1,1$, fenéklappal ellátott félhenger esetében viszont $k \lesssim 0,9$ (34. ábra).



34. ábra. Áramlásjavító PVC félhenger a szonárokat és a vízsebességmérőt tartó horganylemez előtt. Bal oldalon a Lowrance® StructureScan® 3D szonárfej, középen a Lowrance® EP-70R lapátkerékes vízsebességmérő, jobb oldalon pedig a Lowrance® HST-WSU 83/200 kHz egycsatornás szonár látható. A StructureScan® 3D szonárfej tetején lévő műanyag peren alsó része egyvonalba esik az egycsatornás szonár középvonalával.

- A szonárfejeket tartó mérőrúdra öt centis lépésközzel rögzítőlyukakat fúrtunk, hogy a gyakori le- és felszereléseknél ne lehessen a szonárt az elvi, előre mutató iránytól eltérően rögzíteni.
- A szonár kezelőszerve a szonárfejek merülését csak 0,1 méteres lépésközzel képes rögzíteni, ezért a rúd kifelé eső oldalán centiméteres osztásközű rovátkák vannak, amelyek mentén a tényleges merülés leolvasható. Ezen érték segítségével a valódi mélység szoftveresen kiszámítható.
- A mérőrúd közepén szétszerelhető, hogy a rögzítőcsőből a GNSS és a szonárfejek leszerelése nélkül kihúzható legyen. Ezzel a megoldással nem kell minden alkalommal a kábelkötegeket elbontani, majd ismét rögzíteni.

Ezt a fizikai felépítést követve más batimetriai-, vagy oldalpásztázó szonárfelmérések is kivitelezhetők; mely terveink szerint a kisköltségvetésű szonárrendszerek gyakorlati kiépítésének egy sztenderdizált protokollja lehetne.

5.6 Üzemeltetési terv

A mérés reprodukálhatósága érdekében fontos, hogy a szonárrendszert minden alkalommal azonos eljárásrend szerint szereljük össze és azonos beállításokkal üzemeltessük.

Összeszerelések alkalmával az alábbi utasítás szerint jártunk el:

1. Ellenőrizzük, hogy a csónak orrába szerelt felfüggesztés külső oldaláról nem hiányzik-e a rögzítő csavar ($\varnothing 5 \text{ mm}$, \odot)! A rudazatot a konzol felett szorítógyűrűvel is rögzíteni kell.
2. Az interferometrikus- és az egycsatornás szonárt, valamint a vízsebességmérőt tartalmazó rúdon ellenőrizzük, hogy a három kábelt rögzítő kábelkötegelők nem szakadtak-e el. Ha elszakadtak, pótoljuk ezeket úgy, hogy a kábel a rúd hátsó részén, a csónak felé eső oldalon legyen. A kábelkötegelők felesleges, túllógó részét vágjuk le.
3. Alulról helyezzük be a tartóba a szenzorokat tartó rudat, úgy hogy 30–40 cm mélyen merüljön a vízfelszín alá.
4. Húzzuk meg a rögzítő csavart, úgy hogy a rúdon lévő sülyesztett furatok egyikébe essen.
5. A rúdon három centiméterenként bevágások láthatók. Számoljuk meg ezeket, vagy mérjük le, hogy a szonár milyen mélyen merül. A szonár merülését az interferometrikus (nagy méretű, fekete) szonártest felső részén lévő műanyag perem alsó része által kijelölt síktól felfelé, a víz felszínéig mérjük. A kapott értéket mindenképpen jegyezzük fel, mivel a szonár a vízmélységet ettől a szinttől számítja, így a mért értékeket a merülés mértékével a feldolgozás során korrigálni kell.
6. Ellenőrizzük a GeoMax® Zenith35™ Pro mindkét akkumulátorának töltöttségét! Ha teljesen fel vannak töltve, helyezzük a GPS-be az egyiket.
7. Csatlakoztassuk a GPS-hez a VHF és az UMTS antennát!
8. Hajtsuk rá a GPS-t a rúd végén az $\frac{5}{8}$ "-es menetre. A menet túl hosszú, így GPS-t nem lehet annyira behajtani, hogy felüljön!
9. Csatlakoztassuk az USB & RS-232 (DB9)-es, fekete kábelt a GPS 7 pines (LEMO®) portjához!

10. Az USB & RS-232 kábel RS-232 végéhez csatlakoztassuk a szürke RS-232-es kábelt, amely a szonár összevont táp- és NMEA portjához kötődik. Az összevont táp- és NMEA kábel „papucsokkal” csatlakozik a szürke kábelhez. Nézzük meg, hogy ezen nem csúsztak-e szét. A két rövid szálon lévő csatlakozónak nem kell összekötni lenni.
11. Kapcsoljuk be a GPS-t!
12. A szonár kétvégű kábelét („Transducer 1” & „Transducer 2”) csatlakoztassuk a StructureScan® 3D feliratú hűtőbordás feketedobozhoz.
13. A StructureScan® 3D dobozán található, sárga „NET-1” feliratú csatlakozót kössük össze a szonár kezelőszervének hátulján található „Network” feliratú, szintén sárga csatlakozóval – a szürke, mindkét végén egyforma, sárga csatlakozós Ethernet kábellel.
14. A StructureScan® 3D tápkábelét kössük a fekete doboz „Power” feliratú csatlakozójához.
15. Kössük a sarukkal a StructureScan® 3D tápkábelét a fekete autóakkumulátorhoz. A „Power” feliratnál lévő LED-nek hamarosan zölden ki kell gyulladnia.
16. Rögzítsük a Precision-9 háromtengelyű elfordulásmérőt az előre felszerelt konzolra (jobb oldalon hátul a kormánynál). A Precision-9 tetején lévő, „I” jelnek a menetirányba kell mutatnia.
17. Csatlakoztassuk a Precision-9-hoz (alulról) a leghosszabb NMEA2k® kábelt.
18. A kábel másik végét kössük az NMEA2k® gerinchez.
19. A gerinchez csatlakoztassuk a vízsebességmérő kábelét is.
20. A legrövidebb NMEA2k® kábellel kössük az NMEA gerincet a szonár kezelőszervének hátulján lévő NMEA2k® feliratú csatlakozóhoz.
21. A gerinc utolsó szabad csatlakozójához kössük az NMEA2k® tápkábelt.
22. A kezelőszerv piros csatlakozójához kössük a GPS felől érkező, NMEA-val közösített tápkábelt.
23. Az egycsatornás (single-beam) szonár kék végű kábelét kössük a kezelőszerv kék csatlakozójához.
24. Kössük a kezelőszerv tápkábelét az NMEA2k® tápkábelével együtt a szürke akkumulátorhoz.

25. Kapcsoljuk be a szonárt a kezelőszerv „ Φ ” gombjával. A rendszer ezzel használatra kész. Az indítás sokkal ez után a „Transducer 1” & „Transducer 2” feliratú, zöld ledeknek is fel kell gyulladnia és a mérés folyamán, folyamatosan zölden kell világítaniuk.
26. A szonár kezelőpaneljén a Beállítások → Hálózat → Adatforrások (Settings → Network → Data sources) résznél ellenőrizzük, hogy a GPS bekezdésnél az NMEA van-e kipipálva. Ha nem, pipáljuk be. Ha NMEA sor egyáltalán nem látszik, akkor a GPS nincs csatlakoztatva, vagy a csatlakozások mentén érintkezési hiba van. Ha meggyőződünk róla, hogy nincs érintkezési hiba, de az NMEA sor mégsem látszik, akkor ellenőrizzük mind a szonáron, mind a GNSS készüléken a bitsebességet, amelynek mindkét eszközön 38 400 baud-ot kell mutatni.
27. A mérés megkezdése előtt ellenőrizzük, hogy legalább egy microSDHC™ kártya van a kezelőszerv jobb oldali SDHC™ paneljében és hogy a kártyán van legalább 1,5 GiB szabad tárhely.
28. A szonárrendszer 25. – 1. pont fordított végrehajtásával szétbontható.

A mérések során a mélységmérő single-beam szonárt 200 kHz-en, a single-beam szonárt 455 kHz-es *névleges* frekvencián, az interferometrikus rendszert szintén 455 kHz-es *névleges* frekvencián kell üzemeltetni (nem állítható). A GNSS-útvonal rögzítést minden indítás után idő-alapú, 0 másodperces gyakoriságra kell kapcsolni. A rögzített állomány felbontását (csomagméretét) 3 200 bájtban határoztuk meg. A szonár kezelőszervén tett beállítások fájlba menthetők és később visszatölthetők, vagy hibakeresés céljából elemezhetők.

Ha a szonárrendszert sikeresen összeszereltük, akkor mérés közben, a kezelőfelületen a sidescan adatokat (35. ábra, a képernyő jobb oldalán) és a csónak előrehaladását is látnunk kell (35. ábra, a képernyő bal oldalán).



35. ábra. A szonár kezelőfelülete mérés közben.

5.7 Térinformatikai feldolgozás

A térinformatikai feldolgozás adja meg az alapját a szonáradatok adatbáziselvű rendszerezésének, a meglévő geodéziai mérések közé történő integrálásának, a feldolgozott adatok kartovizualizációjának és hidrogeográfiai értelmezésének.

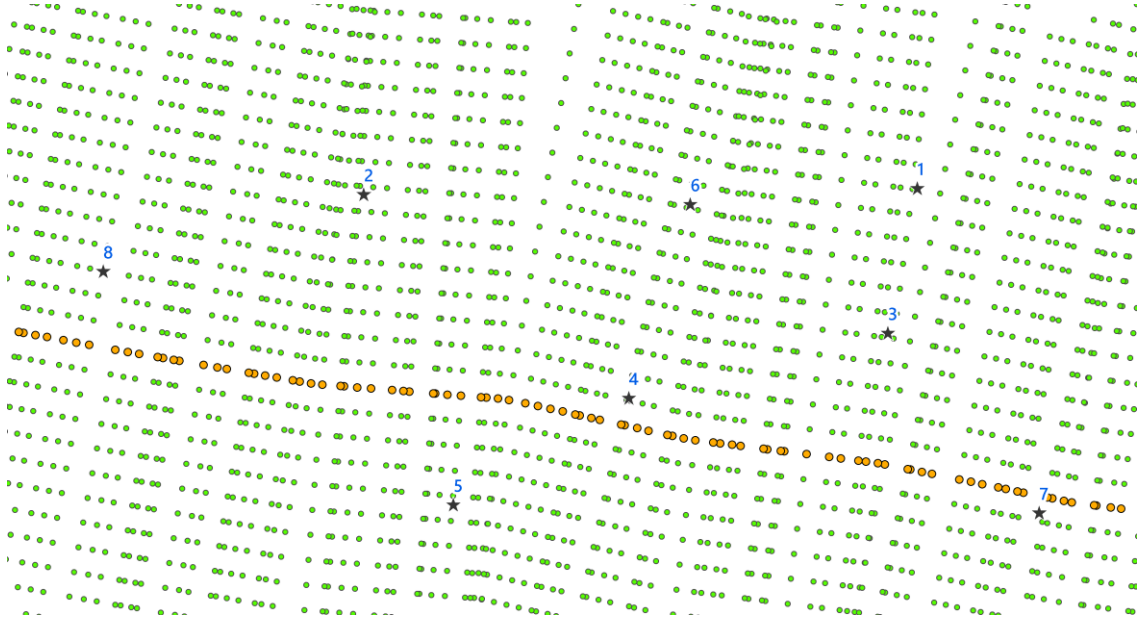
5.7.1 Domborzatmodellek interpolációja

Az interferometrikus mérésekből exportált állományok pontokat tartalmaznak, melyeket a hatékonyabb vizualizáció és könnyebb feldolgozhatóság érdekében raszteres magasságmodellekké kell alakítani. Az átalakítás során többhelyen interpolációra van szükség. Az interpolációs eljárások közül három megoldás alkalmazható hatékonyan:

1. IDW
2. ANUDEM
3. EBK Regression Prediction

Ezen eljárások numerikus összehasonlítására egy, a 36. ábrán bemutatott vizsgálati területet választottunk. Az ábrán szereplő zöld pontok a szonár által mért interferometrikus adatsorból az 5.3.8. fejezetben leírt, ESRI fájlgeoadatbázis-exporttal készültek. Minden pont tartalmazza a – síkkoordináták mellett – geometriai attribútumként az EOMA magasságot és a

becsült interferometrikus hibát (a 25. ábrán szemléltetett modell alapján). A pontok keresztirányú térköze 1' (0,3048 m). A felmérés során a csónak a narancssárga pontok mentén haladt nyugatról keletre.



36. ábra. Az IDW, az ANUDEM és az EBK Regression Prediction algoritmusok bemeneti adatsora. A nagy, narancssárga pontok a csónak (számított) útpontjait jelölik (24. ábra). A zöld, interferometrikus úton mért pontok keresztirányú térköze 1' (0,3048 m). Az interferometrikus pászták az 5.3.4. fejezetben leírtak szerint készültek és többnyire merőlegesek a haladási irányra. Az ábrán szereplő fekete '★'-ok a későbbi mintavételi helyeket jelölik (8. táblázat.). Méretarány: 1: 70.

1. IDW (Inverse Distance Weighted – Távolsággal fordítottan arányos [-súlyozású interpolációs eljárás]) az egyik legegyszerűbb térinformatikai interpolációs algoritmus. Az IDW egy kiszámítani kívánt cella értékét úgy határozza meg, hogy a cella középpontjának környezetében található ismert pontok értékének súlyozott átlagát veszi, úgy hogy a súlytényező a távolság reciproka, egy, a felhasználó által választott hatványra emelve. A keresett, \bar{x} érték így:

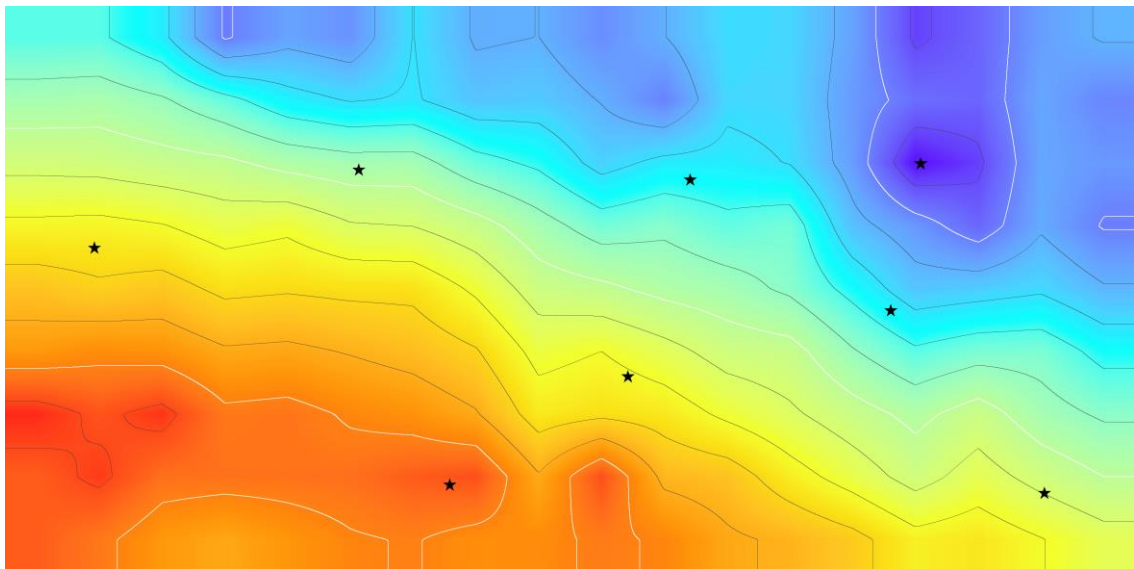
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{1}{d_i} \right)^p \cdot x_i \right]}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i} \right)^p} \quad \{29\}$$

ahol ' d_i ' az ' i '-edik pont távolsága; ' p ' egy a felhasználó által megválasztható hatványkitevő ($p \in \mathbb{R}$ és $p \geq 0$); ' x_i ' a ' d_i ' távolságra lévő pont értéke. A legtöbb implementációban a ' d ' távolság és/vagy a számításba bevont pontok ' n ' számossága korlátozható.

Az IDW előnye, hogy a bemeneti adatsor minimum- és maximum értékeit megőrzi, a számítása gyors, jól használható olyan környezetekben, ahol a vizsgált jelenség izotróp és sűrűn mintázott (ESRI Inc., 2017).

Hátránya, hogy nem képes a mért pontokra jellemző mérési hibát kezelni, amely viszont interferometrikus mérések esetében ismert (LURTON, 2000). További hátránya, hogy rosszul teljesít olyan környezetben, ahol a mért pontok hirtelen megritkulnak, például a partélek közelében.

Az IDW a 37. ábra szerinti képet adja a 36. ábra pontjai alapján:



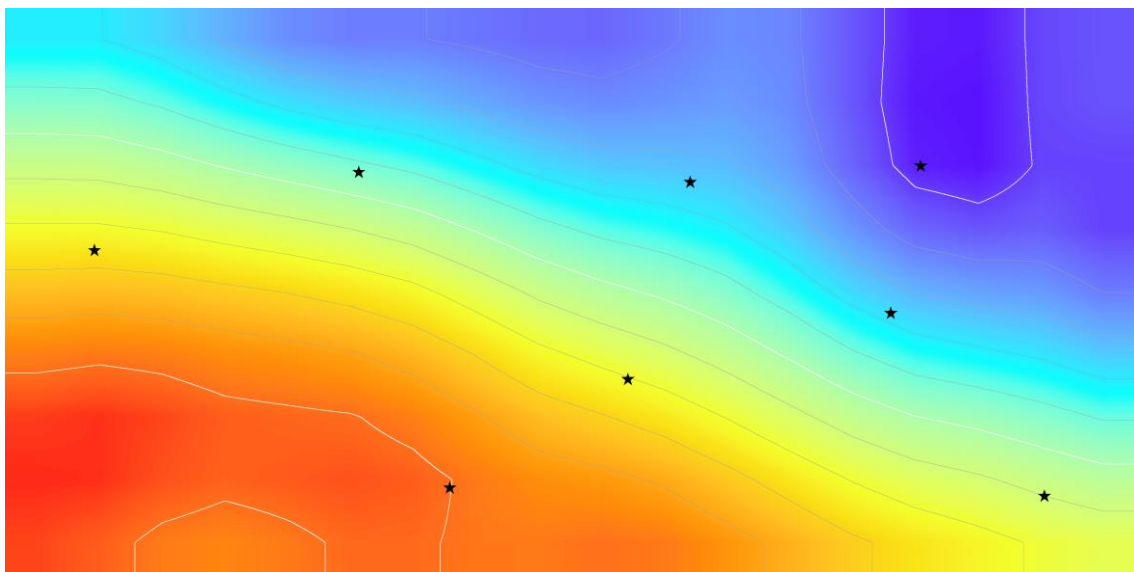
37. ábra. IDW algoritmussal interpolált terepmodell a 23. ábrával közel megegyező elhelyezkedésű vizsgálati területen. A szintvonalak 0,1 méterenként követik egymást. Interpolált minimumérték: 84,3152 mBf. Interpolált maximumérték: 85,6390 mBf. Szórás: 0,35839 m. Átlag: 85,0255 mBf. Az interpoláció az alábbi utasítással készült: `arcpy.dd.Idw(r"{Forrásfájl elérési útja}", 0.75, 2, "FIXED 3.75", None)`. Cellaméret: 0,75 m; fix keresési sugár 3,75 m; 'p' kitevő: 2. Az ábrán szereplő fekete '*'-ok mintavételi helyeket jelölnek (8. táblázat). Méretarány: 1: 70. A szintvonalak peremi „kifordulása” a raszter szélén fellépő adathiány következménye, nem interpolációs (mellék-) termék.

2. Második interpolációs eljárás-család az ANUDEM (AAustralian National University Digital Elevation Model – Ausztrál Nemzeti Egyetem digitális magasságmodell [algoritmus]). Az ANUDEM egy módosított spline algoritmus, melynek elsődleges célja, hogy hidrológiailag korrekt – minden esetben lefolyással rendelkező –, a valós domborzathoz hasonló, interpolált, szakadásmentes felszíneket hozzon létre, szintvonalak és/vagy mért pontok halmazából (ESRI Inc., 2017). Az eljárás azonban képes lefolyástalan területekkel rendelkező domborzatmodellek interpolációjára is, ha a bemeneti adatsor ezt indokolja (ESRI Inc., 2017). A dolgozatban szereplő összes fenékdomborzatmodell ezen lefolyást kikényszerítő beállítás használata nélkül készült, mert a mederfenék nem tekinthető

hidrológiailag korrektnek, mivel gyakran lefolyástalan mélyedések és elleneséses területek tagolják.

Az ANUDEM képes figyelembe venni a mérési hibát, azonban nem pontonként, hanem az egész adathalmazra vonatkoztatva. Műszaki hátránya, hogy nem támogatja a multipont elemosztályok geometriai attribútumait ('M' & 'Z' értékek), valamint nagy elemszám esetén igen számításigényes.

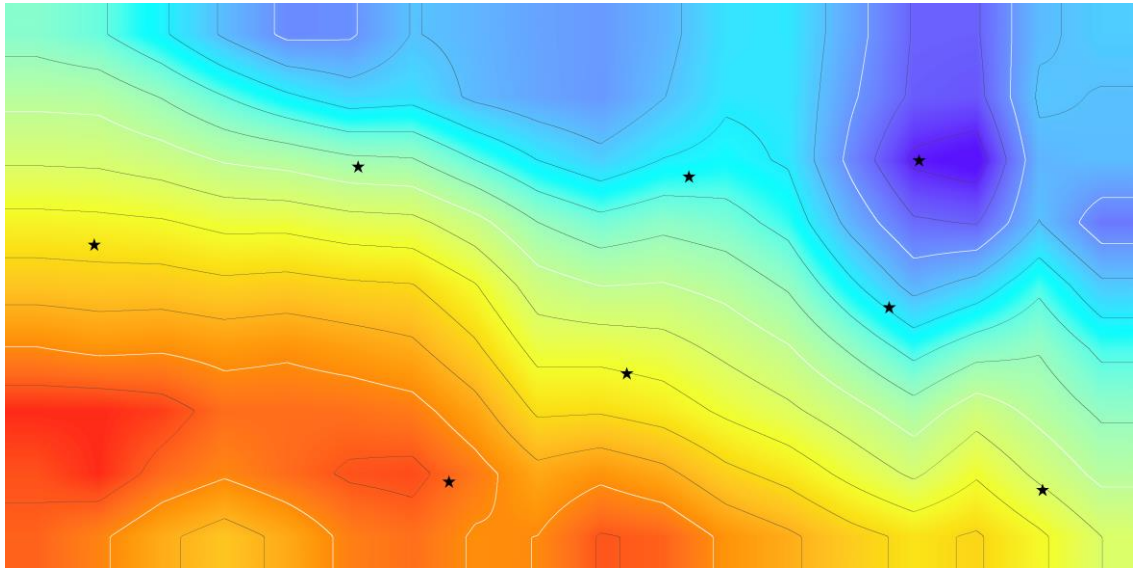
Az ANUDEM algoritmus több néven is ismert; az ArcGIS® rendszerekben „Topo to Raster” néven szerepel. Az ANUDEM a 38. ábra szerinti képet adja a 37. ábrával megegyező vizsgálati területen.



38. ábra. ANUDEM algoritmussal interpolált terepmodell a 37. ábrával megegyező vizsgálati területen. A szintvonalak 0,1 méterenként követik egymást. Interpolált minimumérték: 84,4480 mBf. Interpolált maximumérték: 85,5874 mBf. Szórás: 0,35403 m. Átlag: 85,0240 mBf. Az interpoláció az alábbi utasítással készült: `arcpy.ddd.TopoToRaster(r"{Forrásfájl elérési útja}", r"{Kimenet elérési útja}", 0,75, "{Kiterjedés}", 0, None, None, "NO_ENFORCE", "SPOT", 20, None, 1,8, 0,17, 0,17, 200, None, None, None, None, None, None, None, None). Cellaméret: 0,75 m. Diszkretizációs hibafaktor: 1,8 (enyhe simítás). Vertikális hibaszórás & Egyesszámú tolerancia-érték 0,17 m. Az összevethetőség végett a pixelek az IDW algoritmussal készült kép pixeljeihez igazítottak (snapped). Az ábrán szereplő fekete '*'-ok mintavételi helyeket jelölnek (8. táblázat). Méretarány: 1 : 70.`

3. Harmadik megoldás az Empirical Bayesian Kriging (EBK) Regression Prediction geo-processz használata. Az EBK egy olyan krigeléses interpolációs eljárás, amely a bemeneti adathalmazt feldarabolja kisebb részhalmazokra, majd az egyes alhalmazokra szemivariogramokat illeszt. Ezt a műveletet addig ismétli, amíg az alhalmazoknak és szemivariogramoknak olyan kombinációját nem találja, amely a legkisebb előrejelzési hibát adja. Az így kapott szemivariogramokkal krigelést hajt végre, amelyet EBK Regression Prediction esetében regresszióval kombinál. Az EBK előnye, hogy képes figyelembe venni az egyes

mért pontokon fellépő egyedi mérési hibát, így az interferometrikus mérések pillangó-hatása (GRALL & MARSZAL, 2015) nem hamisítja meg (annyira) a terepmodellek szegélyét. Hátránya, hogy a szimulációk miatt számításgényes. Az EBK a 39. ábra szerinti képet adja a 37. ábrával megegyező vizsgálati területen.



39. ábra. EBK algoritmussal interpolált terepmodell a 37. ábrával megegyező vizsgálati területen. A szintvonalak 0,1 méterenként követik egymást. Interpolált minimumérték: 84,2415 mBf. Interpolált maximumérték: 85,6684 mBf. Szórás: 0,381992 m. Átlag: 85,02640 mBf. Az interpoláció az alábbi utasítással készült: `arcpy.gp.EBKRegressionPrediction(r"{Forrásfájl elérési útja}", "POINT_Z", "{Konstans raszter}", "{Kimeneti réteg}", r"{Kimenet elérési útja}", None, "POINT_M", 95, None, "NONE", "K_BESSEL", 100, 1, 100, "NBRTYPE = StandardCircular RADIUS = 8.17756497554043 ANGLE = 0 NBR_MAX = 15 NBR_MIN = 10 SECTOR_TYPE = FOUR_SECTORS").` Cella-méret: 0,75 m. Az összevethetőség végett a pixelek az IDW algoritmussal készült kép pixeléhez igazítottak (snapped). Az ábrán szereplő fekete '*'-ok mintavételi helyeket jelölnek (8. táblázat). Méretarány: 1 : 70.

Ha összehasonlítjuk a kapott képeket, a formákat, a süllyedékeket és csúcsokat mindhárom algoritmus kivétel nélkül visszaadja. A bemeneti pontokhoz hú eredményt az IDW és az EBK Regression Prediction ad, miközben a leginkább „domborzatszerű”, lágy, lekerekített formákat az ANUDEM algoritmus készíti. A különbségek elenyészők és főleg formaiak, az interpolációs eljárások numerikus vizsgálata szerint a számszerű eltérések alacsonyak (8. táblázat).

8. táblázat. Az IDW, az ANUDEM és az EBK Regression Prediction interpolációs algoritmus által készített folytonos felületek 8 db, kvázi-véletlen ponttal mintázott magasságértékéi [mBf]. A kék számok az adott sorban a leg-
alacsonyabb, még a pirosak a legmagasabb értékeket jelölik.

Nº	IDW	ANUDEM	EBK
(36. ábra)	(37. ábra)	(38. ábra)	(39. ábra)
1	84,321	84,467	84,277
2	84,957	84,929	84,940
3	84,745	84,774	84,689
4	85,211	85,203	85,201
5	85,569	85,501	85,568
6	84,760	84,747	84,752
7	85,096	85,098	85,107
8	85,258	85,259	85,266

A Mura torkolatának környékén végzett kísérleteink alapján a *végző választás az ANUDEM algoritmusra esett*, mert folyó környezetének domborzati viszonyait leíró LIDAR állományokkal és a partél geodéziai felmérésével együtt képes hidrológiailag helyes domborzatmodellt létrehozni, amellyel a mederfenékdomborzatot szakadásmentesen integrálja a folyó felszíndomborzati környezetébe. Nem visz az eredményraszterbe elfogadhatatlan kilengéseket még olyan helyzetekben sem, amikor sűrűn és ritkán mintavételezett, esetleg adathiányos területek váltják egymást. A többi algoritmushoz képest nagy előnye, hogy a műtárgyak (terelő műtárgyak, töltések) szakadásvonalként is megadhatók, ezzel az ANUDEM az antropogén eredetű morfológiai formákat sokkal hűbben adja vissza.

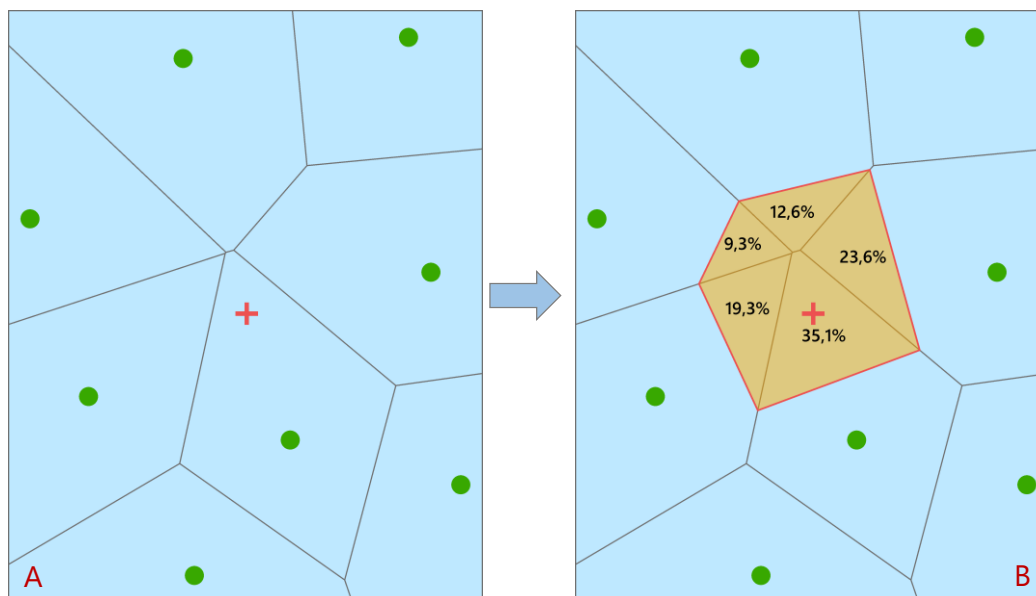
5.7.2 Szonogramok interpolációja

A térinformatikai feldolgozás másik nagy családja a szonogramok interpolációja. A probléma műszakilag megegyezik az előző fejezet interpolációs problémájával: ponthalmazokat kell raszterre alakítani. Az adat jellege viszont jelentősen eltérő, mivel a szonogramok nem tekinthetők folytonos adatsoroknak. Ez jelentősen lehatárolja az interpolációs eszközök tárházát: egyik lehetőség a legközelebbi szomszédság elvén működő „Nearest neighbor” (BUSCOMBE, 2017), vagy a műszakilag ehhez igen hasonló „Natural Neighbor” („Természetes” szomszédság) algoritmus (ESRI Inc., 2017). Mivel a térinformatikában a Nearest neighbor eljárást főleg raszter → raszter interpolációnál, újramintavételezési eljárásként használják, ezért végül a Natural Neighbor-t választottuk.

A „Natural Neighbor” *Voronoi*-diagram alapú, vektor → raszter interpolációs eljárás; melyben a számítás két lépésben történik:

1. Először az ismert pontok köré *Voronoi*- (*Thiessen*-) poligonokat vonunk; mellyel egy kiterjedt poligonhálózat keletkezik, melyet a memóriában tárolunk el (40. ábra. 'A' oldal)
2. Második lépésben az algoritmus meghatározza az interpolálandó cella geometriai középpontját, majd az így kapott pont szomszédjaival ismételt *Voronoi*-poligonokat gyárt, melyből leválasztja azt az egy poligont, amelynek középpontjában az interpolálandó cella középpontja van. Ezt az egy poligont összemetszi az első lépésben készített eredeti poligonhálózattal. Az interpolálandó érték meghatározásában azon ismert értékek fognak részt venni, amelyek *Voronoi*-poligonjait az új poligon átmetszi. Az átmetszett területek eltérőek lesznek. Ezeket az algoritmus feljegyzi és az átmetszett területek relatív arányával súlyozott átlagolást végez. Az így kapott súlyozott átlag a keresett interpolált érték (40. ábra. 'B' oldal).

Ezen működésével a Natural Neighbor elméleti okokból is ideális választás: a szonogramok vektoros pontként ábrázolt értékei valójában egy kiterjedt térrészről szolgáltatnak összegzett reflektancia értéket (4.3.6. fejezet).



40. ábra. A Natural Neighbor interpolációs eljárás működésének elvi alapjai. A zöld körök az ismert értékű pontok térbeli helyzetét jelölik. Az algoritmus első lépésben ezen ismert pontok köré Voronoi- (Thiessen-) poligonokat von (kékkel kitöltött síkidomok). Második lépésben az ismert pontok kiterjedésére rászterhálót illeszt, majd meghatározza az egyes cellák geometriai középpontját. Egy ilyen cellaközéppontot jelöl a hússzínű '+'. Ekkor az algoritmus leválogatja a meghatározni kívánt pont környezetében elhelyezkedő ismert pontokat, majd ismétlenül Voronoi poligonokat készít. A keletkezett poligonok közül leválasztja azt az egyet, amelynek a középpontjában a keresett pont található (narancssárga, félig átlátszó poligon a 'B' oldalon). Ezt a leválasztott poligont összemetszi az első lépésben legyártott poligonokkal, majd meghatározza, hogy a keresett pont köré vont poligon területének hányadrésze esik valamelyik alatta fekvő átmetszett poligonra ('B' oldal százaléka váltott értékei, melyek a kerekítések miatt nem érik el a 100%-ot). Az így kapott területarány-listát feljegyezi és az ismert pontok értékeivel, a hozzájuk tartozó területarányszámokkal súlyozott átlagolást végez a következő képlettel: $\bar{x} =$

$$\sum_{i=1}^n q_i x_i; \text{ ahol 'q}_i\text{' az 'i'. terület aránya, 'x}_i\text{' az 'i'. ismert érték.}$$

5.7.3 Adatintegráció

Ahhoz, hogy egy sikeres folyóvízi felmérést hajtsunk végre és hajózási útvonalat jelöljünk ki, úgy hogy a kapott állományok kétdimenziós hidrológiai modellek futtatására is alkalmassak legyenek, nem elegendő a fenékdomborzat ismerete; szükségünk van:

- Főmeder közép-, vagy sodorvonalára.
- Az elvi partélre.
- A környezet domborzatmodelljére.
- A környezet felszínborítottságára és vegetációs viszonyaira.
- A vízterelő műtárgyak, a folyót szegélyező egyéb műtárgyak és védművek geodéziai beméréseire.

- A felszíni vízrajzi állomások nullpontjaira.
- A környező utak koronaszintjére és a beépített területek ismeretére.
- Kartográfiai/navigációs célokra szükségesek lehetnek még a hajózási jelek, az úszó műtárgyak és a kikötők felméréseire is.

Ezek az adatsorok rendszerint különböző időben, eltérő felbontásban és más-más minőségben készültek, ezért integrálnunk kell őket.

A Dráva medrét és közvetlen környezetét lefedő domborzatmodell kialakítására két fő adatforrást használtunk fel:

1. Az interferometrikus mérésekből származó, fájlgeoadatbázisba mentett fenékdomborzat-állományokat (5.3.8. fejezet).
2. A Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság egy korábbi, 2013-as LiDAR felvételét és ennek manuális módszerekkel készült derivátumait (partélek és szigetek).

Mindkét adatsor vetületi rendszere Egységes Országos Vetület (EOV; EPSG: 23700), függőleges vonatkoztatási rendszere Egységes Országos Magassági Alaphálózat (EOMA; EPSG: 5787).

A domborzatmodell interpolációjához először a partéleket készítettük el: a LiDAR-ból generált terepmodellt és a LiDAR-ral egyidőben készült ortofotót egyszerre vizsgálva az egész vizsgálati területen végig digitalizáltuk a főmeder élét és 147 db szigetet. Az így készült vonallancok jelentették a partélet, amelynek töréspontjaihoz az alatta fekvő LiDAR-ból származtatott felszínmodell magassági értékeit rendeltük. A vonallancokat a LiDAR osztályozási hibáinak kiszűrésére vizuálisan is ellenőriztük.

A főmedret jelentő poligonnak és a szigetek poligonjainak a szimmetrikus különbségét képeztük: az így kapott belsőgyűrűs sokszöget vízjárta területnek tekintettük és a domborzatmodell interpolációja során az ebbe a poligonba eső területek elsődleges adatforrása a szonármérésekből származott.

Azok a térrészek, amelyek ezen vízjárta területen kívül estek – akár a „szárazföldre”, akár a szigetekre – elsődlegesen az osztályozott LiDAR állományból lettek interpolálva.

A domborzatmodell interpolációjára az ANUDEM eljárást választottuk (5.7.1. fejezet). Az ANUDEM (ArcGIS® Pro 2.2.1-ban „Topo To Raster”) azonban számos korlátozást tartalmaz: nem támogatja a geometria 'Z' értékének kiolvasását, valamint a multipont típusú elemosztályokat, ezért az SL3 fájllokból exportált magassági értékeket át kellett alakítanunk úgy, hogy egyelemű, kétdimenziós koordinátákat tartalmazó, 'Z' attribútummal ellátott pontok legyenek. Az átalakított elemosztályok már csak nagyon nehezen szűrhetők ezért a konverzió előtt a mélységadatsorok multipont alapú keresztmetszelveit manuálisan is átvizsgáltuk és

azokat a pásztákat, amelyek rendellenesen elfordultak eltávolítottuk. Ilyen „elfordulások” nagy számban jelentek meg a mérések kezdetén és végén (a csónak nem állt irányban, sodródott, a GNSS nem állt készen, éppen ráfordultak a pásztára). Ritkán hibás irányú láncolatok előfordultak a mérések belső szakaszain is: ezek az elforgások rendszerint a GNSS RTK+ jelveszteségére voltak visszavezethetők. Ezen hibák ellen algoritmikus úton védekeztünk (5.3.4. fejezet), de ha a hiba nem érte el az ott definiált küszöbértéket (a GNSS helymeghatározási hiba nem volt nagy), akkor a visszamaradó kis amplitúdójú, de gyors lefolyású koordináta fluktuációk rendszerint egy, vagy két pásztát kilendíthetnek normál irányukból, amelyen a kurzus alapú irányszögszámítás sem segít.

További problémát jelentett a Dráva természetes mederfejlődése is: mivel a LiDAR és az az alapján származtatott elvi partél, valamint a mélységmérés nem egy eszmei időpontban készült, ezért ritkán előfordult, hogy a batimetrikus pászta belemetszett a partélbe. Ha a mélységmérési szelvény szemmel láthatóan nem volt hibás, akkor a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatósággal konzultálva elmozgattuk a partélet; ellenkező esetben levágtuk a kóbor pontokat.

A mélységmérési pászták előkészítése után a partélek töréspontjait lineáris interpolációval, 0,75 méteres lépésközűre sűrítettük, majd pont típusú elemosztállyá alapítottuk. Abban az esetben, ha a vizsgálati területen volt vízterelő műtárgy, vagy más ismert geometriájú objektum a mederben, akkor azt a Topo To Raster „Cliff” bemeneti, vonalas elemosztály-típusának megfelelően digitalizáltuk; az így kapott vonal töréspontjait sűrítettük, majd – szintén – pont típusú elemosztállyá konvertáltuk. A teljes domborzatmodell interpolációja előtt ezen adatokat betápláltuk a Topo To Raster függvénybe és a kapott modellt átvizsgáltuk. Ezen futtatások alkalmával a Topo To Raster interpolációs zónájának lehatárolására a partélekből származtatott, szigetekkel lyukasztott poligont használtuk; a batimetriát az egyelemű ponttá konvertált szonárpászták, a partél magasságát a 0,75 méteresre sűrített partél-pontok jelentették, amelyeket szükség esetén „Cliff”-ekkel és az ezek töréspontjai-ként értelmezhető pont elemosztállyal egészítettünk ki. Az így kapott raszteres állományok a durva batimetriai hibák feltárására szolgáltak. A Topo To Raster beállításánál az 5.7.1. fejezet 38. ábrája alatt leírtak szerint jártunk el. A domborzat modell kimeneti felbontásának 1×1 méteres rácshálót választottunk, amelyet mind a kísérleti-, mind a végső fázisban az ESRI Magyarország Kft. (jelenleg GDi Magyarország Kft.) által készített, és a vízügyi ágazatban széleskörűen használt HydroDEM rácsháléhoz igazítottunk.

A végső interpolációs fázisban már LiDAR osztályozott pontjait is felhasználtuk. Első körben leválogattuk azokat a pontokat, amelyek a szigetekre, vagy a főmedertől kifelé szá-

mített 35 méteres pufferzónába a „Ground”, vagy „Model Key” osztályba estek. Ezzel nem kerültek be a számításba sem a ritkán vízfelszínként osztályozott, sem a partélek fölé vegetációként belógó pontok, mint ahogy a hibás pozíciójú pontok sem.

A kapott LiDAR állományban kis számban, de előfordultak durva hibás pontok is (tengerszint alatti, vagy a vizsgálati terület átlagmagasságát sokszáz méterrel meghaladó 'Z' koordinátájú pontok) melyeket szintén eltávolítottunk.

Az ANUDEM korlátai miatt, ha a batimetriával teljesen összesimuló eredményt szeretnénk létrehozni, akkor a LiDAR pontokat is 'Z' attribútumú, egyelemű kétdimenziós koordinátájú pontokká kell alakítani – ami viszont igen magas pontszámot eredményez. A nagy pontszám miatt kockáztatjuk, hogy az ANUDEM vagy nem tud lefutni, vagy irreálisan sokáig tart a számítás a kimeneti, 1×1 méteres domborzatmodell lényegi javulása nélkül, ezért a pontokat „Mersene Twister” (Subset Features az ArcGIS® Pro 2.2.1-ban) algoritmussal szitáltuk. A Subset Features segítségével csökkenthető a bemeneti állomány elemszáma, úgy hogy a kimenetbe a bemeneti pontoknak a felhasználó által definiált százaléka kerül – véletlenszerű kiválasztás alapján (ESRI Inc., 2018). A LiDAR állományok szűrésére 50%-ot választottunk. Végül az így előkészített adatsorok megadásával lefuttattuk a Topo To Raster függvényt, úgy hogy határolópoligonok a LiDAR-vágó, 35 méteres, belső lyukgyűrűitől (szigetek, főmeder) megszabadított pufferzónát használtuk.

Az eredményeket a gyors megjelenítés érdekében CRF (Cloud Raster Format – Felhő alapú tárolásra alkalmas raszterformátum) formátumban, veszteségmentes üzemmódú LERC (Limited Error Compression – Korlátozható hibájú tömörítési eljárás) tömörítéssel mentettük. Abban az esetben, hogyha a batimetria végső felhasználása nem egy hidrológiai modell-előkészítés, és/vagy kartográfiai prezentáció lett volna, akkor lehetőségünk lenne a bemeneti adatsort szitálás és a többi átalakítás nélkül, eredeti LiDAR (LAS), vagy multipont formájában felhasználni az ArcGIS® Terrain (szabályelvű, piramidális, vektoros domborzatmodell) adatmodell segítségével.

5.8 A Dráva hajózási térképe

A mérési kampány eredményeinek bemutatására térképsorozatot terveztünk. A térképsorozat méretaránya 1 : 10 000, térképlapjai fekvő, ISO A3 (420 × 297 mm) méretűek. Szelvényezése manuális, a könnyebb használhatóság végett átfedő. Az átfedés mértékét úgy határoztuk meg, hogy lehetőleg ne kerüljön két lapra egyazon hidrológiai folyamat formakincse. A szelvények címezése a folyó elvi középvonalára stacionált folyamkilométer értékek alapján történt, úgy hogy a folyásiránnyal szembeni szomszédos szelvény átfedő részének közepétől a folyásirány szerinti szomszédos szelvény átfedő részének közepéig tart. Így a térképéi

tükörben a feltüntetett folyamkilométer értékeknél minden esetben hosszabb folyószakasz látható, cserében a címzés átfedésmentes, például: 122 – 118 fkm; 118 – 116 fkm.

A térkép vetületi rendszere EOVI. Az EOVI koordináták közönséges GNSS eszközökkel csak nehezen kezelhetők, ezért minden tükör WGS84 fok, perc, másodperc osztású felülnyomott hálózatot kapott – amely akár egy mobil GPS-ével is kezelhető.

A térkép elsődleges tematikája *hajózási kisvízszintre normált helyi vízmélység*. Ennek értékét kétdimenziós hidrológiai modellezéssel Dr. LIPTAY Zoltán Árpád határozta meg a mérési kampányból kapott EOMA fenékmagasság értékek alapján. A mélységábrázolás színfokozatos, kéktől vörösig tartó spektrum, ahol a kék jelöli a mély-, a vörös pedig a veszélyesen sekély vizeket. A fenékdomborzat mikroformáinak kiemelésére a színfokozatos skálát úgy illesztettük az adatsorra, hogy a kék a mélységadatsor átlagától számított két szórásnyira balra kezdődjön; míg a vörös az átlagtól két szórásnyira jobbra végződjön.

A színfokozat ilyen kis átfogású skálákon azonban nem ad kellően intenzív térélményt, a fenékdomborzat milyensége a színfokozat alapján nem áll össze egy átlagos térképolvasó számára, ezért a színezést domborzatárnyékolással egészítettük ki.

Sem a hagyományos, analitikus, 315/45°-os Lambert-féle koszinusz törvényen alapuló domborzatárnyékolás (VERONESI & HURNI, 2014), sem a 335/45°-os domborzatárnyékolás nem hozott megfelelő eredményt, mert a Dráva nyugat→keleti folyásiránya miatt az északi- (magyar-) oldal „elfeketedett” még a déli oldal kifakult és a morfológiai formák csak a köztes részekben voltak értékelhetők. Ezt a problémát úgy küszöböltük ki, hogy háromszorosan túlmagasított többirányú domborzatárnyékolást használtunk (Multidirectional Hillshade [ESRI, 2017]).

A domborzatárnyékolások rendszerint szürkítik, fakóvá, élettelené teszik az alatta lévő színfokozat színeit. Ezt a hatást azzal kerültük el, hogy a domborzatárnyékolás 0–255-ös rászteréhez folytonos, fekete→fehér színskálát rendeltünk úgy hogy a fekete végpont ötszázalékban, a fehér végpont pedig százszázalékban átlátszó. Azért, hogy a színfokozat spektrumszínei ragyogóbbak legyenek a domborzatárnyékolási réteg kontrasztját 25%-ra növeltük a gammát pedig 0,3-re redukáltuk.

A szintvonalakat (mélységvonalakat) a –0,5 métertől kétméterenként vettük fel. Ez igen szokatlan, de így a színskála használata nélkül is elkülöníthetők azok a részek, ahol a víz már veszélyesen alacsony.

A térképre rákerült a hajózási útvonal, amelyet a stacionált folyamkilométerek szakítanak meg.

A térkép háttérképeként szolgáló ortofotót Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság bocsájtotta rendelkezésünkre. A felvételeket az EuroSense Kft. készítette 2013-ban. Az ortofotók zöld

részeinek nyomtatáskor megjelenő „sárgulásának” enyhítésére a vörös sáv gammáját 0,9-re csökkentettük.

Minden térképlapon a folyó be- és kilépési pontja közelében keresztmetszvényeket helyeztünk el, melyek a tükörrel szemben lévő oldalon egy side-scan és egy DownScan™ csíkkal egészülnek ki.

Terjedelmi korlátok miatt, a következő oldalakon a térképsorozat három, jellemző hidrológiai szituációt ábrázoló A3-as lappárját mutatjuk be.

■

6 Eredmények összefoglalása

A dolgozat kivitelezése három részre bontott:

1. Elméleti megalapozás (2017)
2. Tervezési feladatok (2017)
3. Szoftverfejlesztés, térképészeti előkészítés és a mérés kivitelezése (2017–2018).

Az eredményeket a célkitűzésekben megfogalmazott pontok sorrendjében foglaljuk össze:

1. A batimetriai felmérésre alkalmas, interferometrikus működési elvű, kisköltségű szonárrendszert a rendelkezésre álló alternatívák közül, terepi és laboratóriumi tesztek 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 (HALMAI & VALKAY, 2018a).
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 hidrokeográfiai térképso-rozatát. Új vizualizációs eljárásnént 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.

■

7 Kutatás további irányai

A kutatás továbbfejlesztéseként jelenleg tervezünk egy olyan komplex mérési megoldást, amely ötvözi a dolgozatban bemutatott, szonárelvű mélységmérési technológiát egy *in situ*, kémiai- és fizikai vízparaméter-meghatározással, különös tekintettel a lebegtetett hordalék mennyiségének és szemcseméret szerinti megoszlásának nagypontosságú mérésére.

Továbbá vizsgáljuk, hogy az általunk létrehozott rendszerrel kompatibilis, magnetron nélküli, alacsony költségvetésű, hajózási radarokkal hogyan térképezhetők a vízfelszín feletti természetes- és mesterséges tereptárgyak, melyek közül – hajózási szempontból – a partvonal meghatározása elsődleges. Egy ilyen eljárással kiváltható lenne a nagy térbeli bizonytalanságot hordozó, manuális beavatkozást igénylő, légi távérzékelésen alapuló partélmeghatározás, vagy a precíz, de munka- és időigényes geodéziai partfelmérés is.

Tervezzük olyan turisztikai igényeket is kiszolgáló fotogrammetriai eljárás rendszerbe illesztését, amelyek segítségével a természetvédelmi oltalom alatt álló, kevesek számára megközelíthető folyószakaszok virtuálisan bejárhatók.

Jelenleg zajlik a programkód átírása C#TM nyelvre; valamint fejlesztünk egy grafikus felhasználói felületet is.

A „melléktermékként” kapott oldalpásztázó szonárfelvételek alkalmasak a hajózást potenciálisan veszélyeztető objektumok térképezésére. Ezen kutatásunk kezdeti stádiumának eredményeit HALMAI et al. (2018b) cikkünk foglalja össze.

2018 decemberében a Lowrance® bejelentett egy új kezelőeszközt *HDS Live* néven, melyhez új transducert is fejlesztettek. Ez a transducer egy eszközben integrálja az egycsatornás-, valamint az oldalpásztázó interferometrikus szonárfejet, így dolgozatban bemutatott rudazat felépítése jelentősen egyszerűsíthető: az integrált szonárfej középre helyezésével az ütközők és az áramlásjavító lap elhagyható, miközben a kábelszám négyről egyre csökken. Ezzel egy sokkal könnyebb, kisebb vízellenállású merülő blokk készíthető. Az eszközök számának csökkenésével a szonár ára is csökkent: a dolgozatban bemutatott rendszer árának csak kb. felét teszi ki, *így tovább javult a rekreációs célú szonárok ár-érték aránya* – miközben a kimeneti SL3 formátum felépítése nem változott.

■

8 Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani Dr. KONRÁD Gyulának, témavezetőmnek, akinek tudományos szemléletmódom, a természettudományos kutatásokhoz való hozzáállásom java részét köszönhetem. Köszönöm a földtudományok terén átadott kapcsolati tőkét, köszönöm a számtalan anyagi és emberi segítséget, köszönöm életem első tudományos publikációját.

Köszönetet mondok Dr. PIRKHOFER Ervinnek, társtémavezetőmnek, akinek gyakorlati, műszaki, elméleti, és nem utolsósorban anyagi támogatása nélkül ez a dolgozat sem valósulhatott volna meg. Köszönöm – mindenek előtt – praktikus életszemléletét, mérhetetlen nagyvonalúságát.

Köszönöm NÉMETH J. Andrásnak, aki az évek során térinformatikai tudásának egy jelentős részét átadta, köszönöm geodéziai, vízügyi, hajózási, programozáselméleti és -gyakorlati tanácsait; köszönöm problémakezelési, fejlett emberismereti meglátásait, azt a szemléletét, hogy minden műszaki- és *nem műszaki* probléma megoldható. Köszönöm azt a kapcsolati tőkét, amelyik egy rövid-, vagy esetleg hosszú életemen át segíteni fog. Köszönöm, hogy segítségével olyan helyekre juthattam el, ahonnan – ebben a szakmában – messzebbre menni már nem igazán lehet.

Köszönöm Dr. CZIGÁNY Szabolcsnak, aki még egy multi-beam szonár alatt is átúszott önfeláldozóan a kutatás sikeréért. Angoltudásával és monotonitást tűrő munkamoráljával több problémát segített megoldani.

Köszönöm Dr. LÓCZY Dénesnek, aki könnyed eleganciájával a hidrológiai fejezet megírásában segített.

Köszönöm GYÖRGY Zsoltnak, – Aki közvetve ennek a dolgozatnak az ötletét adta –, hogy a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság részéről támogatta a kutatásaimat. Köszönet a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság dolgozóinak, akik a mérés során használt szonárrendszert és GNSS-t, egy mérőcsónakot, teljes mérőszemélyzetet (VRÁNICs Tibor; BALÁZS György; MIHÁLYEVICS Tamás), több mint ezer kilométernyi felmérési útra elegendő üzemanyagot és akkumulátorokat bocsájtott a rendelkezésünkre a „DRAWA – HUHR/1601/2.1.3./0010” program keretében.

Köszönetet mondok Dr. POZSGAI Emíliának, hogy a Ph.D. képzés alatt, több szomorúságon is segített átjutni.

Köszönöm VALKAY Alexandra Ilonának, szakdolgozómnak, hogy kétségbeesésre nem kimondottan alkalmas jókedvével segített a felmérésben és a szonárrendszer összeszerelésében. Kérdései többször arra ösztönöztek, hogy az elméleti alapokat alaposabban olvassam át.

Köszönöm KISS Kingának, hogy a Ph.D. képzés alatt *hihettem*, hogy gondolkodásmódommal, vagy legalább is annak egy részével nem vagyok teljesen egyedül.

Köszönöm GERDESICS Zsuzsanna Mártának.

Köszönöm Dr. DÖVÉNYI Zoltánnak, a Doktoriskola korábbi vezetőjének, hogy lehetővé tette, hogy a képzésben részt vegyek – és bízott bennem, hogy *egyszer* befezem.

Finally, I'd like to say "*Thank you!*" to Jack DANGERMOND, president of ESRI, who made me believe on a sunny California afternoon in 2017 that "*I can do it*".

■

9 Irodalomjegyzék

- ADRAGNA, Frédéric; DUCROT, Danielle; GARELLO, René; LE HÉGARAT-MASCLE, Sylvie; LOPÈS, Armand; MAÎTRE, Henri, 2008: *Processing of Synthetic Aperture Radar Images*. ISTE Ltd. & John Wiley & Sons, London UK – Hoboken NJ, U.S.A., p. 411, ISBN 978-1-84821-024-0.
- ANIMA, Roberto; WONG, Florence L.; HOGG, David; GALANIS, Pete, 2007: *Side-scan Sonar Imaging of the Colorado River, Grand Canyon*. United States Geological Survey, Reston, VA, U.S.A., p. 15, <https://pubs.usgs.gov/of/2007/1216/of2007-1216.pdf> [2018.09.06.].
- BAGRICH, Ivan, 2016: *SonarLogAPI*. GitHub Inc., San Francisco, CA, U.S.A. <https://github.com/risty/SonarLogApi> [2018.09.06.].
- BLONDEL, Philippe, 2009: *The Handbook of Sidescan Sonar*. Springer Science & Business Media / Praxis Publishing Ltd., Chichester, UK, p. 316, ISBN 3540498869, 9783540498865.
- BREKHOVSKIKH, L. M., LYSANOV, Yu. P., 2003: *Fundamentals of Ocean Acoustics*. III. kiadás, Springer-Verlag Inc., New York, NY, U.S.A., p. 279, ISBN 978-0-387-95467-7.
- BUSCOMBE, Daniel., 2017: *Shallow water benthic imaging and substrate characterization using recreational-grade sidescan-sonar*. Environmental Modelling & Software, Március, Volume 89 (2017), pp. 1–18., DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.12.003.
- BUSCOMBE, Daniel; GRAMS, Paul E.; SMITH, Sean M. C., 2016: *Automated Riverbed Sediment Classification Using Low-Cost Sidescan Sonar*. Journal of Hydraulic Engineering, Február, 142(2), pp. 1–7. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001079, <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29HY.1943-7900.0001079> [2018.09.06.].
- CALEB, Gostnell., 2005: *Efficacy of an interferometric sonar for hydrographic surveying: Do interferometers warrant an in depth examination?* NOAA's National Ocean Service, Office of Coast Survey, Hydrographic Surveys Division, Silver Spring, MD, U.S.A., p 35. http://ushydro.thsoa.org/hy05/08_4.pdf [2018.09.06.].
- CHESAPEAKE TECHNOLOGY, Inc., 2016: *SonarWiz Quarterly Highlights – 2016 Q2 – Revision 1.0, 7/22/2016*. Chesapeake Technology, Inc.. Mountain View, CA, U.S.A., p 16.,

https://2ughld46m1gt1arvat2ix2d8-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/01/2016_Q2_Highlights.Rev1_.pdf [2018.09.06.].

CHULLIAT, Arnaud; MACMILLAN, Susan; ALKEN, Patrick; BEGGAN, Ciaran; NAIR, Manoj; HAMILTON, Brian; WOODS, Adam; RIDLEY, Victoria; MAUS, Stefan; THOMSON, Alan, 2015: *The US/UK World Magnetic Model for 2015–2020*. BGS & NOAA, Boulder, CO, U.S.A., p. 112, DOI: 10.7289/V5TB14V7, http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/510709/1/WMM2015_Report.pdf [2018.09.06.].

COLEMAN, Aaron Richard, 2013: *Sonar Assembly for Reduced Interference*. Szabadalomszám: US 2013/0208568 A1. p 36, <https://patentimages.storage.googleapis.com/0a/18/3c/2f7ae7c83c4c4f/US20130208568A1.pdf> [2018.09.06.].

CONSERVATION BIOLOGY INSTITUTE, 2010: *30 arc-second DEM of Europe*. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=e01c7a4f13e9455d880427c1daa19110> [2019.01.11].

DÉL-DUNÁNTÚLI VÍZÜGYI IGAZGATÓSÁG, 2014. *Dráva folyó nagyvízi mederkezelési terv*. Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Pécs, Magyarország, p 518, <http://vpf.vizugy.hu/reg/ddvizig/doc/05NMT01.pdf> [2018.09.06.].

DÖVÉNYI Zoltán (szerk.), 2010: *Magyarország kistájainak katasztere*. II. kiadás, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, p. 876, ISBN 9789639545298.

DRAVSKE ELEKTRANE MARIBOR, 2018: *Power Plants & Generation*. Dravske Elektrarne Maribor d.o.o., Maribor, Slovenia, <http://www.dem.si/en-gb/Power-plants-and-generation/Power-plants> [2018.09.06.].

EDGETECH, 2016: *6205 Swath Bathymetry & Side Scan Sonar*. EdgeTech, West Wareham, MA, U.S.A., p. 2, <https://www.edgetech.com/wp-content/uploads/2015/10/6205-brochure-032316.pdf> [2018.09.06.].

EDGETECH, 2017: *6205 Bathymetry & Side Scan System – User Hardware Manual*. 0014877_REV_E, EdgeTech, West Wareham, MA, U.S.A., p 99, https://www.edgetech.com/wp-content/uploads/2015/07/0014877_REV_E.pdf [2018.09.06.].

EROSTYÁK János (szerk.); LITZ József (szerk.); BÉRCES György; EROSTYÁK János; KLEBNICZKI József; LITZ József; PINTÉR Ferenc; RAICS Péter; SKRAPITS Lajos; SÜKÖSD Csaba; TASNÁDI Péter, 2003: *A fizika alapjai*. Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, Magyarország, p. 736, ISBN 963-19-3275-3.

- ESRI Inc., 2018: *ArcGIS Pro tool reference*. Environmental System Research Institute, Redlands, CA, U.S.A., <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm> [2018.09.06.].
- ESRI Inc., 2019: *World Imagery*. Environmental System Research Institute, Redlands, CA, U.S.A., <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9> [2019.01.11.].
- FARR, Harold K.; FRELICH, Paul D.; CURTIS, Richard P., 1967: *Contour map generator*. Szabadalomszám: US3296579A, p. 9, <https://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/500d3a89fdf98e948b8b/US3296579.pdf> [2018.09.06.].
- FERRETTI, Alessandro, 2014: *Satellite InSAR Data: Reservoir Monitoring from Space*. EAGE Publications bv, Houten, The Netherlands, p 178, ISBN 978-90-73834-71-2.
- FRANKE, Richard, 1982: *Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines*. Computer and Mathematics with Applications, Vol. 8 №4., pp. 273–281. https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/40153/Franke_Smooth_Interpolation.pdf?sequence=1&isAllowed=y [2018.09.06.].
- GRALL, Piotr; MARSZAL, Jacek, 2015: *Investigation into interferometric sonar system accuracy*. Hydroacoustics, Volume 18, pp. 69–76. <http://pta.eti.pg.gda.pl/journal/papers/hydroacoustics-vol18-pp69.pdf> [2018.09.06.].
- GREENE, Austin; RAHMAN, Abdullah Faiz; KLINE, Richard; RAHMAN, Md Saydur, 2018: *Side scan sonar: A cost-efficient alternative method for measuring seagrass cover in shallow environments*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 207, pp. 250-258. DOI: 10.1016/j.ecss.2018.04.017.
- GRZĄDZIEL, Artur; FELSKI, Andrzej; WAŻ, Mariusz, 2015: *Experience with the use of a rigidly-mounted side-scan sonar in a harbour basin bottom investigation*. Ocean Engineering, Volume 109, 15 November 2015, pp. 439–443, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.09.026, https://www.researchgate.net/profile/Artur_Grzadziel/publication/282671656_Experience_with_the_use_of_a_rigidly-mounted_side-scan_sonar_in_a_harbour_basin_bottom_investigation/links/59e0e694a6fdcc7154cf6913/Experience-with-the-use-of-a-rigidly-mounted-side-scan-sonar-in-a-harbour-basin-bottom-investigation.pdf?origin=publication_detail [2018.12.21.].

- HAAS Mihály, 1845: *Baranya földirati, statistikai és történeti tekintetben*. Lyceum' könyvnyomó-intézete, Pécs, Magyarország, p. 374, Reprint kiadás: Baranya Megyei Könyvtár, Pécs, Magyarország, 1985. ISBN 963-01-6430-2.
- HAGEMANN, Julius, 1980: *Facsimile Recording of Sonic Values of the Ocean Bottom*. Szabadalomszám: US4197591. p. 7, <https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US4197591.pdf> [2018.09.06.].
- HALMAI Ákos, VALKAY Alexandra Ilona, 2018a: *Új megközelítés a sekély vízfolyások mederfelmérésében – Előadás*. GDí ESRI Magyarország Kft. Felhasználói Konferencia, Budapest, Magyarország.
- HALMAI Ákos, BALATONYI László, VALKAY Alexandra Ilona, CZIGÁNY Szabolcs, LIPTAY Zoltán Árpád, PIRKHOFFER Ervin, 2018b: Új megközelítésű mederfelmérési technikák alkalmazása kisvízfolyásokon. *Védelem Tudomány* III. évf., 4. szám (ISSN 2498-6194, 2018.12.20.) pp 1–23, <http://www.vedelemtudomany.hu/articles/09-halmi-etal.pdf> [2018.12.21.].
- HAMILL, Daniel; BUSCOMBE, Daniel; WHEATON, Joseph M., 2018: Alluvial substrate mapping by automated texture segmentation of recreational-grade side scan sonar imagery. *PLoS ONE* 13(3): e0194373, DOI: 10.1371/journal.pone. 0194373, pp. 1–28.
- HANSEN, Roy Edgar, 2012: *Introduction to sonar*. University of Oslo, Oslo, Norway, p 11, http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF-GEO4310/h12/undervisningsmateriale/sonar_introduction_2012_compressed.pdf [2018.09.06.].
- HOOK, John David, 2011: *Sturgeon Habitat Quantified by Side-scan Sonar Imagery*. University of Georgia, Athens, GA, U.S.A., p. 77, https://getd.libs.uga.edu/pdfs/hook_john_d_201105_ms.pdf [2018.09.06.].
- HUMMINBIRD, 2005: *Installation and Operations Manual 981c SI, 987c SI Combo*. Johnson Outdoors Inc., Eufaula, AL, U.S.A. p. 95, https://humminbird.com.au/wp-content/themes/humminbird/media/support/900series/981-987_Manual.pdf [2018.09.06.].
- IMHOF, Eduard, 2007: *Cartographic Relief Presentation*. ESRI Press Inc, Redlands, CA, U.S.A. p. 476, ISBN978-1-58948-026-1, Reprint kiadás.
- KAESER, Adam J.; LITTS, Thomas; T., WESLEY Tracy, 2012: *Using Low-Cost Side-Scan Sonar For Benthic Mapping Throughout The Lower Flint River, Georgia, USA*. River Research

- and Applications, 29(5), pp. 634–644. DOI: 10.1002/rra.2556
[https://www.fws.gov/panamacity/resources/Kaeser%20et%20al.%202012%20Ri-
 ver%20Research%20and%20Applications.pdf](https://www.fws.gov/panamacity/resources/Kaeser%20et%20al.%202012%20Ri-

 ver%20Research%20and%20Applications.pdf) [2018.09.07.].
- KAESER, Adam J. & LITTS, Thomas L., 2013: *An Illustrated Guide to Low-cost, Side Scan Sonar Habitat Mapping*. U.S. Fish and Wildlife Service, Panama City, FL, U.S.A., p. 314,
<https://www.fws.gov/panamacity/resources/An%20Illustrated%20Guide%20to%20Low-Cost%20Sonar%20Habitat%20Mapping%20v1.1.pdf> [2018.09.07.].
- KIRMANI, Shahzad F., 2016: *Methods and Aparathuses for Reconstructing 3D Sonar Image*. Szabadalomszám: US 20160259052A1, p. 24,
<https://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/207ce971bae1d37bae02/US20160259052A1.pdf> [2018.09.07.].
- KLINGHAMMER István & PAPP–VÁRY Árpád, 1983: *Földünk tükre a térkép*. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, Magyarország, p. 385, ISBN 963-281-161-5.
- KUPERMAN, William A.; ROUX, Philippe, 2007: Underwater Acoustics. In: ROSSING, Thomas (szerk.), 2007: *Springer Handbook of Acoustics*. Springer Science + Business Media Inc., New York, NY, U.S.A., pp. 149-204., ISBN 978-0-387-30446-5, DOI: 10.1007/978-0-387-30425-0_5,
https://www.researchgate.net/profile/Philippe_Roux2/publication/234472513_Underwater_Acoustics/links/544770f70cf2f14fb811f0d1/Underwater-Acoustics.pdf?_sg%5B0%5D=fYnEkZiOy7UZkoEtRwpMtEt_Upx-Z55R1AI31gQMMgrj58Esi6u69eCqVDtyXaOf6eLeotNlSf6nGiSaQPN5JA.z7gV69 [2018.09.07.].
- L-3 COMMUNICATIONS SEABEAM INSTRUMENTS, 2000: *Multibeam Sonar – Theory of Operation*. L-3 Communications SeaBeam Instruments, East Walpole, MS, U.S.A., p. 107,
<https://www3.mbari.org/data/mbsystem/sonarfunction/SeaBeamMultibeamTheoryOperation.pdf> [2018.09.07.].
- LIPE, Robert, 2018: *What is GPSTabel?* <https://www.gpsbabel.org/people/index.html> [2018.09.07.].
- LÓCZY Dénes (szerk.), 2018: *The Drava River: Environmental Problems and Solutions*. Springer Science + Business Media, Berlin / Heidelberg, Germany, p. 399, ISBN 978-3-319-92815-9.
- LOW2OZI, 2016: *Low2Ozi Rusfishing.ru v16*. <http://sorvik.ru/zip/low2ozi.zip> [2018.09.07.].

- LOWRANCE, 2014: *Lowrance® HDS Gen3 Operator Manual*. Lowrance Inc., Tulsa, OK, U.S.A., p. 196, https://ww2.lowrance.com/Root/Lowrance-Documents/HDSGen3/HDS-GEN3_OM_EN_988-10740-005_w.pdf [2018.09.07.].
- LOWRANCE, 2015: *Lowrance® Inland Simulator.*, Tulsa, OK, U.S.A., <ftp://software.lowrance.com/Simulators/Lowrance-Inland-Simulator.sl3> [2019.01.08.].
- LURTON, Xaver, 2000: Swath Bathymetry Using Phase Difference: Theoretical Analysis of Acoustical Measurement Precision. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Július, 25(3), pp. 351–363.
- MAGNUSSON, Peter, 2017: *node-sl2format*. GitHub Inc., San Francisco, CA, U.S.A. <https://github.com/kmpm/node-sl2format> [2018.09.07.].
- MEDWIN, Herman; CLAY, CLARENCE S., 1998: *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. Academic Press Inc., San Diego, CA, U.S.A., p. 712, <https://senawiratama.files.wordpress.com/2010/08/medwin-and-clay-fundamentals-of-acoustical-oceanography.pdf> [2018.09.07.].
- MEI, C. C., 2004: *Wave Propagation – Chaper Three*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MS, U.S.A, p. 54, <http://web.mit.edu/1.138j/www/material/chap-3.pdf> [2018.09.07.].
- MERKLINGER, Harold M.; ELLIS, Dale D., 2017: *Fessenden and Boyle: Two Canadian sonar pioneers*. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 14 09, 30(1), pp. 1–20, DOI: 10.1121/2.0000564, <https://asa.scitation.org/doi/pdf/10.1121/2.0000564> [2018.09.07.].
- NELSON, John, 2018: *Some Techniques for Showing Areas of Interest*. Environmental System Research Institute, Redlands, CA, U.S.A., <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-pro/mapping/some-techniques-for-showing-areas-of-interest/> [2019.01.11.].
- OPENSTREETMAP, 2017: *SL2*. OpenStreetMap Foundation, Cambridge, UK, <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/SL2> [2018.09.07.].
- ØDEGÅRD, Øyvind; HANSEN, Roy E.; SINGH, Hanumant; MAARLEVED, Thijs J., 2018: *Archaeological use of Synthetic Aperture Sonar on deepwater wreck sites in Skagerrak*. *Journal of Archaeological Science*, Volume 89, January 2018, pp. 1–13, DOI: 10.1016/j.jas.2017.10.005.

- PEUCKER, Thomas K.; FLOWER, Robert J.; LITTLE, James J.; MARK, David M., 1979: *The triangulated irregular network*. AutoCarto IV – Volume II – Proceedings of the International Symposium on Cartography and Computing: Applications in Health and Environment, pp. 96–103.,
<https://cartogis.org/docs/proceedings/archive/auto-carto-4-vol-2/pdf/auto-carto-4-vol-2.pdf> [2018.09.07.].
- PRIBIČEVIĆ, Boško; ĐAPO, Almin; KORDIĆ, Branko; PIJANOVIĆ, Nino, 2016: *Mapping of underwater habitats based on the analysis of backscatter intensity of the return acoustic signal*. Annual 2016 of the Croatian Academy of Engineering, Volume 1, pp. 79–96.,
https://bib.irb.hr/datoteka/815500.HAZU_clanak_habitat_mapping_2015_eng.pdf [2018.09.07.].
- PROCTOR, Alan Lee, 2014: *Sonar System using Frequency Bursts*. Szabadalomszám: US 2014/0010048A1, p. 16,
<https://patentimages.storage.googleapis.com/c3/fe/4e/fe86ab1fda0ab3/US20140010048A1.pdf> [2018.09.07.].
- PROCTOR, Alan Lee; PARKS, David Austin; HORNER, Ronald Joe; HUNT, Matthew David, 2016: *System and Associated Methods for Upadting Stored 3D Sonar Data*. Szabadalomszám: US 2016/0259050 A1, p. 54,
<https://patentimages.storage.googleapis.com/f3/e8/de/af2751a20b670d/US20160259050A1.pdf> [2018.09.07.].
- PRÓNAY Zsolt, 2005: *Szökevényforrások kimutatásának lehetősége szonár mérésekkel*. Kézirat, Ph.D. értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem Kitaibel Pál doktori iskola, Sopron, Magyarország, p. 89, <http://doktori.nyme.hu/77/1/Ertekezés.pdf> [2018.09.07.].
- RICART, Aurora M.; SANMARTÍ, Neus; PÉREZ, Marta; ROMERO, Javier, 2018: Multilevel assessments reveal spatially scaled landscape patterns driving coastal fish assemblages. *Marine Environmental Research*, Volume 140, September 2018, pp. 210–220, DOI: 10.1016/j.marenvres.2018.06.015.
- SCHULTZ, John J.; HEALY, Carrie A.; PARKER, Kenneth; LOWERS, Bim, 2013: *Detecting submerged objects: The application of side scan sonar to forensic contexts*. *Forensic Science International* Volume 231, Issues 1–3, 10 September 2013, pp. 306–316, DOI: 10.1016/j.forsciint.2013.05.032,

- SLY, P. G., 1983: *Sedimentology and Geochemistry of Recent Sediments off the Mouth of the Niagara River, Lake Ontario*. Journal of Great Lakes Research, 9(2), pp. 134-159. DOI: 10.1016/S0380-1330(83)71884-8, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0380133083718848> [2018.09.07.].
- SPIRKOVSKI, Z.; ILIK-BOEVA, D.; RITTERBUSCH, D.; PEVELING, R.; PIETROCK, M., 2019: *Ghost net removal in ancient Lake Ohrid: A pilot study*. Fisheries Research Volume 211, March 2019, pp. 46–50. DOI: 10.1016/j.fishres.2018.10.023.
- VERBUND AG, 2018: *Unsere Kraftwerke*, München, Deutschland, <https://www.verbund.com/de-de/ueber-verbund/kraftwerke/unsere-kraftwerke> [2018.09.07.].
- VERONESI, F. & HURNI, L., 2014: *A GIS tool to increase the visual quality of relief shading by automatically changing the light direction*. Computers & Geosciences, Volume 74, pp. 121-127. DOI: 10.1016/j.cageo.2014.10.015.
- VOGT, Jürgen; RIMAVICIUTE, Erika; DE JAGER, Alfred, 2008: *CCM2 River and Catchment Database for Europe – Version 2.1 Release Notes*. European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italy, p. 5., http://ccm.jrc.ec.europa.eu/documents/JVogt_etal_CCM21.pdf [2019.01.11].
- YAMASAKI Shintaro; KAMAI Toshitaka, 2015: *A novel method of surveying submerged landslide ruins: Case study of the Nebukawa landslide in Japan*. Engineering Geology Volume 186, 24 February 2015, pp. 28–33, DOI: 10.1016/j.enggeo.2014.11.010. ■

10 Mellékletek

10.1 Szonáradatastort feldolgozó szoftverrendszer

Az alábbi tíz fejezet a szonáradatastort feldolgozására készült program forráskódját írja le. A lap szélességének korlátai miatt a hosszú sorok több sorba tördelten jelennek meg. Az alkalmazott programnyelv részben érzékeny a sortörésre, ezért minden töréspontot '_' jellel jelöltünk.

Az itt bemutatott kódrészlet működőképes, de nem elegáns, nem mindehol elégíti ki a legszigorúbb programozástechnikai követelményeket és többhelyütt kísérleti állapotokat mutat. A kód C#™ nyelven történő újraírása jelenleg is zajlik („7. Kutatás további irányai”).

10.1.1 ConstantHelper.vb

Ez a modul az egész alkalmazásban előforduló konstansok, vagy konstans-szerű változók gyűjteménye:

```
REM Written by Ákos Halmai © 2018, University of Pécs Institute of Geography and
Earthsciences.

REM http://foldrajz.ttk.pte.hu.

REM Some idea applied in the code come from LOW2OZI (http://sorvik.ru/zip/low2ozi.zip
& http://sorvik.ru/low.htm & https://github.com/risty/SonarLogApi)
REM File header for SL2/SL3: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/SL2 &
https://github.com/kmpm/node-sl2format/blob/master/doc/sl2fileformat.md
REM Further SL3 fields: https://github.com/risty/SonarLogApi/tree/master/SonarLogAPI

Imports System

Friend Module ConstantHelper
    '////////ANTENNA HEIGHT////////
    Friend Const AntennaHeight As Double = 3.0#
    '////////END ANTENNA HEIGHT////////

    '///Scan Products Exaggeration //////////
    Friend Const ScanProductExaggeration As Double = 10.0#

    'Lowrance calculations
    Friend Const SP As Char = ", "c 'Separator char for ASCII output.
    Friend Const KnotsToMps As Double = 1852.0# / 3600.0# 'Nautical mile / minutes in
    ↵                                     an hour.

    Friend Const FeetToMeter As Double = 0.3048# 'International foot.
    Friend Const MinimumDepth As Double = -FeetToMeter

    'Angles
    Friend Const RadToDeg As Double = 180.0# / Math.PI
    Friend Const RadOf450Deg As Double = 450.0# / (180.0# / Math.PI)
    Friend Const RadOf360Deg As Double = 2.0# * Math.PI
    Friend Const RadOf30Deg As Double = 30.0# / 180.0# * Math.PI
    Friend Const RadOf60Deg As Double = 60.0# / 180.0# * Math.PI
```

```

Friend Const RadOf70Deg As Double = 70.0# / 180.0# * Math.PI

'Cut-offs
Friend Const MinimumCutOffHeightOwerWGS84Geoid As Double = 100.0#
Friend Const MaximumCutOffHeightOwerWGS84Geoid As Double = 280.0#
Friend Const MaximumGNSSHeightDeviation As Double = 0.75#

'EOMA
Friend Const LowerLeftX As Double = 1868964.8046#
Friend Const LowerLeftY As Double = 5722181.9997#
Friend Const Resolution As Double = 100.0#
Friend Const EomaHeight As Integer = 900I
Friend Const EomaWidth As Integer = 1589I

'String format constants
Friend Const TrueString As String = "True"
Friend Const FalseString As String = "False"

Friend Const FS As String = "0.####"
Friend Const FSS As String = "0.###"

'Sidescan Statistics
Friend Const SideScanStatisticsPAM As String =
"<PAMDataset>
<Metadata>
<MDI key=""Data Type"">Processed</MDI>
</Metadata>
<PAMRasterBand band=""1"">
<Histograms>
<HistItem>
<HistMin>-0.5</HistMin>
<HistMax>171.5</HistMax>
<BucketCount>172</BucketCount>
<IncludeOutOfRange>1</IncludeOutOfRange>
<Approximate>0</Approximate>

<HistCounts>35048|0|19|59|13272|14518|15636|16726|16955|17554|17223|17319|16659|29849
|14965|13613|12449|11557|10542|9781|17395|7791|7390|13038|6012|10750|5014|9141|8296|7
486|3651|6421|5937|5420|5001|4541|6206|3918|3622|4997|3109|2836|3950|2526|3557|3279|2
154|2855|2702|2569|2329|2295|2030|2038|1898|1794|1645|2121|1453|1474|1786|1296|1717|1
563|1149|1524|1281|1335|1007|1189|1214|3435|3552|3565|3826|3521|3738|4042|4074|4189|4
679|4611|5198|5410|5515|6151|6842|6739|7180|7540|7906|8615|9094|9508|10222|10625|1109
1|11516|12442|12719|13168|14124|14209|22868|20673|19590|18679|127|17647|32447|15412|1
4591|13893|26228|24319|11839|22023|30292|19177|18091|24987|23109|21285|26091|18158|22
790|26136|24003|21909|20236|22847|24021|22462|23406|21460|24500|22615|20751|22920|225
63|20716|22124|22939|21181|21847|21634|20855|21716|20959|20813|20135|20250|19580|1959
2|19570|19709|19404|19301|19308|19961|20716|21798|23069|24689|26995|28360|29689|29315
|27258|20305|8299|4876</HistCounts>
</HistItem>
</Histograms>
<Metadata>
<MDI key=""STATISTICS_COVARIANCES"">2635.045826364645</MDI>
<MDI key=""STATISTICS_MAXIMUM"">171</MDI>
<MDI key=""STATISTICS_MEAN"">106.14516258677</MDI>
<MDI key=""STATISTICS_MINIMUM"">0</MDI>
<MDI key=""STATISTICS_SKIPFACTORX"">1</MDI>
<MDI key=""STATISTICS_SKIPFACTORY"">1</MDI>
<MDI key=""STATISTICS_STDDEV"">51.332697439007</MDI>
</Metadata>
</PAMRasterBand>
</PAMDataset>"
End Module

```

10.1.2 FrameFlags.vb

A Lowrance® rendszerek az egyes szonárméréseket a mérés körülményeit metaadatként leíró jelekkel látják el. Ez a struktúra ezen 16-bites „jellemzőszámot” alakítja (halandók számára is) olvasható leírássá:

```
REM Written by Ákos Halmai © 2018, University of Pécs Institute of Geography and Earthsciences.
```

```
REM http://foldrajz.ttk.pte.hu.
```

```
REM Some idea applied in the code come from LOW2OZI (http://sorvik.ru/zip/low2ozi.zip & http://sorvik.ru/low.htm & https://github.com/risty/SonarLogApi)
```

```
REM File header for SL2/SL3: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/SL2 & https://github.com/kmpm/node-sl2format/blob/master/doc/sl2fileformat.md
```

```
REM Further SL3 fields: https://github.com/risty/SonarLogApi/tree/master/SonarLogAPI
```

```
Option Strict On
```

```
Option Compare Binary
```

```
Option Explicit On
```

```
Option Infer Off
```

```
Imports System.Diagnostics
```

```
Imports System.Runtime.CompilerServices
```

```
<IsReadOnly, DebuggerDisplay("{ToString}")>
```

```
Friend Structure FrameFlags
```

```
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly IsTrackValid, IsPositionValid, IsCourseOrSpeed, IsSpeedValid,
```

```
    IsAltitudeOrCourseOrSpeed, IsAltitudeValid, IsHeadingValid,
```

```
    IsUnknownAt1, IsUnknownAt2, IsUnknownAt4, IsUnknownAt7,
```

```
    IsUnknownAt8, IsUnknownAt10, IsUnknownAt11, IsUnknownAt12,
```

```
    IsUnknownAt13 As Boolean
```

```
Friend Sub New(<IsReadOnly> flags As UShort)
```

```
    IsTrackValid = (flags And &B1US) <> 0US
```

```
    IsUnknownAt1 = (flags And &B10US) <> 0US
```

```
    IsUnknownAt2 = (flags And &B100US) <> 0US
```

```
    IsPositionValid = (flags And &B1000US) <> 0US
```

```
    IsUnknownAt4 = (flags And &B10000US) <> 0US
```

```
    IsCourseOrSpeed = (flags And &B100000US) <> 0US
```

```
    IsSpeedValid = (flags And &B1000000US) <> 0US
```

```
    IsUnknownAt7 = (flags And &B10000000US) <> 0US
```

```
    IsUnknownAt8 = (flags And &B100000000US) <> 0US
```

```
    IsAltitudeOrCourseOrSpeed = (flags And &B1000000000US) <> 0US
```

```
    IsUnknownAt10 = (flags And &B10000000000US) <> 0US
```

```
    IsUnknownAt11 = (flags And &B100000000000US) <> 0US
```

```
    IsUnknownAt12 = (flags And &B1000000000000US) <> 0US
```

```
    IsUnknownAt13 = (flags And &B10000000000000US) <> 0US
```

```
    IsAltitudeValid = (flags And &B100000000000000US) <> 0US
```

```
    IsHeadingValid = (flags And &B1000000000000000US) <> 0US
```

```
End Sub
```

```
Public Overrides Function ToString() As String
```

```
    Return String.Format("IsTrackValid: {0}, IsPositionValid: {1}, IsCourseOrSpeed: {2}, IsSpeedValid: {3}, IsAltitudeOrCourseOrSpeed: {4}, IsAltitudeValid: {5}, IsHeadingValid: {6}",
```

```
        New String(6) {If(IsTrackValid, TrueString, FalseString),
```

```
            If(IsPositionValid, TrueString, FalseString),
```

```
            If(IsCourseOrSpeed, TrueString, FalseString),
```

```
            If(IsSpeedValid, TrueString, FalseString),
```

```
            If(IsAltitudeOrCourseOrSpeed, TrueString, FalseString),
```

```
            If(IsAltitudeValid, TrueString, FalseString),
```

```

        If(IsHeadingValid, TrueString, FalseString))
    End Function
End Structure

```

10.1.3 Frequency.vb

Ezen enumeráció a Lowrance® rendszerekben előforduló frekvenciákat sorolja fel:

REM Written by Ákos Halmai © 2018, University of Pécs Institute of Geography and Earthsciences.

REM <http://foldrajz.ttk.pte.hu>.

REM Some idea applied in the code come from LOW2OZI (<http://sorvik.ru/zip/low2ozi.zip> & <http://sorvik.ru/low.htm> & <https://github.com/risty/SonarLogApi>)
 REM File header for SL2/SL3: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/SL2> & <https://github.com/kmpm/node-sl2format/blob/master/doc/sl2fileformat.md>
 REM Further SL3 fields: <https://github.com/risty/SonarLogApi/tree/master/SonarLogAPI>

```

Option Strict On
Option Compare Binary
Option Explicit On
Option Infer Off

```

```
Friend Enum Frequency As Byte
```

```

    Fq_200kHz = 0
    Fq_50kHz = 1
    Fq_83kHz = 2
    Fq_455kHz = 3
    Fq_800kHz = 4
    Fq_38kHz = 5
    Fq_28kHz = 6
    Fq_130kHz_210kHz = 7
    Fq_90kHz_150kHz = 8
    Fq_40kHz_60kHz = 9
    Fq_25kHz_45kHz = 10

```

```
End Enum
```

10.1.4 HeaderStructure.vb

Ezen struktúra az SLG/SL2/SL3 fájlok általános fejléce:

REM Written by Ákos Halmai © 2018, University of Pécs Institute of Geography and Earthsciences.

REM <http://foldrajz.ttk.pte.hu>.

REM Some idea applied in the code come from LOW2OZI (<http://sorvik.ru/zip/low2ozi.zip> & <http://sorvik.ru/low.htm> & <https://github.com/risty/SonarLogApi>)
 REM File header for SL2/SL3: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/SL2> & <https://github.com/kmpm/node-sl2format/blob/master/doc/sl2fileformat.md>
 REM Further SL3 fields: <https://github.com/risty/SonarLogApi/tree/master/SonarLogAPI>

```

Option Strict On
Option Compare Binary
Option Explicit On
Option Infer Off

```

```
Imports System.Runtime.CompilerServices
```

```
<IsReadOnly>
```

```

Friend Structure HeaderStructure
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly FileFormat, RecordingDeviceID, BlockSize, Reserved
As UShort
    Friend Sub New(<IsReadOnly> fileFormat As UShort,
        <IsReadOnly> recordingDeviceID As UShort,
        <IsReadOnly> blockSize As UShort,
        <IsReadOnly> reserved As UShort)
        Me.FileFormat = fileFormat
        Me.RecordingDeviceID = recordingDeviceID
        Me.BlockSize = blockSize
        Me.Reserved = reserved
    End Sub
End Structure

```

10.1.5 HeadingType.vb

Ez az enumeráció az elvileg létező három kurzustípust sorolja fel:

```

REM Written by Ákos Halmai © 2018, University of Pécs Institute of Geography and
Earthsciences.

```

```

REM http://foldrajz.ttk.pte.hu.

```

```

Option Strict On
Option Compare Binary
Option Explicit On
Option Infer Off

Friend Enum HeadingType As Byte
    GNSS = &B10
    RouteBased = &B100
    Magnetic = &B1000
End Enum

```

10.1.6 PathHelper.vb

Ezen modul általános elérésiút-manipulációkat tartalmaz:

```

REM Written by Ákos Halmai © 2018, University of Pécs Institute of Geography and
Earthsciences.

```

```

REM http://foldrajz.ttk.pte.hu.

```

```

Option Strict On
Option Compare Binary
Option Explicit On
Option Infer Off

Imports System
Imports System.IO

Module PathHelper
    Private ReadOnly ExecutionPath As String =
        Path.GetDirectoryName(Reflection.Assembly.GetExecutingAssembly().Location)

    Friend ReadOnly EOMAUri As New _
        Uri(Path.Combine(ExecutionPath, "EOMA.tif"), UriKind.Absolute)

    Friend ReadOnly ProtoGDBPath As String = _
        Path.Combine(ExecutionPath, "ProtoGDB.gdb.zip")

```



```

Friend Function GetSourceFilePath() As String
    Dim CommandLineArguments As String() = Environment.GetCommandLineArgs()
    If CommandLineArguments.Length <> 2 _
    Then Throw New ArgumentException("A parancssori kapcsolók nem megfelelőek!")
    Return Path.GetFullPath(CommandLineArguments(1))
End Function

Friend Function PrepareTiffExportPath(SurveyType As SurveyType, _
                                       SourceFilePath As String) As String

    Dim Suffix As String
    Select Case SurveyType
        Case SurveyType.Primary
            Suffix = "PS"
        Case SurveyType.Secondary
            Suffix = "SE"
        Case SurveyType.DownScan
            Suffix = "DS"
        Case SurveyType.SideScan
            Suffix = "SS"
        Case SurveyType.Unknown7
            Suffix = "U7"
        Case SurveyType.Unknown8
            Suffix = "U8"
        Case SurveyType.ThreeDimensional
            Throw New NotSupportedException _
                ("This type of survey is not supported")
    End Select

    Dim DirectoryPath As String = _
        Path.Combine(Path.GetDirectoryName(SourceFilePath), _
                    Path.GetFileNameWithoutExtension(SourceFilePath) & $"_{Suffix}")
    Directory.CreateDirectory(DirectoryPath)
    Return Path.Combine(DirectoryPath, _
        Path.GetFileNameWithoutExtension(SourceFilePath) & $"_{Suffix}_" & "{0}.tif")
End Function
End Module

```

10.1.7 PointHelper.vb

Strukturális, primitív értéktípus a mérési pontok tárolásához:

REM Written by Ákos Halmai © 2018, University of Pécs Institute of Geography and Earth-sciences.

REM <http://foldrajz.ttk.pte.hu>.

```

Imports System.Runtime.CompilerServices
<IsReadOnly>
Friend Structure PointHelper
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly X, Y, Z As Double
    Public Sub New(<IsReadOnly> x As Double, <IsReadOnly> y As Double, <IsReadOnly> z
As Double)
        Me.X = x
        Me.Y = y
        Me.Z = z
    End Sub
End Structure

```

10.1.8 RoutePoint.vb

Egyezzerű struktúra az USR állományokból átalakított mért pontok kezeléséhez. A második osztály ezen pontok időbeli sorba rendezésére szolgál:

REM Written by Ákos Halmai © 2018, University of Pécs Institute of Geography and Earthsciences.

REM <http://foldrajz.ttk.pte.hu>.

```
Option Strict On
Option Compare Binary
Option Explicit On
Option Infer Off
Imports System
Imports System.Collections.Generic
Imports System.Runtime.CompilerServices
Imports System.Runtime.InteropServices
Imports Microsoft.VisualBasic.Constants

Friend Structure RoutePoint
    Friend X, Y As Double
    <ReadOnly> Friend ReadOnly Timestamp As DateTimeOffset
    Private Shared IVC As Globalization.CultureInfo = _
        Globalization.CultureInfo.InvariantCulture

    Friend Sub New(<[In], IsReadOnly> ByRef Fields As String())
        If Not (DateTimeOffset.TryParse(Fields(1), IVC, _
            Globalization.DateTimeStyles.AssumeUniversal, Timestamp) AndAlso
            Double.TryParse(Fields(2), X) AndAlso
            Double.TryParse(Fields(3), Y)) Then Throw _
            New FormatException(String.Format("Az alábbi sor konverziója sikertelen az
            útvonál-leíró fájlban:" & vbNewLine & "{0}", String.Join(", ", Fields)))
    End Sub
End Structure

Friend Class RoutePointComparer
    Implements IComparer(Of RoutePoint)
    Public Function Compare(x As RoutePoint, y As RoutePoint) As Integer _
        Implements IComparer(Of RoutePoint).Compare
        Return DateTimeOffset.Compare(x.Timestamp, y.Timestamp)
    End Function
End Class
```

10.1.9 SurveyType.vb

Ezen enumeráció az elvileg létező méréstípusokat sorolja fel:

REM Written by Ákos Halmai © 2018, University of Pécs Institute of Geography and Earthsciences.

REM <http://foldrajz.ttk.pte.hu>.

REM Some idea applied in the code come from LOW2OZI (<http://sorvik.ru/zip/low2ozi.zip>
& <http://sorvik.ru/low.htm> & <https://github.com/risty/SonarLogApi>)
REM File header for SL2/SL3: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/SL2> &
<https://github.com/kmpm/node-sl2format/blob/master/doc/sl2fileformat.md>
REM Further SL3 fields: <https://github.com/risty/SonarLogApi/tree/master/SonarLogAPI>

```
Option Strict On
Option Compare Binary
Option Explicit On
Option Infer Off
```

```

Friend Enum SurveyType As Short
    Primary = *S
    Secondary = *S
    DownScan = *S
    SideScan = *S
    Unknown7 = *S
    Unknown8 = *S
    ThreeDimensional = *S
End Enum

```

10.1.10 MainModule.vb

Ez a szakasz az alkalmazás elsődleges osztálya, számos belső alosztályal:

REM Written by Ákos Halmai © 2018, University of Pécs Institute of Geography and Earthsciences.

REM <http://foldrajz.ttk.pte.hu>.

REM Some idea applied in the code come from LOW2OZI (<http://sorvik.ru/zip/low2ozi.zip> & <http://sorvik.ru/low.htm> & <https://github.com/risty/SonarLogApi>)
 REM File header for SL2/SL3: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/SL2> & <https://github.com/kmpm/node-sl2format/blob/master/doc/sl2fileformat.md>
 REM Further SL3 fields: <https://github.com/risty/SonarLogApi/tree/master/SonarLogAPI>

```

Option Strict On
Option Compare Binary
Option Explicit On
Option Infer Off

```

```

Imports System
Imports System.IO
Imports System.BitConverter
Imports System.Diagnostics
Imports System.Collections.Generic
Imports System.Runtime.CompilerServices
Imports System.Runtime.InteropServices
Imports System.Windows.Media
Imports System.Windows.Media.Imaging
Imports Microsoft.VisualBasic.FileIO
Imports Microsoft.VisualBasic.Constants
Imports Esri.FileGDB

```

```

<CLSCompliant(True)>
Friend Module MainModule

```

```

#Region "Read-only arrays & Variables"

```

```

    'Read-onyms
    <IsReadOnly> Private ReadOnly ASCII As Text.Encoding = Text.Encoding.ASCII
    <IsReadOnly> Private ReadOnly PrjStringBytes As Byte() _
        = ASCII.GetBytes(
        "PROJCS[\"Lowrance_Mercator\",GEOGCS[\"Lowrance_Sphere\",DA-
        TUM[\"D_Lowrance_Sphere\",SPHE-
        ROID[\"Lowrance_Sphere\",6356752.3142,0.0]],PRIMEM[\"Greenwich\",0.0],UNIT[\"De-
        gree\",0.017453292519943295]],PROJECTION[\"Mercator\"],PARAMETER[\"False_East-
        ing\",0.0],PARAMETER[\"False_Northing\",0.0],PARAMETER[\"Central_Meridian\",0.0],PA-
        RAMETER[\"Standard_Parallel_1\",0.0],UNIT[\"Meter\",1.0]]")

```

```

    <IsReadOnly> Private ReadOnly IVC As Globalization.CultureInfo = _
        Globalization.CultureInfo.InvariantCulture
    <IsReadOnly> Private ReadOnly ArraySizeList As _
        New Dictionary(Of SurveyType, Integer)(6I) From
        {{SurveyType.Primary, 3072I},

```

```

        {SurveyType.DownScan, 1400I},
        {SurveyType.SideScan, 2800I},
        {SurveyType.Unknown7, 2000I},
        {SurveyType.Unknown8, 472I},
        {SurveyType.Secondary, 3072I}}

<IsReadOnly> Private ReadOnly Frames As New List(Of FrameClass)()
<IsReadOnly> Private ReadOnly IndexDict As New _
    Dictionary(Of SurveyType, List(Of Integer))(7I)
#End Region

#Region "Module Variables"
Private SL3File As FileStream
Private ThreeDAndSidescanPairs As Dictionary(Of Integer, Integer)
#End Region

#Region "Internal Classes & Structs"
<DebuggerDisplay("{ToString}")>
Private Class FrameClass

    <IsReadOnly> Private Shared ReadOnly Builder As New Text.StringBuilder(512I)

    Private Shared ZeroTime As DateTimeOffset
    Private Shared GNSSAntennaHeight As Double
    Private Shared Index As Integer
    Private Shared EOMAMap As Single(,)

    Friend Shared Sub InitFrameClass(
        <IsReadOnly> GNSSAntennaHeightInMeters As Double,
        <IsReadOnly> ZeroTimeStamp As DateTimeOffset)

        GNSSAntennaHeight = GNSSAntennaHeightInMeters
        ZeroTime = ZeroTimeStamp
        Index = 0I
        InitEOMA()
    End Sub

    Private Shared Sub InitEOMA()
        Dim Pixels As Single() = New Single(EomaHeight * EomaWidth - 1I) {}
        Call (New TiffBitmapDecoder(EOMAUri, _
            BitmapCreateOptions.PreservePixelFormat, _
            BitmapCacheOption.OnLoad)).Frames(0).CopyPixels(_
            Pixels, 4I * EomaWidth, 0)

        Dim pixBuff As Single(,) = New Single(EomaWidth - 1I, EomaHeight - 1I) {}
        For y As Integer = 0I To EomaHeight - 1
            For x As Integer = 0I To EomaWidth - 1
                pixBuff(x, y) = Pixels(y * EomaWidth + x)
            Next
        Next
        EOMAMap = pixBuff
    End Sub

    <IsReadOnly> Friend ReadOnly PositionOfFirstByte,
        LastPrimaryChannelFrameOffset, LastSecondaryChannelFrameOffset,
        LastDownScanChannelFrameOffset, LastSidescanLeftChannelFrameOffset,
        LastSidescanRightChannelFrameOffset, LastSidescanCompositeChannelFrameOffset,
        Last3DChannelFrameOffset As UInteger
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly PreviousLength As Integer
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly TotalLength As Integer
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly OriginalLengthOfEchoData As UInteger
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly GroupID As Integer
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly MinRange, MaxRange As Double
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly Timestamp As DateTimeOffset
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly SurveyType As SurveyType
    <IsReadOnly> Friend ReadOnly X, Y As Integer

```

```

<IsReadOnly> Friend ReadOnly Frequency As Frequency
<IsReadOnly> Friend ReadOnly Depth As Double
<IsReadOnly> Friend ReadOnly WaterTemperature As Double
<IsReadOnly> Friend ReadOnly GNSSSpeed As Double
<IsReadOnly> Friend ReadOnly MagneticHeadnig As Double
<IsReadOnly> Friend ReadOnly Flags As FrameFlags
<IsReadOnly> Friend ReadOnly GNSSHeading As Double
<IsReadOnly> Friend ReadOnly Milliseconds As UInteger
<IsReadOnly> Friend ReadOnly WaterSpeed As Double

Friend GNSSAltitude As Double
Friend CalculatedX, CalculatedY, RouteBasedHeading As Double
Friend EOMAAAltitude, CumulativeDistance As Double

Friend Sub CalculateEOMAAAltitude()
    Dim X As Integer = _
    CInt(Math.Round((CalculatedX - LowerLeftX) / Resolution, 0))
    Dim Y As Integer = _
    CInt(Math.Round((CalculatedY - LowerLeftY) / Resolution, 0))
    EOMAAAltitude = GNSSAltitude - GNSSAntennaHeight + EOMAMap(X, Y)
End Sub

Friend Sub New(<[In], IsReadOnly> ByRef tmpArray As Byte())

    TotalLength = ToUInt16(tmpArray, *)
    Depth = -FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, *)
    GNSSAltitude = FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, *)

    If Depth < MinimumDepth AndAlso GNSSAltitude > _
    MinimumCutOffHeightOwerWGS84Geoid AndAlso GNSSAltitude < _
    MaximumCutOffHeightOwerWGS84Geoid Then
        PositionOfFirstByte = ToUInt32(tmpArray, *)
        PreviousLength = ToUInt16(tmpArray, *)
        SurveyType = DirectCast(ToInt16(tmpArray, *), SurveyType)
        GroupID = 1I + ToInt32(tmpArray, *) 'To match databases' rowID.
        MinRange = FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, *)
        MaxRange = FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, *)
        OriginalLengthOfEchoData = ToUInt32(tmpArray, *)
        Frequency = DirectCast(tmpArray(*), Frequency)
        GNSSSpeed = KnotsToMps * ToSingle(tmpArray, *) 'knot->m/s
        WaterTemperature = ToSingle(tmpArray, *)
        X = ToInt32(tmpArray, *)
        Y = ToInt32(tmpArray, *)
        WaterSpeed = KnotsToMps * ToSingle(tmpArray, *)
        GNSSHeading = ToSingle(tmpArray, *)
        MagneticHeadnig = ToSingle(tmpArray, *)
        Flags = New FrameFlags(ToUInt16(tmpArray, *))
        Milliseconds = ToUInt32(tmpArray, *)
        LastPrimaryChannelFrameOffset = ToUInt32(tmpArray, *)
        LastSecondaryChannelFrameOffset = ToUInt32(tmpArray, *)
        LastDownScanChannelFrameOffset = ToUInt32(tmpArray, *)
        LastSidescanLeftChannelFrameOffset = ToUInt32(tmpArray, *)
        LastSidescanRightChannelFrameOffset = ToUInt32(tmpArray, *)
        LastSidescanCompositeChannelFrameOffset = ToUInt32(tmpArray, *)
        Last3DChannelFrameOffset = ToUInt32(tmpArray, *)
        Timestamp = ZeroTime.AddMilliseconds(Milliseconds)

        Frames.Add(Me)
        Index += 1
    End If
End Sub

Public Overrides Function ToString() As String
    With Builder
        .Clear()
        .Append(GroupID.ToString(IVC)) : .Append(SP) : _

```

```

.Append(SurveyType.ToString()) : .Append(SP) : _
.Append(X.ToString(IVC))
.Append(SP) : .Append(Y.ToString(IVC)) : .Append(SP) : _
.Append(GNSSAltitude.ToString("0.###", IVC)) : .Append(SP)
.Append(Depth.ToString("0.###", IVC)) : .Append(SP)
.Append(GNSSSpeed.ToString("0.###", IVC)) : .Append(SP) : _
.Append(WaterTemperature.ToString("0.##", IVC)) : .Append(SP)
.Append(Milliseconds.ToString(IVC)) : .Append(SP)
.Append(GNSSHeading.ToString("0.####", IVC)) : .Append(SP)
.Append(CalculatedX.ToString("0.####", IVC)) : .Append(SP)
.Append(CalculatedY.ToString("0.####", IVC))
Return .ToString
End With
End Function
End Class

Private Class FrameTimeComparer
Implements IComparer(Of FrameClass)
Public Function Compare(x As FrameClass, y As FrameClass) As Integer _
Implements IComparer(Of FrameClass).Compare
Dim TimeCompare As Integer = x.Milliseconds.CompareTo(y.Milliseconds)
If TimeCompare <> 0 Then Return TimeCompare
Dim GroupIDCompare As Integer = x.GroupID.CompareTo(y.GroupID)
If GroupIDCompare <> 0 Then Return GroupIDCompare
Return x.SurveyType.CompareTo(y.SurveyType)
End Function
End Class
#End Region

#Region "Init/Reset"

Private Function InitFrames(<IsReadOnly> SonarFilePath As String,
<IsReadOnly> GNSSAntennaHeight As Double) As Boolean
'Init Frames
Dim SL3FileInternal As New _
FileStream(SonarFilePath, FileMode.Open, FileAccess.Read, _
FileShare.Read, 4096, FileOptions.RandomAccess) With {.Position = *L}
'Ha nem olvasunk seekelni kell.

Dim FileLength As Long = SL3FileInternal.Length

If FileLength > (*L + *L) Then 'Estimating capacities

Dim Capacity As Integer = CInt(FileLength \ 2060L + 128L)
Frames.Capacity = Capacity

With IndexDict
Dim C7 As Integer = Capacity \ 7I
.Add(SurveyType.Primary, New List(Of Integer)(C7))
.Add(SurveyType.Secondary, New List(Of Integer)(C7))

Dim C14 As Integer = Capacity \ 14I
.Add(SurveyType.DownScan, New List(Of Integer)(C14))
.Add(SurveyType.SideScan, New List(Of Integer)(C14))

Dim C3 As Integer = Capacity \ 3I
.Add(SurveyType.Unknown7, New List(Of Integer)(C3))
.Add(SurveyType.Unknown8, New List(Of Integer)(C3))

Dim C12 As Integer = Capacity \ 12I
.Add(SurveyType.ThreeDimensional, New List(Of Integer)(C12))
End With

Dim tmpArray(167I) As Byte
SL3FileInternal.Read(tmpArray, 0I, *I)
FrameClass.InitFrameClass(GNSSAntennaHeight, _

```

```

DateTimeOffset.FromUnixTimeSeconds(ToInt32(tmpArray, *)))
SL3FileInternal.Seek((New FrameClass(tmpArray)).TotalLength - *,
SeekOrigin.Current)

'Dim Position As Long = SL3File.Position
While SL3File.Position < FileLength
    SL3FileInternal.Read(tmpArray, 0I, *I)
    SL3FileInternal.Seek((New FrameClass(tmpArray)).TotalLength -
    *, SeekOrigin.Current)
End While

SL3File = SL3FileInternal

Frames.Sort(New FrameTimeComparer())

Dim AverageGNSSHeight As Double = 0#
Dim Min As Double = Double.MaxValue
Dim Max As Double = Double.MinValue
For i As Integer = 0 To Frames.Count - 1
    Dim Altitude As Double = Frames(i).GNSSAltitude
    AverageGNSSHeight += Altitude
    If Min > Altitude Then Min = Altitude
    If Max < Altitude Then Max = Altitude
Next
AverageGNSSHeight /= Frames.Count

Dim MinimumGNSSHeight As Double = _
AverageGNSSHeight - MaximumGNSSHeightDeviation
Dim MaximumGNSSHeight As Double = _
AverageGNSSHeight + MaximumGNSSHeightDeviation
Dim Range As Double = Max - Min

Console.WriteLine(vbTab & "Átlagos GNSS magasság: " & _
AverageGNSSHeight.ToString)
Console.WriteLine()
Console.WriteLine(vbTab & "Minimum GNSS magasság: " & Min.ToString)
Console.WriteLine(vbTab & "Maximum GNSS magasság: " & Max.ToString)

Console.ForegroundColor = If(Range > 1.0# OrElse Min < _
MinimumGNSSHeight OrElse Max > MaximumGNSSHeight, _
ConsoleColor.Red, ConsoleColor.Green)
Console.WriteLine(vbTab & "Terjedelem: " & Range.ToString)
Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Gray

Console.WriteLine()
Console.WriteLine(vbTab & "Minimális GNSS magasság: " & _
MinimumGNSSHeight.ToString)
Console.WriteLine(vbTab & "Maximális GNSS magasság: " & _
MaximumGNSSHeight.ToString)
Console.WriteLine()
Console.WriteLine(vbTab & "Megengedett GNSS terjedelem: " & _
(MaximumGNSSHeightDeviation + MaximumGNSSHeightDeviation).ToString)
Console.WriteLine()

Dim WrongList As New List(Of Integer)(512I)
For i As Integer = Frames.Count - 1 To 0I Step -1I
    Dim Altitude As Double = Frames(i).GNSSAltitude
    If Altitude > MaximumGNSSHeight OrElse Altitude < _
    MinimumGNSSHeight Then WrongList.Add(i)
Next

Console.WriteLine(vbTab & _
"Átlagtól nagymértékben eltávolodott mérések száma: " & _
WrongList.Count.ToString)

```

```

If Range > 1.0# OrElse Min < MinimumGNSSHeight OrElse Max > _
MaximumGNSSHeight Then

    Console.WriteLine()
    Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Red
    Console.WriteLine(vbTab & _
        "A terjedelem meghaladja a kritikus értéket!")
    Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Gray
    Console.WriteLine(vbTab & _
        "Töröljük, vagy inter/extrapoláljuk a hibás magasságértékű
        pontokat?")

    Dim Ret As Boolean = False
    Do
        Console.Beep()
        Console.WriteLine(vbTab & _
            "T = Törlés / J = Javítás / M = Meghagyás változatlan formában / K = Kilépés")
        Dim Answer As ConsoleKeyInfo = Console.ReadKey(True)
        Console.WriteLine()

        Select Case Answer.Key
            Case ConsoleKey.J
                Dim Groups As New Dictionary(Of Integer, Integer)(512)
                Dim L1 As Integer = WrongList(0)
                Dim L2 As Integer = L1
                For i As Integer = 1 To WrongList.Count - 1
                    If WrongList(i) <> L2 - 1 Then
                        Groups.Add(L2, L1)
                        L1 = WrongList(i)
                        L2 = L1
                    Else
                        L2 -= 1
                    End If
                Next

                For Each Pair As KeyValuePair(Of Integer, Integer) In _
                    Groups
                    Dim A, B As Double

                    If Pair.Key <= 0 AndAlso Pair.Value >= _
                        Frames.Count - 1 Then Throw New _
                            InvalidDataException("Az állomány nem javítható!")

                    If Pair.Key <= 0 Then
                        B = Frames(Pair.Value + 1).GNSSAltitude
                        A = B
                    ElseIf Pair.Value >= Frames.Count - 1 Then
                        A = Frames(Pair.Key - 1).GNSSAltitude
                        B = A
                    Else
                        A = Frames(Pair.Key - 1).GNSSAltitude
                        B = Frames(Pair.Value + 1).GNSSAltitude
                    End If

                    Dim Steps As Integer = (Pair.Value - Pair.Key) + 2
                    Dim Stride As Double = (B - A) / Steps
                    Dim Count As Integer = 1
                    For N As Integer = Pair.Key To Pair.Value
                        Frames(N).GNSSAltitude = A + (Count * Stride)
                        Count += 1
                    Next
                Next
                Ret = True
                Console.WriteLine(vbTab & "Javítva...")
            Case ConsoleKey.T

```



```

        For Each i As Integer In WrongList
            Frames.RemoveAt(i)
        Next
        Ret = True
        Console.WriteLine(vbTab & "Törölve...")

        Case ConsoleKey.M
            Ret = True 'Semmi sem történik
        Case ConsoleKey.K
            Return False
    End Select
    Loop Until Ret
End If

Console.WriteLine()
Console.WriteLine(vbTab & "Összesen " & _
Frames.Count.ToString & " db elem.")

For i As Integer = 0 To Frames.Count - 1
    IndexDict(Frames(i).SurveyType).Add(i)
Next

'Find3DAndSidescanPairs()

Dim TrackFilePath As String = Path.ChangeExtension(SonarFilePath, ".txt")
CalculateCoordinates(TrackFilePath)
CalculateRouteBasedHeading()

Dim Frame0 As FrameClass = Frames(0)
Frame0.CumulativeDistance = 0
Dim CumulativeDistance As Double = 0
For i As Integer = 1 To Frames.Count - 1
    Dim Frame1 As FrameClass = Frames(i)

    Dim DX As Double = Frame1.CalculatedX - Frame0.CalculatedX
    Dim DY As Double = Frame1.CalculatedY - Frame0.CalculatedY
    CumulativeDistance += Math.Sqrt(DX * DX + DY * DY)

    Frame1.CumulativeDistance = CumulativeDistance
    Frame0 = Frame1
Next i
End If
Return True
End Function 'Ln: 363

Private Sub Find3DAndSidescanPairs()
    Dim PairsOf3DDict As New Dictionary(Of Integer, Integer)_
        (IndexDict(SurveyType.ThreeDimensional).Count)
    For i As Integer = 0 To IndexDict(SurveyType.ThreeDimensional).Count - 1
        Dim FramePositionIndex As Integer = _
            IndexDict(SurveyType.ThreeDimensional)(i)
        Dim Frame As FrameClass = Frames(FramePositionIndex)

        Dim BackCandidate As FrameClass = Nothing
        Dim BackLookUpIndex As Integer = FramePositionIndex - 1
        While BackLookUpIndex >= 0
            Dim TargetFrame As FrameClass = Frames(BackLookUpIndex)
            If TargetFrame.SurveyType = SurveyType.SideScan Then
                BackCandidate = TargetFrame
            Exit While
        End If
        BackLookUpIndex -= 1
    End While

    Dim BackDistance As Integer = If(BackCandidate Is Nothing, _
        Integer.MaxValue, Cint(Frame.Milliseconds - BackCandidate.Milliseconds))

```

```

Dim ForeCandidate As FrameClass = Nothing
Dim ForeLookUpIndex As Integer = FramePositionIndex + 1
While BackLookUpIndex <= Frames.Count - 1
    Dim TargetFrame As FrameClass = Frames(ForeLookUpIndex)
    If TargetFrame.SurveyType = SurveyType.SideScan Then
        ForeCandidate = TargetFrame
        Exit While
    End If
    ForeLookUpIndex += 1
End While

Dim ForeDistance As Integer = _
If(ForeCandidate Is Nothing, Integer.MaxValue, _
CInt(ForeCandidate.Milliseconds - Frame.Milliseconds))

If Math.Min(ForeDistance, BackDistance) > 100I Then
    PairsOf3DDict.Add(FramePositionIndex, -1)
ElseIf ForeDistance <= BackDistance Then
    PairsOf3DDict.Add(FramePositionIndex, ForeLookUpIndex)
Else
    PairsOf3DDict.Add(FramePositionIndex, BackLookUpIndex)
End If
Next
ThreeDAndSidescanPairs = PairsOf3DDict
End Sub

Private Sub CalculateCoordinates(<IsReadOnly> TrackFilePath As String)
    If Frames.Count > 0 Then

        'Text parser
        Dim RouteCoordinateList As New List(Of RoutePoint)(2048I)
        Using TextCoordinateStream As New FileStream(TrackFilePath, _
            FileMode.Open, FileAccess.Read, FileShare.Read, 4096, _
            FileOptions.SequentialScan)
            Using Parser As New TextFieldParser(TextCoordinateStream, _
                ASCII, False, False) _
                With {.Delimiters = New String(0) {"", "c"},
                    .TextFieldType = _
                    Microsoft.VisualBasic.FileIO.FieldType.Delimited,
                    .HasFieldsEnclosedInQuotes = False}

                If Not Parser.EndOfData Then Parser.ReadFields() 'Header jump.

                While Not Parser.EndOfData
                    Dim Candidate As New RoutePoint(Parser.ReadFields)
                    Dim Year As Integer = Candidate.Timestamp.Year
                    If Year > 2017 AndAlso Year < 2025 Then _
                        RouteCoordinateList.Add(Candidate)
                End While
                Parser.Close()
            End Using
        End Using

        RouteCoordinateList.Sort(New RoutePointComparer)

        'Matching
        Dim FrameIndexList, RouteCoordinateIndexList _
        As New List(Of Integer)(512I)
        Dim TimeDeltaList As New List(Of Double)(512I)

        Dim k As Integer = 0
        For i As Integer = 0 To Frames.Count - 1
            Dim Frame As FrameClass = Frames(i)
            Dim ActualTimeDifference As Double = _
                (Frame.Timestamp - RouteCoordinateList(k).Timestamp).TotalMilliseconds
            Dim PreviousTimeDifference As Double = ActualTimeDifference
        Next
    End If
End Sub

```

```

Dim ActualDelta As Double = 0
Dim PreviousDelta As Double = Double.MaxValue

While ActualDelta <= PreviousDelta
    PreviousTimeDifference = ActualTimeDifference
    ActualTimeDifference = _
    (Frame.Timestamp - _
    RouteCoordinateList(k).Timestamp).TotalMilliseconds
    PreviousDelta = If(ActualTimeDifference > 0, _
    -ActualDelta, ActualDelta)
    ActualDelta = ActualTimeDifference - PreviousTimeDifference
    k += 1
    If k >= RouteCoordinateList.Count Then Exit For
    'No more steps available.
End While

If Math.Abs(PreviousTimeDifference) < Math.Abs(ActualTimeDifference)_
Then
    If Math.Abs(PreviousTimeDifference) < 25 Then
        FrameIndexList.Add(i)
        RouteCoordinateIndexList.Add(k - 2)
        TimeDeltaList.Add(PreviousTimeDifference)
    End If
ElseIf Math.Abs(ActualTimeDifference) < 25 Then
    FrameIndexList.Add(i)
    RouteCoordinateIndexList.Add(k - 1)
    TimeDeltaList.Add(ActualTimeDifference)
End If
k -= 3
Next

Console.WriteLine()
Console.WriteLine(vbTab & "Kapcsolópontok száma: " _
& TimeDeltaList.Count.ToString & " db.")
If TimeDeltaList.Count < 25 Then
    Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Red
    Console.Beep()
    Console.WriteLine()
    Console.WriteLine(vbTab & "*****")
    Console.WriteLine(vbTab & "* A kapcsolópontok száma túl alacsony! *")
    Console.WriteLine(vbTab & "*****")
    Console.WriteLine()
    Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Gray
End If
Console.WriteLine()

Dim InternalFrames As IList(Of FrameClass) = Frames
Dim Frame0 As FrameClass = InternalFrames(0)
Frame0.CalculatedX = Frame0.X
Frame0.CalculatedY = Frame0.Y
Frame0.CalculateEOMAAAltitude() 'Ln: 485

For i As Integer = 1 To InternalFrames.Count - 1

    Dim Frame1 As FrameClass = InternalFrames(i)

    'Preliminary coordinate enhancement.
    If Frame1.Milliseconds > Frame0.Milliseconds Then
        Dim Angle As Double = (RadOf450Deg - 0.5# * _
        (Frame0.GNSSHeading + Frame1.GNSSHeading)) Mod RadOf360Deg
        'Dim Delta As Double = 1.4327# * _
        (Frame0.GNSSSpeed + Frame1.GNSSSpeed) / 2 * _
        (Frame1.Milliseconds - Frame0.Milliseconds) / 1000.0# '1.4327 *
        Dim Delta As Double = (Frame0.GNSSSpeed + Frame1.GNSSSpeed) * _
        (Frame1.Milliseconds - Frame0.Milliseconds) * _
        (1.4327# * 0.5# * 0.001#)
    End If
End For

```

```

        Frame1.CalculatedX = Frame0.CalculatedX + Delta * Math.Cos(Angle)
        Frame1.CalculatedY = Frame0.CalculatedY + Delta * Math.Sin(Angle)
Else
    Frame1.CalculatedX = Frame0.CalculatedX
    Frame1.CalculatedY = Frame0.CalculatedY
End If

'Point matching
Dim MatchingFrameIndex As Integer = FrameIndexList.IndexOf(i)
If MatchingFrameIndex <> -1 Then
    Dim CP As RoutePoint = _
        RouteCoordinateList(RouteCoordinateIndexList(MatchingFrameIndex))

    Dim Delta As Double = Frame1.GNSSSpeed * _
        TimeDeltaList(MatchingFrameIndex) * (1.4327# * 0.5# * 0.001#)
    Dim Angle As Double = _
        (RadOf450Deg - Frame1.GNSSHeading) Mod RadOf360Deg
    CP.X += (Delta * Math.Cos(Angle))
    CP.Y += (Delta * Math.Sin(Angle))

    Dim DX As Double = CP.X - Frame1.CalculatedX
    Dim DY As Double = CP.Y - Frame1.CalculatedY

    'Error distribution
    If MatchingFrameIndex > 0 Then
        Dim AktuálisFrameIndex As Integer = i
        Dim ElőzőFrameIndex As Integer = _
            FrameIndexList(MatchingFrameIndex - 1)
        Dim Lépés szám As Integer = _
            AktuálisFrameIndex - ElőzőFrameIndex

        If Lépés szám > 0 Then
            Dim Időkülönbség As UInteger = _
                Frame1.Milliseconds - _
                Frames(ElőzőFrameIndex).Milliseconds
            For m As Integer = ElőzőFrameIndex + 1 _
                To AktuálisFrameIndex - 1
                Dim DistrinutionFrame As FrameClass = Frames(m)
                Dim Arány As Double = (Időkülönbség - _
                    (Frame1.Milliseconds - _
                    DistrinutionFrame.Milliseconds)) / Időkülönbség
                DistrinutionFrame.CalculatedX += (Arány * DX)
                DistrinutionFrame.CalculatedY += (Arány * DY)
            Next m
        End If
    End If

    Frame1.CalculatedX = CP.X
    Frame1.CalculatedY = CP.Y
End If
Frame1.CalculateEOMAAltitude()
Frame0 = Frame1
Next i
End If
End Sub

Private Sub CalculateRouteBasedHeading()
    If Frames.Count > 3 Then
        Dim InternalFrames As IList(Of FrameClass) = Frames
        Dim Last As Integer = Frames.Count - 1
        InternalFrames(0).RouteBasedHeading = InternalFrames(0).GNSSHeading

        For n As Integer = 1 To Last - 1
            Dim Frame0 As FrameClass = InternalFrames(n - 1)
            Dim Frame2 As FrameClass = InternalFrames(n + 1)
            Dim DY As Double = Frame2.CalculatedY - Frame0.CalculatedY

```

```

        Dim DX As Double = Frame2.CalculatedX - Frame0.CalculatedX
        If DX = 0# AndAlso DY = 0# Then
            InternalFrames(n).RouteBasedHeading = _
                Frame0.RouteBasedHeading
        Else
            Dim Quotient As Double = Math.Atan2(DY, DX)
            InternalFrames(n).RouteBasedHeading = _
                (0.5# * Math.PI) - Quotient
        End If
    Next
    InternalFrames(Last).RouteBasedHeading = _
        InternalFrames(Last).GNSSHeading
Else
    For Each Frame As FrameClass In Frames
        Frame.RouteBasedHeading = Frame.GNSSHeading
    Next
End If
End Sub

Private Sub ResetReaderAndFrames()
    If SL3File IsNot Nothing Then
        SL3File.Close()
        SL3File.Dispose()
        SL3File = Nothing
    End If
    If Frames IsNot Nothing Then Frames.Clear()
    If IndexDict IsNot Nothing Then IndexDict.Clear()
End Sub
#End Region

#Region "Export Text Products"
Private Sub ExportRoutePoints(<IsReadOnly> path As String,
    <IsReadOnly> SurveyType As SurveyType)
    Using RouteASCII As New StreamWriter(path, False, ASCII)
        RouteASCII.WriteLine(_
            "ID,SurveyType,X,Y,Z,Depth,Speed,Teperature,
            MillisecondsSinceStart,GPSDirectionInRad,CalculatedX,
            CalculatedY")

        For Each i As Integer In IndexDict(SurveyType)
            RouteASCII.WriteLine(Frames(i).ToString)
        Next i
        RouteASCII.Flush()
    End Using
    ExportProjectionFile(path)
End Sub

Private Sub ExportScansAsASCIIProfile(<IsReadOnly> path As String,
    <IsReadOnly> SurveyType As SurveyType,
    <IsReadOnly> ExaggerationFactor As Double)
    Dim IndexList As List(Of Integer) = IndexDict(SurveyType)
    Dim ArraySize As Integer = ArraySizeList(SurveyType)
    Dim tmpArray(ArraySize - 1) As Byte

    If IndexList.Count > 1 Then
        Using CSV As New StreamWriter(path, False, ASCII)
            CSV.Write("X,Y,Intensity" & vbNewLine)
            For Each i As Integer In IndexList
                Dim Frame As FrameClass = Frames(i)
                Dim X As String = Frame.CumulativeDistance.ToString("0.0###")
                & ", "
                SL3File.Position = *UI + Frame.PositionOfFirstByte
                SL3File.Read(tmpArray, 0I, Frame.TotalLength - *I)
                Dim YSize As Double = -(Frame.MaxRange / ArraySize * _
                    ExaggerationFactor)
                For N As Integer = 0 To ArraySize - 1

```

```

        CSV.Write(X & (N * YSize).ToString("0.0###") & "," &
        tmpArray(N).ToString(IVC) & vbNewLine)
    Next N
Next
End Using
End If
End Sub

Private Sub ExportScannedDataAsASCIIRaster(<IsReadOnly> path As String,
    <IsReadOnly> SurveyType As SurveyType)

    If SurveyType = SurveyType.ThreeDimensional Then Throw New _
    NotSupportedException()
    Dim IndexList As List(Of Integer) = IndexDict(SurveyType)
    If IndexList.Count > 0 Then
        Using EsriASCII As New StreamWriter(path, False, ASCII)
            Dim NumOfBytes As Integer = ArraySizeList(SurveyType)

            EsriASCII.WriteLine("NCOLS " & NumOfBytes.ToString)
            EsriASCII.WriteLine("NROWS " & IndexList.Count.ToString)
            EsriASCII.Write("XLLCORNER 0" & vbNewLine & "YLLCORNER 0" &
            vbNewLine & "CELLSIZE 1" & vbNewLine & "NODATA_VALUE 256" &
            vbNewLine)

            Dim Frames As List(Of FrameClass) = MainModule.Frames
            Dim Frame As FrameClass
            Dim tmpArray(NumOfBytes - 1) As Byte
            For i As Integer = 0 To IndexList.Count - 1
                Frame = Frames(IndexList(i))
                SL3File.Position = *UI + Frame.PositionOfFirstByte
                SL3File.Read(tmpArray, 0I, Frame.TotalLength - *I)

                For N As Integer = 0 To NumOfBytes - 1
                    EsriASCII.Write(tmpArray(N).ToString(IVC))
                    EsriASCII.Write(" "c)
                Next N
                EsriASCII.WriteLine()
            Next i
        End Using
        ExportProjectionFile(path)
    End If
End Sub

Private Sub ExportTerrainPoints(<IsReadOnly> path As String,
    <IsReadOnly> Optional headingType As HeadingType=
    HeadingType.GNSS,
    <IsReadOnly> Optional limited As Boolean = False)

    Const Stride As Integer = *I
    Const HeaderSize As Integer = *I

    Dim tmpArray As Byte()
    Dim Frame As FrameClass
    Dim NumberOfRightBytes, NumberOfLeftBytes, N As Integer, ID As Long
    Dim Direction, Delta, Depth, DeltaX, DeltaY, CurrentX, CurrentY, _
    MeasurementError,
    SinDir, CosDir, Angle As Double
    Dim Indices As Integer() = IndexDict(SurveyType.ThreeDimensional).ToArray

    Using CSV As New StreamWriter(path, False, ASCII)
        CSV.Write("ID,X,Y,Z,M,A,S" & vbNewLine)

        For Each i As Integer In Indices
            Frame = Frames(i)
            ID = Frame.GroupID
            SL3File.Position = *UI + Frame.PositionOfFirstByte
            ReDim tmpArray(Frame.TotalLength - 167I)
            SL3File.Read(tmpArray, 0I, Frame.TotalLength - *I)

```

```

NumberOfRightBytes = ToInt32(tmpArray, *I)
NumberOfLeftBytes = ToInt32(tmpArray, *I)

Direction = If(headingType = HeadingType.GNSS, Frame.GNSSHeading,
If(headingType = HeadingType.Magnetic,
Frame.MagneticHeadnig, Frame.RouteBasedHeading))
Direction = (RadOf450Deg - Direction) Mod RadOf360Deg
SinDir = Math.Sin(Direction)
CosDir = Math.Cos(Direction)
CurrentX = Frame.CalculatedX
CurrentY = Frame.CalculatedY

'Jobboldal
For N = HeaderSize To HeaderSize - Stride + NumberOfRightBytes_
Step Stride '* + NumberOfLeftBytes - *

Delta = FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N)
Depth = FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N + *I)
Angle = Math.Atan2(Delta, Depth)

If limited AndAlso Angle > RadOf70Deg Then N = HeaderSize -
Stride + NumberOfRightBytes : Continue For '70°
MeasurementError = If(Angle < RadOf30Deg, '30°
0.1# + 0.00189998480012159# * Depth * ((Delta / Depth) /
(Math.Cos(Angle))),
0.1# + 0.00244978943958535# * Depth * ((Delta / Depth) /
(Math.Cos(Angle - RadOf60Deg))))

DeltaX = Delta * CosDir 'Mivel Y = 0
DeltaY = -Delta * SinDir

CSV.Write(ID.ToString(IVC) & SP) 'ID
CSV.Write((CurrentX + DeltaX).ToString(FS, IVC) & SP) 'X
CSV.Write((CurrentY + DeltaY).ToString(FS, IVC) & SP) 'Y
CSV.Write((-Depth).ToString(FSS, IVC) & SP) 'Z
CSV.Write(MeasurementError.ToString(FS, IVC) & SP) 'M
CSV.Write((RadToDeg * Angle).ToString(FS, IVC) & ",R" &
vbNewLine) 'A & S
Next N

'Baloldal
For N = N To N + NumberOfLeftBytes - Stride Step Stride
Delta = -FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N)
Depth = FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N + *I)
Angle = -Math.Atan2(Delta, Depth)

If limited AndAlso Angle > RadOf70Deg Then Exit For
'70° 'Egyből kiléphetünk, nem kell inkrementálni
MeasurementError = If(Angle < RadOf30Deg, '30°
0.1# + 0.00189998480012159# * Depth * ((Delta / Depth) /
(Math.Cos(Angle))),
0.1# + 0.00244978943958535# * Depth * ((Delta / Depth) /
(Math.Cos(Angle - RadOf60Deg))))

DeltaX = Delta * CosDir 'Mivel Y = 0
DeltaY = -Delta * SinDir

CSV.Write(ID.ToString(IVC) & SP) 'ID
CSV.Write((CurrentX + DeltaX).ToString(FS, IVC) & SP) 'X
CSV.Write((CurrentY + DeltaY).ToString(FS, IVC) & SP) 'Y
CSV.Write((-Depth).ToString(FSS, IVC) & SP) 'Z
CSV.Write(MeasurementError.ToString(FS, IVC) & SP) 'M
CSV.Write((RadToDeg * Angle).ToString(FS, IVC) & ",L" &
vbNewLine) 'A & S

```

```

        Next N

        Next i
        CSV.Flush()
    End Using
    ExportProjectionFile(path)
    ExportSchema(path)
End Sub

Private Sub ExportProjectionFile(<IsReadOnly> path As String)
    File.WriteAllBytes(IO.Path.ChangeExtension(path, ".prj"), PrjStringBytes)
End Sub

Private Sub ExportSchema(<IsReadOnly> path As String)
    Const SchemaString As String = "[{}]" & vbNewLine &
        "Format=Delimited(,)" & vbNewLine &
        "ColNameHeader=True" & vbNewLine &
        "MaxScanRows=0" & vbNewLine &
        "CharacterSet=ANSI" & vbNewLine &
        "DecimalSymbol=." & vbNewLine &
        "Col1=ID Short" & vbNewLine &
        "Col2=X Double" & vbNewLine &
        "Col3=Y Double" & vbNewLine &
        "Col4=Z Double" & vbNewLine &
        "Col5=M Float" & vbNewLine &
        "Col6=A Float" & vbNewLine &
        "Col7=S Text Width 1" & vbNewLine

    Dim Root As String = IO.Path.GetDirectoryPath(path)
    Dim SchemaPath As String = IO.Path.Combine(Root, "schema.ini")
    Dim FileName As String = IO.Path.GetFileName(path)

    If File.Exists(SchemaPath) Then
        If Not File.ReadAllText(SchemaPath).Contains("[ " & FileName & " ]") _
            Then File.AppendAllText(SchemaPath, String.Format(SchemaString, _
                FileName), ASCII)
    Else
        File.WriteAllText(SchemaPath, String.Format(SchemaString, FileName), _
            ASCII)
    End If
End Sub

Private Sub ExportBottomProfile(<IsReadOnly> path As String,
    <IsReadOnly> ExaggerationFactor As Double)
    Using CSV As New StreamWriter(path, False, ASCII)
        CSV.Write("X,Y,Type" & vbNewLine)
        For Each Frame As FrameClass In Frames
            CSV.Write(Frame.CumulativeDistance.ToString("0.####") & ", "c)
            CSV.Write((ExaggerationFactor * Frame.Depth).ToString("#.####") &
                ", "c)
            CSV.Write(Frame.SurveyType.ToString & vbNewLine)
        Next
    End Using
End Sub
#End Region

#Region "ExportFGDBProducts"
Private Sub ExportRoutesToFGDB(<[In], IsReadOnly> ByRef FGDB As Geodatabase)
    Dim CoordTypes As String() = New String(1) {"orig", "calculated"}
    Dim SurveyTypes As SurveyType() = New SurveyType(6) {}
    IndexDict.Keys.CopyTo(SurveyTypes, 0)

    For i As Integer = 0 To 1
        Dim CoordType As String = CoordTypes(i)
        For k As Integer = 0 To 6
            Dim SurveyType As SurveyType = SurveyTypes(k)

```



```

Using RouteFC As Table = FGDB.OpenTable("route_" & CoordType & "_" &
SurveyType.ToString())
RouteFC.SetWriteLock()
RouteFC.LoadOnlyMode(True)
Using Row As Row = RouteFC.CreateRowObject()
    Using PointBuffer As New PointShapeBuffer(28)
        PointBuffer.Setup(ShapeType.PointZ)

        Dim IndexArray As List(Of Integer) = _
        IndexDict(SurveyType)
        For N As Integer = 0 To IndexArray.Count - 1
            Dim Frame As FrameClass = Frames(IndexArray(N))

            PointBuffer.point = If(i = 0,
                New Point(Frame.X, Frame.Y),
                New Point(Frame.CalculatedX, Frame.CalculatedY))
            PointBuffer.Z = Frame.EOMAAAltitude + Frame.Depth
            Row.SetGeometry(PointBuffer)

            Row.SetShort(2, Frame.SurveyType)
            Row.SetInteger(3, Frame.GroupID)
            Row.SetFloat(4, CSng(Frame.WaterTemperature))
            Row.SetFloat(5, CSng(Frame.WaterSpeed))
            Row.SetFloat(6, CSng(Frame.GNSSSpeed))
            Row.SetFloat(7, CSng(Frame.GNSSHeading))
            Row.SetFloat(8, CSng(Frame.MagneticHeadnig))
            Row.SetFloat(9, CSng(Frame.MinRange))
            Row.SetFloat(10, CSng(Frame.MaxRange))
            Row.SetFloat(11, CSng(Frame.GNSSAltitude))
            Row.SetFloat(12, CSng(Frame.Depth))
            Row.SetDate(13, Frame.Timestamp.UtcDateTime)
            Row.SetInteger(14, CInt(Frame.Milliseconds))
            Row.SetFloat(15, AntennaHeight)
            Row.SetShort(16, Frame.Frequency)
            RouteFC.Insert(Row)
        Next N
    End Using
End Using
RouteFC.LoadOnlyMode(False)
RouteFC.FreeWriteLock()
RouteFC.Close()
End Using
Next k
Next i
End Sub

Private Sub ExportRawSidescanToFGDB(<IsReadOnly> ByRef FGDB As Geodatabase,
<IsReadOnly> Optional HeadingType As HeadingType = HeadingType.GNSS,
Optional ByRef Resolution As Double = 0.04#)

Using SS_Raw_FC As Table = FGDB.OpenTable("mp_raw_SideScan")
    SS_Raw_FC.SetWriteLock()
    SS_Raw_FC.LoadOnlyMode(True)
    Using Row As Row = SS_Raw_FC.CreateRowObject()
        Using PointBuffer As New MultiPointShapeBuffer()
            PointBuffer.Setup(ShapeType.MultipointZ, 2800I)

            Dim Frame As FrameClass
            Dim tmpArray(2800I - 1) As Byte
            Dim Points(2800I - 1) As Point, Zs(2800 - 1) As Double

            Dim Stride As Double, KPlus As Integer
            Dim IndexList As Integer() = _
            IndexDict(SurveyType.SideScan).ToArray()
            Dim MinRes As Double = Double.MaxValue

```

```

For Each N As Integer In IndexList
    Dim CurrentX, CurrentY, Direction, SinDir, CosDir, Delta_
    As Double
    Frame = Frames(N)
    With Frame
        CurrentX = .CalculatedX
        CurrentY = .CalculatedY
        Stride = .MaxRange / 1400.0#
        If Stride < MinRes Then MinRes = Stride

        Select Case HeadingType
            Case HeadingType.GNSS
                Direction = Frame.GNSSHeading
            Case HeadingType.Magnetic
                Direction = Frame.MagneticHeadnig
            Case HeadingType.RouteBased
                Direction = Frame.RouteBasedHeading
        End Select

        SinDir = Math.Sin(Direction)
        CosDir = Math.Cos(Direction)
        SL3File.Position = *US + .PositionOfFirstByte
    End With

    SL3File.Read(tmpArray, 0I, 2800I)

    For K As Integer = -1400I To 1400I - 1I
        Delta = K * Stride
        KPlus = K + 1400
        Points(KPlus) = New Point(CurrentX + Delta * CosDir,
                                   CurrentY - Delta * SinDir)
        Zs(KPlus) = tmpArray(KPlus)
    Next K

    PointBuffer.Points = Points
    PointBuffer.Zs = Zs
    PointBuffer.CalculateExtent()

    Row.SetGeometry(PointBuffer)
    Row.SetInteger(2, Frame.GroupID)
    SS_Raw_FC.Insert(Row)
Next N

    Resolution = MinRes
End Using
End Using
SS_Raw_FC.LoadOnlyMode(False)
SS_Raw_FC.FreeWriteLock()
SS_Raw_FC.Close()
End Using
End Sub

Private Sub ExportPlanCorrectedSidescanToFGDB(<IsReadOnly> ByRef FGDB As _
Geodatabase, <IsReadOnly> Optional HeadingType As HeadingType = HeadingType.GNSS)

Using SS_Plan_FC As Table = FGDB.OpenTable("mp_plan_SideScan")
    SS_Plan_FC.SetWriteLock()
    SS_Plan_FC.LoadOnlyMode(True)
    Using Row As Row = SS_Plan_FC.CreateRowObject()
        Using PointBuffer As New MultiPointShapeBuffer()

            Dim tmpArray(2800I - 1) As Byte
            Dim Points(2800I - 1) As Point
            Dim Zs(2800I - 1) As Double

```

```

'Chang-féle kiegyenlítés
'I. lépés: összegzés.
Dim IndexList As Integer() = _
IndexDict(SurveyType.SideScan).ToArray()
Dim ChangSum(IndexList.Length - 1) As Integer
For l As Integer = 0 To IndexList.Length - 1
    Dim Frame As FrameClass = Frames(IndexList(l))
    SL3File.Position = *US + Frame.PositionOfFirstByte
    SL3File.Read(tmpArray, 0I, 2800I)
    Dim Sum As Integer = 0
    For K As Integer = 0I To 2800I - 1I
        Sum += tmpArray(K)
    Next K
    ChangSum(l) = Sum
Next l
'II. lépés: csúsztatott mozgó átlag.

For l As Integer = 0 To IndexList.Length - 1
    Dim Frame As FrameClass = Frames(IndexList(l))
    Dim CurrentX As Double = Frame.CalculatedX
    Dim CurrentY As Double = Frame.CalculatedY
    Dim Depth As Double = -Frame.Depth 'Abs
    Dim Stride As Double = Frame.MaxRange / 1400.0#

    Dim Direction As Double
    Select Case HeadingType
        Case HeadingType.GNSS
            Direction = Frame.GNSSHeading
        Case HeadingType.Magnetic
            Direction = Frame.MagneticHeadnig
        Case HeadingType.RouteBased
            Direction = Frame.RouteBasedHeading
    End Select

    Dim SinDir As Double = Math.Sin(Direction)
    Dim CosDir As Double = Math.Cos(Direction)

    SL3File.Position = *US + Frame.PositionOfFirstByte
    SL3File.Read(tmpArray, 0I, 2800I)

    Dim i As Integer = 0
    For K As Integer = -1400I To 1400I - 1I
        Dim Sign As Double = If(K < 0#, -1.0#, +1.0#)
        Dim Delta As Double = K * Sign * Stride
        If Delta > Depth + 0.05# Then
            Delta = Math.Sqrt(Delta * Delta - Depth * Depth) * _
                Sign
            Points(i) = New Point(CurrentX + Delta * CosDir,
                CurrentY - Delta * SinDir)
            Zs(i) = tmpArray(K + 1400)
            i += 1
        End If
    Next K

    PointBuffer.Setup(ShapeType.MultipointZ, i)
    PointBuffer.Points = Points
    PointBuffer.Zs = Zs
    PointBuffer.CalculateExtent()

    Row.SetGeometry(PointBuffer)
    Row.SetInteger(2, Frame.GroupID)
    SS_Plan_FC.Insert(Row)
Next l

End Using
End Using

```

```

        SS_Plan_FC.LoadOnlyMode(False)
        SS_Plan_FC.FreeWriteLock()
        SS_Plan_FC.Close()
    End Using
End Sub

Private Sub ExportTerrainToFGDB(<[In], IsReadOnly> ByRef FGDB As Geodatabase,
    <IsReadOnly> TableName As String,
    <IsReadOnly> Optional HeadingType As _
        HeadingType = HeadingType.GNSS,
    <IsReadOnly> Optional LimitAngle As _
        Double = 70.0#)

    Dim IndexList As Integer() = IndexDict(SurveyType.ThreeDimensional).ToArray()
    Dim LeftPoints As New List(Of Point)(IndexList.Length)
    Dim RightPoints As New List(Of Point)(IndexList.Length)

    Using Terrain As Table = FGDB.OpenTable(TableName)
        Terrain.SetWriteLock()
        Terrain.LoadOnlyMode(True)
        Using RowBuffer As Row = Terrain.CreateRowObject()
            Using ShapeBuffer As New MultiPointShapeBuffer

                Dim AngularLimit As Double = LimitAngle / 180.0# * Math.PI
                Dim Frame As FrameClass
                Dim NumberOfRightBytes, NumberOfLeftBytes, NumberOfPoints, _
                    N, k As Integer, ID As Integer
                Dim Direction, Delta, CurrentX, CurrentY, SinDir, CosDir, _
                    Angle, Depth, EOMAAAltitude As Double

                'Dim CSV As New StreamWriter("F:\Pontossag\PROBA3_Jobb.csv")
                'CSV.WriteLine("Distance,Interferometric,Single,Delta")
                'Dim CSV2 As New StreamWriter("F:\Pontossag\PROBA3_Bal.csv")
                'CSV2.WriteLine("Distance,Interferometric,Single,Delta")

                'Dim angler As New StreamWriter("F:\Pontossag\Angle.csv")
                'angler.WriteLine("Angle,Relative")

                For Each i As Integer In IndexList
                    Frame = Frames(i)
                    SL3File.Position = *UI + Frame.PositionOfFirstByte
                    ID = Frame.GroupID

                    Select Case HeadingType
                        Case HeadingType.GNSS
                            Direction = Frame.GNSSHeading
                        Case HeadingType.Magnetic
                            Direction = Frame.MagneticHeadnig
                        Case HeadingType.RouteBased
                            Direction = Frame.RouteBasedHeading
                    End Select

                    SinDir = Math.Sin(Direction)
                    CosDir = Math.Cos(Direction)
                    CurrentX = Frame.CalculatedX
                    CurrentY = Frame.CalculatedY
                    EOMAAAltitude = Frame.EOMAAAltitude

                    Dim tmpArray(Frame.TotalLength - 167US) As Byte
                    SL3File.Read(tmpArray, 0I, Frame.TotalLength - *I)

                    NumberOfRightBytes = ToInt32(tmpArray, *I)
                    NumberOfLeftBytes = ToInt32(tmpArray, *I)
                    NumberOfPoints = (NumberOfRightBytes + NumberOfLeftBytes) \
                        *I \ 2I
                    If NumberOfPoints < 1 Then Continue For

```

```

Dim Points(NumberOfPoints - 1I - 1I) As Point,
    Zs(NumberOfPoints - 1I - 1I),
    Ms(NumberOfPoints - 1I - 1I) As Double

'Baloldal
For N = * To * - * + NumberOfRightBytes Step *
    Delta = -FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N)
    Depth = (FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N + *I))
    Angle = -Math.Atan2(Delta, Depth)
    If Angle > AngularLimit Then N = * - * +
        NumberOfRightBytes : Continue For '70°
    Points(k) = New Point(CurrentX + Delta *
        CosDir, CurrentY - Delta * SinDir)

    Dim Crr As Double = ((0.064627 * Angle ^
4.3262 + 0.9412) - 0.9412) / (1.094890348 - 0.9412) *
-0.27

    Zs(k) = EOMAAltitude - Depth - 0.296461427# + Crr
'Súlyozott mediánból.

    Ms(k) = If(Angle < RadOf30Deg, '30°
        0.1# + 0.00189998480012159# * Depth *
        ((Delta / Depth) / (Math.Cos(Angle))),
        0.1# + 0.00244978943958535# * Depth *
        ((Delta / Depth) / (Math.Cos(Angle -
        RadOf60Deg))))

    k += 1

    ' angler.WriteLine(Angle & "," & (-Depth / Frame.Depth))

Next N
RightPoints.Add(Points(k - 1))

Dim D As Double = (-FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N + *I))

'Jobboldal
For N = N + * To N + NumberOfLeftBytes - * Step *
'A középső második kimarad
Delta = FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N)
Depth = (FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N + *I))
'+ DepthDelta

Angle = Math.Atan2(Delta, Depth)
If Angle > AngularLimit Then Exit For '70°
'Egyből kiléphetünk, nem kell inkerementálni
Points(k) = New Point(CurrentX + Delta * CosDir,
    CurrentY - Delta * SinDir)

Dim Crr As Double = ((0.064627 * Angle ^ 4.3262 +
0.9412) - 0.9412) / (1.094890348 - 0.9412) * -0.27

Zs(k) = EOMAAltitude - Depth - 0.299341593# + Crr
'Súlyozott mediánból.

Ms(k) = If(Angle < RadOf30Deg, '30°
    0.1# + 0.00189998480012159# * Depth *
    ((Delta / Depth) / (Math.Cos(Angle))),
    0.1# + 0.00244978943958535# * Depth *
    ((Delta / Depth) / (Math.Cos(Angle -
    RadOf60Deg))))

    k += 1
Next N

```

```

        LeftPoints.Add(Points(k - 1))
        ShapeBuffer.Setup(ShapeType.MultipointZM, k)
        'mert nincs közepe, csak egyszer!
        ShapeBuffer.Points = Points
        ShapeBuffer.Zs = Zs
        ShapeBuffer.Ms = Ms
        ShapeBuffer.CalculateExtent()

        RowBuffer.SetGeometry(ShapeBuffer)
        RowBuffer.SetInteger(2, ID)
        Terrain.Insert(RowBuffer)
        k = 0 'Itt van!!!!!!!!!!!!
    Next i

    'angler.Close()
    'angler.Dispose()

    'CSV.Close()
    'CSV.Dispose()
    'CSV2.Close()
    'CSV2.Dispose()
End Using
End Using

Terrain.LoadOnlyMode(False)
Terrain.FreeWriteLock()
Terrain.Close()
End Using

Using Terrain_Limited_Barrier_FC As Table = FGDB.OpenTable(TableName & _
    "_Barrier")
    Terrain_Limited_Barrier_FC.SetWriteLock()
    Using Feature As Row = Terrain_Limited_Barrier_FC.CreateRowObject()
        Using Poly As New MultiPartShapeBuffer()

            Dim FinalPoly(LeftPoints.Count * 2I) As Point
            'Nem kell a -1 a záró pont miatt.
            LeftPoints.Reverse() 'A bal fordul
            RightPoints.CopyTo(FinalPoly)
            LeftPoints.CopyTo(FinalPoly, RightPoints.Count)
            FinalPoly(FinalPoly.Length - 1) = FinalPoly(0)
            'Az utolsó lesz az első

            Poly.Setup(ShapeType.Polygon, 1, FinalPoly.Length)
            Poly.Points = FinalPoly
            Poly.CalculateExtent()
            Feature.SetGeometry(Poly)
            Terrain_Limited_Barrier_FC.Insert(Feature)
        End Using
    End Using
    Terrain_Limited_Barrier_FC.FreeWriteLock()
    Terrain_Limited_Barrier_FC.Close()
End Using
End Sub
Private Sub WriteDescriptionToFGDB(<[In], IsReadOnly> ByRef FGDB As Geodatabase)
    Using Description As Table = FGDB.OpenTable("Description")
        Description.SetWriteLock()
        Description.LoadOnlyMode(True)
        Using Row As Row = Description.CreateRowObject
            Dim First As FrameClass = Frames(0)
            Dim Last As FrameClass = Frames(Frames.Count - 1)

            Row.SetDate(1, First.Timestamp.UtcDateTime)
            Row.SetDate(2, Last.Timestamp.UtcDateTime)

```

```

Row.SetDate(3, Date.Now)
Row.SetString(4, IO.Path.GetFileNameWithoutExtension(SL3File.Name))

SL3File.Position = 0
Using MD5 As New Security.Cryptography.MD5CryptoServiceProvider()
    Dim Data As Byte() = MD5.ComputeHash(SL3File)
    Dim SB As New Text.StringBuilder(32)
    For N As Integer = 0 To Data.Length - 1
        SB.Append(Data(N).ToString("x2"))
    Next
    Row.SetString(5, SB.ToString.ToUpperInvariant)
End Using

Row.SetDouble(6, Last.CumulativeDistance)

Description.Insert(Row)
End Using
Description.LoadOnlyMode(False)
Description.FreeWriteLock()
Description.Close()
End Using
End Sub

Private Sub ExportProductsToFileGDB(<IsReadOnly> path As String,
    <IsReadOnly> Optional HeadingType As _
    HeadingType = HeadingType.GNSS)
    Dim FormattedPath As String = IO.Path.GetFullPath(path)
    If Directory.Exists(FormattedPath) Then Directory.Delete(FormattedPath, True)
    Compression.ZipFile.ExtractToDirectory(ProtoGDBPath, FormattedPath)

    Using FGDB As Geodatabase = Geodatabase.Open(FormattedPath)
        ExportRoutesToFGDB(FGDB)
        'ExportRawSidescanToFGDB(FGDB, HeadingType)
        'ExportPlanCorrectedSidescanToFGDB(FGDB, HeadingType)
        'ExportTerrainToFGDB(FGDB, "Terrain_Full", HeadingType, 110)
        ExportTerrainToFGDB(FGDB, "Terrain_Limited", HeadingType, 110)

        WriteDescriptionToFGDB(FGDB)
        FGDB.Close()
    End Using
End Sub

Private Sub ExperientalSidescanExport(<IsReadOnly> Optional HeadingType As Head-
ingType = HeadingType.GNSS)
    Using TextWriter As New StreamWriter(New FileStream("F:\0.csv", _
        FileMode.Create, FileAccess.Write, FileShare.Read, 4096, _
        FileOptions.WriteThrough))
        TextWriter.Write("ID,X,Y,V" & vbNewLine)
        For Each ThreeDIndex As KeyValuePair(Of Integer, Integer) _
            In ThreeDAndSidescanPairs
            If ThreeDIndex.Value < 0 Then Continue For
            Dim ThreeDFrame As FrameClass = Frames(ThreeDIndex.Key)

            '3D lista
            SL3File.Position = *UI + ThreeDFrame.PositionOfFirstByte
            Dim ID As Integer = ThreeDFrame.GroupID
            Dim DIRECTION As Double

            Select Case HeadingType
                Case HeadingType.GNSS
                    DIRECTION = ThreeDFrame.GNSSHeading
                Case HeadingType.Magnetic
                    DIRECTION = ThreeDFrame.MagneticHeadnig
                Case HeadingType.RouteBased
                    DIRECTION = ThreeDFrame.RouteBasedHeading
            End Select

```

```

Dim SinDir As Double = Math.Sin(Direction)
Dim CosDir As Double = Math.Cos(Direction)
Dim CurrentX As Double = ThreeDFrame.CalculatedX
Dim CurrentY As Double = ThreeDFrame.CalculatedY
Dim EOMAAAltitude As Double = ThreeDFrame.EOMAAAltitude
Dim Delta As Double

Dim tmpArray(3200) As Byte
SL3File.Read(tmpArray, 0I, ThreeDFrame.TotalLength - *I)

Dim NumberOfRightBytes As Integer = ToInt32(tmpArray, *I)
Dim NumberOfLeftBytes As Integer = ToInt32(tmpArray, *I)
Dim NumberOfPoints As Integer = (NumberOfRightBytes + _
NumberOfLeftBytes) \ *I \ 2I
If NumberOfPoints < 1 Then Continue For
Dim N As Integer

'Baloldal
Dim Bal3DMLista As New List(Of Double)(NumberOfLeftBytes \ * \ 2)
Dim Bal3DPontLista As New List(Of PointHelper)(Bal3DMLista.Capacity)
For N = * To * - * + NumberOfRightBytes Step * -
*' + NumberOfLeftBytes - *
    Delta = -FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N)
    Dim Depth As Double = (FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N + *I))
    Dim M As Double = Math.Sqrt(Delta * Delta + Depth * Depth)
    Dim X As Double = CurrentX + Delta * CosDir
    Dim Y As Double = CurrentY - Delta * SinDir
    Dim Z As Double = EOMAAAltitude - Depth
    Bal3DMLista.Add(M)
    Bal3DPontLista.Add(New PointHelper(X, Y, Z))
Next N
Bal3DMLista.Reverse()
Bal3DPontLista.Reverse()

'Jobboldal
Dim Jobb3DMLista As New List(Of Double)(NumberOfRightBytes \ * \ 2)
Dim Jobb3DPontLista _
As New List(Of PointHelper)(Jobb3DMLista.Capacity)
For N = N + * To N + NumberOfLeftBytes - * Step * -
'A középső második kimarad
    Delta = FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N)
    Dim Depth As Double = (FeetToMeter * ToSingle(tmpArray, N + *I))
    Dim M As Double = Math.Sqrt(Delta * Delta + Depth * Depth)
    Dim X As Double = CurrentX + Delta * CosDir
    Dim Y As Double = CurrentY - Delta * SinDir
    Dim Z As Double = EOMAAAltitude - Depth
    Jobb3DMLista.Add(M)
    Jobb3DPontLista.Add(New PointHelper(X, Y, Z))
Next N

'SideScan
Dim SSFrame As FrameClass = Frames(ThreeDIndex.Value)
Dim SSGroupID As Integer = SSFrame.GroupID
Dim Stride As Double = SSFrame.MaxRange / 1400.0#
SL3File.Position = *US + SSFrame.PositionOfFirstByte
SL3File.Read(tmpArray, 0I, 2800I)

'Baloldal: Kintről befelé
Dim BalMaxM As Double = Bal3DMLista(0)
Dim BalMinM As Double = Bal3DMLista(Bal3DMLista.Count - 1) + 0.1

For k As Integer = 1400 To 0 Step -1
    Delta = k * Stride
    If Delta > BalMaxM Then Continue For
    If Delta < BalMinM Then Exit For

```



```

For i As Integer = 0 To Bal3DMLista.Count - 1
    Dim BelsőÉrték As Double = Bal3DMLista(i)
    If BelsőÉrték < Delta Then
        Dim KülsőÉrték As Double = Bal3DMLista(i - 1)
        Dim Arány As Double = (Delta - BelsőÉrték) / _
            (KülsőÉrték - BelsőÉrték)

        Dim KilsőReferenciaPont As PointHelper = _
            Bal3DPontLista(i - 1)
        Dim BelsőReferenciaPont As PointHelper = _
            Bal3DPontLista(i)

        TextWriter.Write(SSGroupID & ", "c)
        TextWriter.Write((BelsőReferenciaPont.X + _
            (Arány * (KilsőReferenciaPont.X - _
                BelsőReferenciaPont.X))).ToString("#.####") & ", "c)
        TextWriter.Write((BelsőReferenciaPont.Y + (Arány * _
            (KilsőReferenciaPont.Y - _
                BelsőReferenciaPont.Y))).ToString("#.####") & ", "c)
        TextWriter.Write(tmpArray(1400 - k) & vbNewLine)
    Exit For
End If
Next i
Next k

'
'Jobboldal Bentről kifelé + egy pont innen hiányzik...)
Dim JobbMinM As Double = Jobb3DMLista(0) + 0.1
Dim JobbMaxM As Double = Jobb3DMLista(Jobb3DMLista.Count - 1)

For k As Integer = 1 To 1400 - 1
    Delta = k * Stride
    If Delta < JobbMinM Then Continue For
    If Delta > JobbMaxM Then Exit For
    For i As Integer = 0 To Jobb3DMLista.Count - 1
        Dim KülsőÉrték As Double = Jobb3DMLista(i)
        If KülsőÉrték > Delta Then
            Dim BelsőÉrték As Double = Jobb3DMLista(i - 1)
            Dim Arány As Double = (Delta - BelsőÉrték) / _
                (KülsőÉrték - BelsőÉrték)

            Dim BelsőReferenciaPont As PointHelper = _
                Jobb3DPontLista(i - 1)
            Dim KülsőReferenciaPont As PointHelper = _
                Jobb3DPontLista(i)

            TextWriter.Write(SSGroupID & ", "c)
            TextWriter.Write((BelsőReferenciaPont.X + _
                (Arány * (KülsőReferenciaPont.X - _
                    BelsőReferenciaPont.X))).ToString("#.####") & ", "c)
            TextWriter.Write((BelsőReferenciaPont.Y + _
                (Arány * (KülsőReferenciaPont.Y - _
                    BelsőReferenciaPont.Y))).ToString("#.####") & ", "c)

            TextWriter.Write(tmpArray(1400 + k) & vbNewLine)
        Exit For
    End If
Next i
Next k
Next
TextWriter.Close()
End Using
End Sub
#End Region

```

```

#Region "Export Tiff products"
Private Sub ExportScansAsTiff(<IsReadOnly> SourceFilePath As String,
                             <IsReadOnly> SurveyType As SurveyType,
                             <IsReadOnly> ExaggerationFactor As Double)

    If SurveyType = SurveyType.ThreeDimensional Then Throw _
    New NotSupportedException("This type of survey is not supported")

    Dim IndexList As List(Of Integer) = IndexDict(SurveyType)
    If IndexList.Count > 1 Then

        Dim Frames As List(Of FrameClass) = MainModule.Frames
        Dim LastIndex As Integer = 0I
        Dim StartIndex As Integer = 0I
        Dim RegPoint As String = "0"
        Dim PathPattern As String = PrepareTiffExportPath(SurveyType, _
        SourceFilePath)
        Dim ArraySize As Integer = ArraySizeList(SurveyType)
        Dim Palette As BitmapPalette = HyperionPalette

        Meta.Keywords = (New List(Of String)(5) From _
        {SurveyType.ToString, "Sonar", "Lowrance", "StructureScan", _
        "StructureScan 3D"}).AsReadOnly

        While LastIndex < IndexList.Count - 1
            Dim Frame0 As FrameClass = Frames(IndexList(StartIndex))
            Dim LastDistance As Double = Frame0.CumulativeDistance
            Dim Nr As Integer = 0I

            For LastIndex = StartIndex + 1 To IndexList.Count - 1
                If Nr >= 255 Then Exit For
                Dim Frame1 As FrameClass = Frames(IndexList(LastIndex))
                If Frame1.MaxRange <> Frame0.MaxRange Then Exit For
                If (Frame1.CumulativeDistance - Frame0.CumulativeDistance) > 1_
                Then Exit For
                Frame0 = Frame1
                Nr += 1
            Next LastIndex
            LastIndex -= 1I

            Dim RowCount As Integer = LastIndex - StartIndex + 1
            Dim Row As Integer = 0

            Dim ImageBuffer As Byte() = New Byte(ArraySize * RowCount - 1I) {}
            For i As Integer = StartIndex To LastIndex
                Dim Frame1 As FrameClass = Frames(IndexList(i))
                SL3File.Position = *UI + Frame1.PositionOfFirstByte
                SL3File.Read(ImageBuffer, ArraySize * Row, ArraySize)
                Row += 1
            Next

            Dim OutPath As String = String.Format(PathPattern, _
            StartIndex.ToString)

            Dim TiffEncoder As New TiffBitmapEncoder()
            Dim TiffStream As New FileStream(OutPath, FileMode.Create, _
            FileAccess.Write, FileShare.None, 4096I, FileOptions.WriteThrough)

            If SurveyType <> SurveyType.Unknown8 Then
                Dim Source As BitmapSource = _
                BitmapSource.Create(ArraySize, RowCount, 96.0#, _
                96.0#, PixelFormats.Indexed8, Palette, ImageBuffer, ArraySize)
                Meta.DateTaken = Frame0.Timestamp.ToString()
                Meta.Title = SurveyType.ToString & " image of " & _
                Path.GetFileNameWithoutExtension(OutPath)
                Meta.Comment = "Source file: " & SL3File.Name & _

```

```

        ". Exported on: " & Date.Now.ToString

        Dim SonarFrame As BitmapFrame = _
        BitmapFrame.Create(Source, Nothing, Meta, _
        TiffEncoder.ColorContexts)
        TiffEncoder.Frames.Add(SonarFrame)

        TiffEncoder.Save(TiffStream)
        TiffStream.Dispose()

        Dim XSize As Double = (Frame0.CumulativeDistance - _
        LastDistance) / (RowCount - 1)
        Dim YSize As Double = Frame0.MaxRange / _
        ArraySize * ExaggerationFactor
        If SurveyType = SurveyType.SideScan Then RegPoint = _
        (YSize * 1400.0#).ToString()

        Dim Insert As String = $"0{vbNewLine}{-YSize}_
        {vbNewLine}{XSize}{vbNewLine}0{vbNewLine}_
        {LastDistance}{vbNewLine}{RegPoint}"

        File.WriteAllText(Path.ChangeExtension(OutPath, ".tfw"), _
        Insert, ASCII)
        File.WriteAllBytes(Path.ChangeExtension(OutPath, _
        ".tif.aux.xml"), SideScanStatisticsPAMBytes)
    Else
        TiffEncoder.Frames.Add(
            BitmapFrame.Create(
                BitmapSource.Create(ArraySize \ 2, RowCount, 96.0#, 96.0#,_
                PixelFormats.Gray16, BitmapPalettes.Gray256, _
                ImageBuffer, ArraySize))

            TiffEncoder.Save(TiffStream)
            TiffStream.Dispose()
    End If

    StartIndex = LastIndex + 1
End While
End If
End Sub
#End Region

#Region "Entry Point of the Module"

Friend Sub Main()
    Dim SourceFilePath As String = GetSourceFilePath()
    Console.OutputEncoding = Text.Encoding.UTF8
    Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Red
    Console.WriteLine(vbNewLine & vbNewLine & Path.GetFileNameWithoutExtension(SourceFilePath))
    Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Gray
    Console.WriteLine(Date.Now.ToString & vbNewLine)
    Try
        Dim OutputGDB As String = Path.ChangeExtension(SourceFilePath, ".gdb")

        Console.WriteLine(vbTab & "Inicializáció...")
        If Not InitFrames(SourceFilePath, AntennaHeight) Then Exit Try
        Console.WriteLine(vbTab & "Sikeres inicializáció!")

        ExportBottomProfile(Path.Combine(Path.GetDirectoryName(SourceFilePath), _
        Path.GetFileNameWithoutExtension(SourceFilePath) & "_Profile.txt"), _
        10.0#)

        Console.WriteLine(vbTab & "Side-scan...")
        ExportScansAsTiff(SourceFilePath, SurveyType.SideScan, _

```

```

ScanProductExageration)
Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Green
Console.Write(" Rendben!" & vbNewLine)
Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Gray

Console.Write(vbTab & "Down-scan...")
ExportScansAsTiff(SourceFilePath, SurveyType.DownScan, _
ScanProductExageration)
Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Green
Console.Write(" Rendben!" & vbNewLine)
Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Gray

Console.Write(vbTab & "Primary-scan...")
ExportScansAsTiff(SourceFilePath, SurveyType.Primary, _
ScanProductExageration)
Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Green
Console.Write(" Rendben!" & vbNewLine)
Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Gray

''Console.Write(vbTab & "U8...")
''ExportScansAsTiff(SourceFilePath, SurveyType.Unknown8, 0)
''Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Green
''Console.Write(" Rendben!" & vbNewLine)
''Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Gray

''Console.Write(vbTab & "U7...")
''ExportScansAsTiff(SourceFilePath, SurveyType.Unknown7, 0)
''Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Green
''Console.Write(" Rendben!" & vbNewLine)
''Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Gray

GC.Collect()

Console.Write(vbTab & "Geoadatbázis export...")
ExportProductsToFileGDB(OutputGDB, HeadingType.RouteBased)
Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Green
Console.Write(" Rendben!" & vbNewLine)
Console.ForegroundColor = ConsoleColor.Gray

Console.WriteLine("Kész! (" & _
& Path.GetFileNameWithoutExtension(SourceFilePath) & ")")
Console.WriteLine()
Console.Beep(500, 100)
Console.Beep(300, 100)
Finally
ResetReaderAndFrames()
End Try
End Sub
#End Region
End Module

```

