

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Informatikai Kar

Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

Autonóm vízi járművek alkalmazása batimetriai mérésekhez

DIPLOMAMUNKA

Készítette: Gáncs Dániel, térképész mesterszakos hallgató

Témavezetők: Márton Mátyás, egyetemi tanár

Mészáros János, doktorandusz

Budapest, 2012

Tartalomjegyzék

1. Előszó	3
2. A batimetria meghatározása	6
3. A batimetriai mérések alapjainak, valamint eszközeinek áttekintése	13
3.1. A szondázás alapjai	13
3.2. A hanghullámok terjedése a vízben	15
3.3. Zajforrások	17
3.4. A jelátalakító (traduktor)	19
3.5. A hajó mozgása és dőlése	21
4. A hajó megépítése	26
4.1. A célok megfogalmazása	26
4.2. A szonda: SyQwest HydroBox	26
4.3. A számítógépes rendszer	30
4.4. A GPS vevő: Stonex S9 II	30
4.5. Az inerciális egység (IMU): Kongsberg MRU-Z	31
4.6. A hajótest: katamarán	32
4.7. A távirányítású katamarán	38
4.8. Az autonavigáció	41
5. A hajó tesztelése	42
5.1. A helyszín: Puerto Deportivo Club Náutico de Ribadeo	42
5.2. A mérés és az adatok feldolgozása a Hypack programmal	43
5.3. Az adatok megjelenítése a Global Mapper programmal	46
5.4. Az adatok megjelenítése az IDRISI Taiga szoftverrel	49
6. Összefoglalás, zárszó	53
7. Köszönetnyilvánítás	54
8. Irodalomjegyzék	54

1. Előszó

Egyetemi tanulmányaim befejezése előtt megadatott nekem a lehetőség, hogy a Magyarországon elsajátított ismeretek mellett, az Erasmus program keretein belül, előbb a Baszkföldi Egyetemen tölthessek el egy szemesztert, majd szakmai gyakorlatként további három hónapot dolgozhassak egy galíciai magáncégnél. E szakmai gyakorlat alatt lehetőségem volt megismerkedni a modern topográfia eszköztárával, beleértve a szárazföldi, légi és vízi mérésekre alkalmas műszereket, ezért igyekeztem minden lehetőséget megragadni, hogy elsajátítsam a Magyarországon nehezebben elérhető műszerekkel és technológiákkal kapcsolatos ismereteket.

Ezek közül a hagyományos szárazföldi felmérési eszközök, mint például a GPS és a mérőállomás hazánkban is általánosan alkalmazott eszközök, ahogyan a légi fényképezés is. Bár a Nyugat-Európában egyre inkább elterjedő, kisebb méretű, elsősorban kisebb kiterjedésű területek légi fényképezéséhez használt UAV (Unmanned Aerial Vehicle) rendszerek, amelyekhez valamilyen szinten a szakdolgozatom kapcsolódik, a magyar piacon egyelőre még csak kis mértékben vannak jelen. Ennek oka elsősorban a professzionális rendszerek viszonylag magas vételára és üzemeltetési költsége. Meglátásom szerint a piac folyamatos bővülése okozta árverseny, valamint a professzionális termékek színvonalát fokozatosan megközelítő nyílt forráskódú rendszerek további fejlődésével ezek az eszközök is egyre inkább meg fognak jelenni a hazai cégek eszköztárában.

Ugyanakkor hazánk földrajzi helyzetének, valamint az utóbbi száz év eseményeinek következtében Magyarországnak jelenleg nincs kijárata a világtengerre, tengerpart híján az óceánokkal és a tengerekkel kapcsolatos földrajzi és térképészeti ismeretek az elmúlt kilencven év alatt fokozatosan kiestek a tudományos érdeklődés középpontjából (Márton, 2010.). Ugyanez sajnálatosan elmondható a fentebb említett tudományterületek tudományos eredményeinek alapját képező közvetlen hidrográfiai és batimetriai mérési eredményekre is. Elmondhatjuk, hogy a vizekhez kapcsolódó tudományos, valamint mérnöki célú felmérések terén Magyarország az európai átlag alatt teljesít, bár a rendszerváltás utáni időszakban pozitív tendencia figyelhető meg e téren.

Mivel spanyolországi gyakorlatom alatt volt lehetőségen alaposabban megismerkedni a batimetriai mérési technológiákkal is (a Cartogalicia S. L., illetve partnercége, a Topcad S. L. is végez ilyen munkákat), így a számomra „egzotikusnak” számító eszközök iránt különleges érdeklődést mutattam. Lehetőségem volt részt venni bizonyos, batimetriához kötődő megrendelések teljesítésében, amelyek alatt elsajátíthattam a műszerekhez és szoftverekhez kapcsolódó alapvető ismereteket, valamint azok alkalmazását.

A batimetriai méréseket a cég egy *többsugaras mélységmérő szondával*, valamint professzionális helymeghatározó rendszerekkel (*RTK GPS, IMU – Inertial Motion Unit*), illetve az ezek vezérléséhez szükséges számítógéppel és szoftverekkel felszerelt, Manta Fisher típusú hajóval végzi. Kijelenthető, hogy ezek a felszerelések a jelenleg elérhető legnagyobb precizitást teszik lehetővé mind vízszintes, mint magassági (azaz mélységi) értelemben, valamint a többsugaras szonda, jellemzőiből adódóan, jelentősen megrövidíti a munkavégzés idejét.

A rendszernek ugyanakkor vannak bizonyos hátrányai, az első (és talán legfájóbb), az ára. Egy hasonló konfiguráció megvásárlása és üzembe helyezése több mint 200 000 eurós költség, ehhez adódik még a műszerek esetleges javítása és időközönkénti kalibrációja, ami további súlyos összegeket emészt fel.

Továbbá a hajó mobilitása is korlátozott, kisebb távolságra való szállításához egy utánfutó és legalább egy dízel pickup szükséges, a vízre tételhez olykor egy kikötői, vagy mobil darut kell igénybe venni, ami szintén plusz kiadást jelent. Természetesen ezek a kiadások a megrendelőknek benyújtott számlán is megmutatkoznak, ami a jelenlegi, válság sújtotta Spanyolországban koránt sem kívánatos.

A hajó méreteiből és merüléséből eredő további hátrány, hogy a rendszer alkalmatlan nagyon sekély (1–2 méternél sekélyebb) vizek felmérésére, valamint a benzinüzemű meghajtás miatt a védett vizeken tiltott a használata. Erősen szennyezett vizeken a hajón jelen lévő, működtetéshez szükséges kétfős személyzet jelent korlátozó tényezőt.

Az utóbbi két probléma áthidalására napjainkban egyre-másra jelennek meg a piacon a kisméretű, egyszerűbb, de kisebb tömegű műszerekkel felszerelt távirányítású

hajók, ám ezek ára fejlettségüktől függően akár a már említett többsugaras rendszerek árát is elérheti, de még az egyszerűbb konfigurációk ára is 40–50 000 euró körül mozog.

Mérlegelve a lehetőségeket, arra az elhatározásra jutottunk, hogy belevágunk egy saját készítésű, a már meglévő UAV eszköztár kiegészítéseként egy USV (Unmanned Surface Vessel) építésébe, amely alkalmas nehezen megközelíthető, kis mélységű, illetve védett vizek felmérésére, és az ára kedvezőbb konkurens termékekénél.

Diplomamunkám gerincét e hajó megépítése, a működéséhez szükséges alkatrészek és műszerek ismertetése, valamint gyakorlati alkalmazása és a mért eredmények felhasználása adja, kiegészítve a batimetria ismertetésével.



1. ábra: Evologics Sonobot, a kategória csúcsa

2. A batimetria meghatározása

A „batimetria” szó görög eredetű, a bathus (mélység) és a metron (mérés) szavak összetételéből keletkezett (Wikipedia). A magasságmérés víz alatti megfelelője, azaz az óceánok, illetve egyéb vízfelületek mélységével foglalkozó tudomány. Adatokat szolgáltató tudományos, valamint navigációs célú térképek és adatbázisok készítéséhez, valamint építkezési munkálatok előkészítéséhez is.

A batimetria magában foglalja az óceánok és tengerek térképezését a mélységadatok alapján, a vízmélység, hasonlóan a szárazföldi topográfiai térképekhez, a földrajzi koordináták függvényében kerül ábrázolásra. A leggyakoribb ábrázolási forma kis méretarányokban a mélységvonalas ábrázolás, amelynek lényege, hogy az azonos mélységű pontokat mélységvonalakkal (izobát) összekötve ábrázoljuk. Ezt az ábrázolási formát egészítheti ki a rétegszínezés, illetve a kótált pontok. Nagyobb méretarányokban inkább a mélységvonalak és a kótált pontok szerepe jelentősebb, természetesen nagyobb adatsűrűség mellett. Nem szabad elfeledkeznünk a digitális formában megjelenő adatbázisokról sem, ebből az adathalmazból előállítható a fentebb említett térképtípusok bármelyike, vagy akár egy digitális domborzatmodell.

Az első tengeri mélységmérésre utaló feljegyzés Poszeidóniosztól (i.e. 135—51) maradt ránk. E szerint Szardínia közelében megmérték a víz mélységét, és az méterre átszámítva 1800 m-nek adódott. A mérési eljárást sajnos nem ismerjük (Klinghammer I.—Papp-Váry Á., 1983).

A tengerfenék vizsgálata a nagy földrajzi felfedezések korában, hajózás fellendülésének hatására került előtérbe, de a technikai korlátok miatt elsősorban a partok, partközeli vizek, folyók és torkolatok mérésére, feltérképezésére szorított ennek szükségességét elsősorban a biztonságos hajózás megteremtése volt.

Az első világháború végéig a víz mélységének mérése csupán direkt módon volt lehetséges, egy kötélre kötött súly segítségével. A földrajzi koordináták megállapítása hátrametszéssel történt, a parton látható jellemző tárgyak segítségével (Márton, 2010). Ez a módszer rendkívül időigényes, ami kisebb adatsűrűséget tesz lehetővé, továbbá a pontosság sem kielégítő, mivel nehéz meghatározni, hogy a súly mikor éri el a vízfeneget. Az áramlások el is mozdíthatják a súlyt, ami hibás, megnövekedett mélységérték megállapításához vezet.

Térképészeti szempontból fontos az első mélységvonalakat tartalmazó térkép, amely Pieter Bruinss munkája és a Spaarne folyó torkolatát ábrázolja. A kéziratos térkép 1584-ben jelent meg.

Szintén jelentős Pierre Ancelin 1697-ben született, a Maas folyó Rotterdam és a tenger közötti szakaszát ábrázoló térképe. (Márton, 1985)

Az 1725-ben megjelent, a Marsigli által készített, a franciaországi Oroszlán-öböl mélységviszonyait bemutató térkép talán az első, amely egy nagyobb területet ábrázol, valamint az első ismert mélységvonalat tartalmazó térkép, amely nyomtatásban is megjelent (Márton, 2005).

Nathaniel Blackmore angol tengerésztiszt 1715-ben megjelent Új-Skócia partvidékét ábrázoló kéziratos térképe a legkorábbi próbálkozás az izobátok tengeri térképen való alkalmazására, e módszer kiforrottabb példája a Nicholas Samuel Cruquius által szerkesztett, 1730-ban megjelent, a Merwede folyó torkolatát 1:10 000 méretarányban ábrázoló térkép (Márton, 1985).

Philippe Buache La Manche térképe 1737-ben került a Francia Tudományos akadémia elé, ennek melléklete tartalmazza a csatorna tengelyvonalának metszetét. A térkép 1752-ben nyomtatásban is megjelent (Márton, 1985).

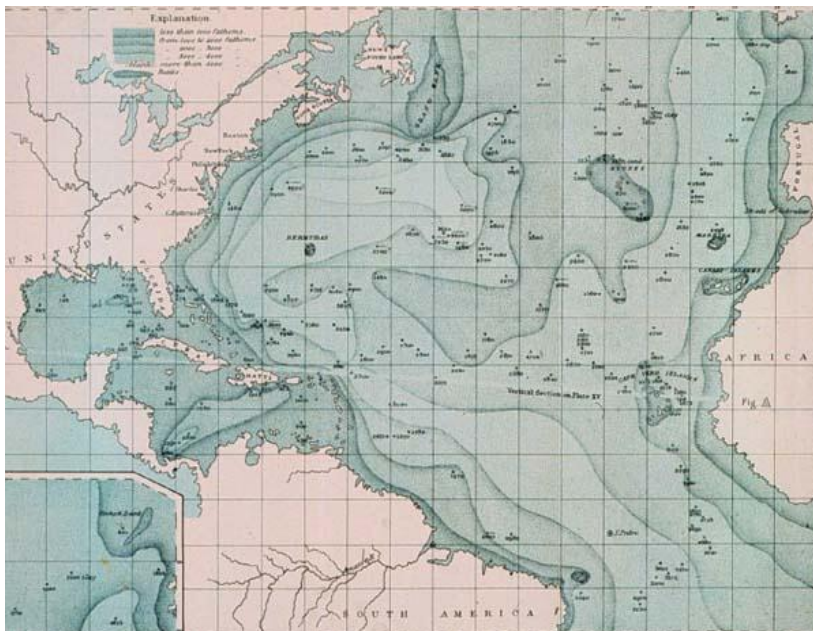
A sekély tengerrészek feltérképezéséhez hasonlóan, a gazdasági szükségszerűségek által jött létre és indult fejlődésnek a mélytengeri batimetria, a víz alatti kábelfektetések megkövetelték a tengerfenék, valamint a tengerfeneket borító üledék tulajdonságainak ismeretét. Az első víz alatti kábelt 1846-ban, Porthmouth kikötőjében, az első tengeri kábelt 1851-ben fektették le, Calais és Dover között. Az első kontinenseket összekötő víz alatti kábel 1857-ben épült ki az olaszországi Cagliari és az algériai Bonne (ma Annaba) között (Márton, 1985).

Az első sikeres *mélytengeri mérést* Sir James Clark Ross, angol sarkkutató végezte 1840. január 3-án, az Atlanti-óceán déli részén (27°26' szélesség, 17°29' hosszúság). Érdekes, hogy ennek értékét (4435 m) ma is helyesnek tartják.

Jelentős előrelépést jelentett az amerikai haditengerészet hadnagyának, John Mercer Brooke-nak 1953-ban bemutatott találmánya, amely egyszerre jelentett megoldást a mélység pontos mérésére, valamint az üledék anyagának mintavételezésére.

Ez az eszköz a korábbiakhoz képest egyszerűbbé tette a víz alatti kábelek nyomvonalának felmérését, így gyorsan elterjedt, és 1865-ben O. H. Berrymann már alkalmazta az észak-atlanti távírókábel tervezésénél. Ezt a munkát Joseph Dayman megismételte a következő évben, majd 1960-ban Leopold McClintock egy másik nyomvonalat is felmért Anglia, Izland és Newfoundland között (Márton, 1985).

A szondázások a mérnöki munkák mellett fokozatosan megjelentek a kimondottan tudományos célú hidrográfiai kutatásokban is, Thomas Abel B. Spratt kapitány a Földközi-tengeren végzett kutatásaihoz használt kiegészítésként mért mélységadatokat, az Indiai-óceánon pedig 1858-ban W. J. S. Pullen kapitány végzett szondázásokat (Márton, 1985).



2. ábra: Maury: Az Észak-Atlanti-medence mélységtérképe

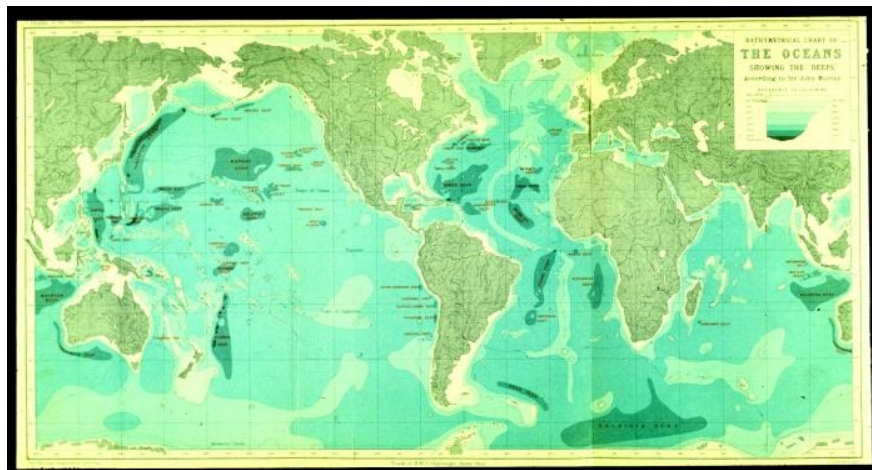
Matthew Fontaine Maury (akinek a már említett Brooke volt az asszisztense) 1854-ben megszerkesztette az első mélységvonalas térképet, ami egy egész óceáni medencét ábrázol, ennek címe: Az Észak-Atlanti-medence mélységtérképe. A

térkép az 1000, 2000, 3000, valamint 4000 öl mélységértékű kontúrvonalakat ábrázolja rétegszínezéssel kiegészítve. Elkészítéséhez körülbelül 200 mért mélységadat állt rendelkezésére, ami az ábrázolt terület kiterjedéséhez képest elenyésző. A mű 1855-ben jelent meg “The Physical Geography of the Sea” című könyvében, amely a modern oceanográfia első kézikönyvének számít (Márton, 1985).

A HMS Challenger hajó 1872-ben megkezdett, 4 éven át tartó világkörüli expedíciója ugyancsak jelentős fejezet a tengerkutatásban. Korának legmodernebb műszereivel felszerelve a hajó legénysége több, mint 360 mélységmérést és anyagmintavételt végzett a világ óceánjain, északon és délen egyaránt kb. 60°

szélességig, mintegy 130 000 kilométert megtéve. A küldetés a jelentős anyagi befektetés ellenére továbbra is csak kb. 360 pontban szolgáltatott mélységértékeket az óceánok és tengerek aljzatáról, melynek teljes kiterjedése körülbelül 350 millió négyzetkilométer. Ugyanakkor a korábbi mérési adatokkal kiegészítve nagyban elősegítette a korábban ismeretlen területek feltérképezését, valamint nagyobb kiterjedésű felszínformáinak behatárolását (Márton, 1985).

Az első világháborúig bezárólag még számos, a jelentősebb tengeri nemzetek által finanszírozott tengerkutató expedíció indult, az 1910-es évekre már több, Föld teljes óceánfelületét átfogó, színes térképmű jelent meg, például Sir John Murray: Bathymetrical charts of the oceans, showing the “deeps” c. 1912-ben kiadott térképe, de német oceanográfusok, Gerhard Schott, valamint Max Groll is szerkesztettek hasonló térképeket (Márton, 1985).



3. ábra: Sir John Murray: Bathymetrical charts of the oceans, showing the “deeps”

Ezek a térképek továbbra is a „jól bevált” mérési eljárásokon alapultak, azaz a kenderkötélen, illetve a későbbiekben acél zongorahúron leeresztett súlyok segítségével határozták meg a vízmélységet.

A direkt mérési módszerek hátrányainak kiküszöbölésére eközben már folytak kutatások, amelyek olyan mérési technológiák kifejlesztésére irányultak, amik a tengervíz fizikai paramétereinek a mélységgel való változására épülnek. Kísérleteztek a tengervíz nyomásán (Thomson), összenyomhatóságán (Regnald), elektromos vezetőképességén (Siemens), a tengerbe hatoló fény visszaverődésén (Burns) alapuló készülékekkel (Koch N., 1960). Ezek a módszerek a gyakorlatban nem váltak be, többek között azért, mert a folyamatos mélységmérést nem lehetett megvalósítani velük,

és többnyire csak kisebb mélységeken való mérésre voltak alkalmasak (Márton, 1985). Ezen kívül továbbra is megoldásra várt a nyílt tengeren való pontos helymeghatározás problémája.

A megoldást a víz hangvezető és a tengerfenék hangvisszaverő képességén alapuló reflexiós mélységmérés kifejlesztése jelentette. Alexander Behm német fizikus 1919-ben megszerkesztette az ezen az elven működő készülékét, amely az „Echolot” nevet kapta. Az alapelv szerint a hullám kibocsátása után egy adott sebességgel elér egy objektumot, majd arról visszaverődve visszaérkezik a műszerhez. A kibocsátás és a beérkezési idő mérésével, valamint a hullám terjedési sebességének ismeretében meghatározható a visszaverő objektum távolsága (Márton, 1985). Érdekesség, hogy a hanghullámokat eredetileg a jéghegyek észlelésére kívánta felhasználni (a Titanic 1912. évi katasztrófája után), ám a kísérletek során erre a célra alkalmatlannak bizonyult az eszköz, mivel a jéghegyek felszínéről csak kis mértékben verődtek vissza a hullámok. Viszont a tengerfenék detektálására kiválóan megfelelt, így megszületett az első hang alapú mélységmérő műszer, amely a ma használatos rendszerek őseinek tekinthető.

A későbbi kutatásoknak már ezek a rendszerek is szerves részét képezték, mivel a közvetlen mérési módszereknél nagyságrendileg gyorsabb adatnyerés tettek lehetővé, ugyanakkor a tengerfenék anyagáról nem tudtak információt szolgáltatni, így erre a célra továbbra is a már bejáratott közvetlen módszereket kellett alkalmazniuk a szakembereknek.

A két háború közötti kutatásokban rendkívül fontos szerepet töltött be a Meteor hajó Német Atlanti Expedíciója. Ennek során az Atlanti-óceán déli medencéjében, a 20–63° szélességi körök által határolt területen, egymástól 700 km távolságban 14 keresztzelvényt mértek fel. Új rendszerű mélységmérővel az eddig összesen rendelkezésre álló mélységadat sokszorosát, mintegy 67 000 mélységadatot mértek, a mért adatok felhasználásával készítették Theodor Stocks és Georg Wüst 1935-ben az 1:20 000 000 méretarányú mélységvonalas térképüket (Márton, 1985.).

Az újabb háború a SONAR (**SO**und **NA**avigation and **R**anging) rendszerek újabb alkalmazási lehetőségét hozta felszínre: korlátozott mértékben, de alkalmas volt a víz alatt lopakodó tengeralattjárók detektálására, megkönnyítve így az ellenük való védekezést.

A háború sajnálatos módon visszavetette a tengeri kutatásokat is, a korábbi kutatások csak nehezen, főként az 50-es években indultak újra, viszont az automatikus kiíró berendezés, az echográf megjelenésével ismét nagymértékben egyszerűsödött és gyorsult a mélységmérés folyamata (Márton, 1985).

A következő évtizedekben technika fejlődése jótékony hatással volt a helymeghatározás pontosságára, a kezdeti rádió alapú globális helymeghatározó rendszereket (Omega, Loran-C) később a nagyobb pontosságot biztosító műholdas rendszerek (GPS) váltották fel. A mélységmérés minősége is tovább javult, mind a mérhető maximális mélység, mind a mérés pontossága, valamint a gyorsaság terén. Ezekkel az eszközökkel már lehetővé vált a korábbiakhoz képest nagyobb adatsűrűségű és pontosságú profilok mérése, de a profilok közötti területről továbbra sem rendelkeztek információval a szakemberek.

A következő jelentős fejlesztés a tengerfenék területszerű felmérése, szemben a korábbi pontszerű mérésekkel. A 60-as évektől elérhetők az oldalra néző, ún. Side-scan sonarok, de ezek nem alkalmasak nagy mélységek mérésére.

A 70-es években megindult a többsugaras (Multi-beam) rendszerek fejlesztése, amelyek lényege, hogy a korábbi egy kibocsátott, majd érzékelt sugár helyett több, a hajó hossz tengelyére merőlegesen, legyező alakban elhelyezett jelátalakítók párhuzamosan szolgáltatnak adatokat a hajó alatti fenékrészletről (Wikipedia). Ezek a rendszerek természetesen jóval költségesebbek a hagyományos, egysugaras rendszereknél, egyrészt bonyolultabb felépítésük miatt, másrészt a használatukhoz szükséges összetettebb helymeghatározási rendszer miatt.

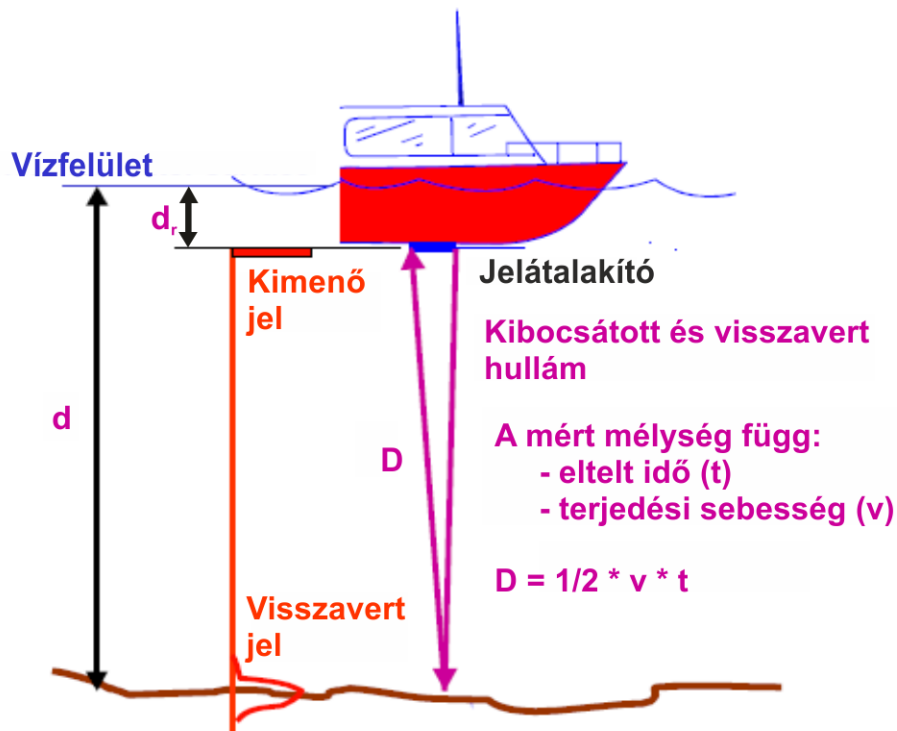
Érdemes megemlíteni a többfrekvenciás rendszereket, amelyek kettő, vagy több különböző frekvencián képesek egyszerre, vagy „osztott üzemmódban“, felváltva mérni, így a különböző hangfrekvenciák előnyös tulajdonságait (a magasabb frekvencia nagyobb pontosságot, az alacsonyabb nagyobb mélységet eredményez) egyszerre képesek garantálni.

A mai, modern rendszerek a korábbiakkal ellentétben már digitálisan vezéreltek, valamint az adatrögzítés is digitálisan történik, így az adatok utófeldolgozása, valamint egyéb célokra való felhasználása az analóg rendszereknél lényegesen egyszerűbb.

A hajókra szerelt műszerek mellett már megjelentek a speciálisan víz alatti mérésekre fejlesztett LIDAR (lézer) rendszerek, amelyek minden korábbi módszernél lényegesen gyorsabb adatnyerést tesznek lehetővé, bár nagy mélységek felmérésére a szonároknál jóval kevésbé alkalmasak, használatuk általában 50–100 méter mélységig lehetséges (USACE 2002).

3. A batimetriai mérések alapjainak, valamint eszközeinek áttekintése

3.1. A szondázás alapjai



4. ábra: Akusztikus mélységmérés

A hanghullámokkal ellentétben az elektromágneses hullámok bár vákuumban és levegőben kiválóan terjednek, víz alatti használatra alkalmatlanok. Az akusztikus mélységmérés az idő mérésén alapul, ami a hanghullám kibocsátása, majd a visszaverődés utáni észlelése között eltelik (t). Fontos szem előtt tartanunk, hogy a mért eredmény (D) minden esetben a jelátalakítótól mért távolságot jelenti, a valódi távolság (d) számításához ismernünk kell a jelátalakító távolságát referencia vízfelülethez képest (d_r). Ezen paraméterek meghatározása természetesen minden esetben magában hordoz valamilyen szintű bizonytalanságot, ami a végeredmény pontosságára kihat.

A távolság számításához elengedhetetlen pontosan ismerünk a hanghullámok terjedési sebességét (v) mindenkor jelátalakító alatti vízoszlop (a teljes víztömegnek ez

a része szolgál az aktuális mérés pillanatában közegként) teljes magasságában. A levegő elektromágneses hullámokra gyakorolt hatása (amely elsősorban a klasszikus topográfiát érinti), bár függ a hőmérséklettől, szélsőséges esetekben sem produkál jelentős eltérést. Ezzel szemben a hanghullámok terjedési sebessége a vízben 1400–1600 m/s között változhat (25°C hőmérsékletű tiszta vízben az értéke 1497 m/s), emiatt az érték hibás ismerete már kisebb mélységek esetében is rendkívül nagy hibát eredményez. Mértékét befolyásolja a víz kémiai összetétele, azaz a só és egyéb lebegtetett üledéktartalma (0,1%~1m/s), valamint a hőmérséklete (1°C~4m/s). A mérést nehezíti, hogy ezek a paraméterek földrajzi helytől függően már kis területen belül is változhatnak, főként igaz ez a folyótorkolatok környékére, ebben az esetben indokolt a gyakori mintavétel. A mérésben résztvevő vízoszlopon belül a mélység függvényében is mutathat eltéréseket a terjedési sebesség értéke, ezt célszerű átlagolt értékkel kiküszöbölni. Sekély vizeken való mérés esetén a terjedési sebesség általában nem mutat jelentős kilengéseket, így értéke földrajzi helytől és mélységtől függően állandónak tekinthető. Mérése általában erre a célra készített műszerrel történik (HB Manual, 2006).

Problémát okoz a d_r értékének számítása, mivel a hullámozás hatása miatti emelkedés (“heave”) következtében a hajó és a ráerősített traduktor helyzete folyamatosan változik az állandó referencia szintfelülethez képest, e távolság változása a korrigált mélységérték számításakor a hullámozás mértékének megfelelő ingadozást eredményez. Korrigálása lehetséges átlagolással, de ez részletgazdag tengerfenék esetén adatvesztést eredményez. Költségesebb, de nagyobb pontosságot jelentő megoldást jelent egy RTK GPS vevő használata, ami a vízszintes koordináták meghatározásának jelenleg legmegbízhatóbb módja (~1 cm), valamint a magassági érték (és annak változása) is viszonylag nagy pontossággal mérhető (~2 cm). A többsugaras rendszereknél alkalmazott inerciális szenzorok (IMU) bizonyos típusai szintén képesek mérni az emelkedést, de ezek pontossága sem haladja meg az “RTK-Heave” szintjét.

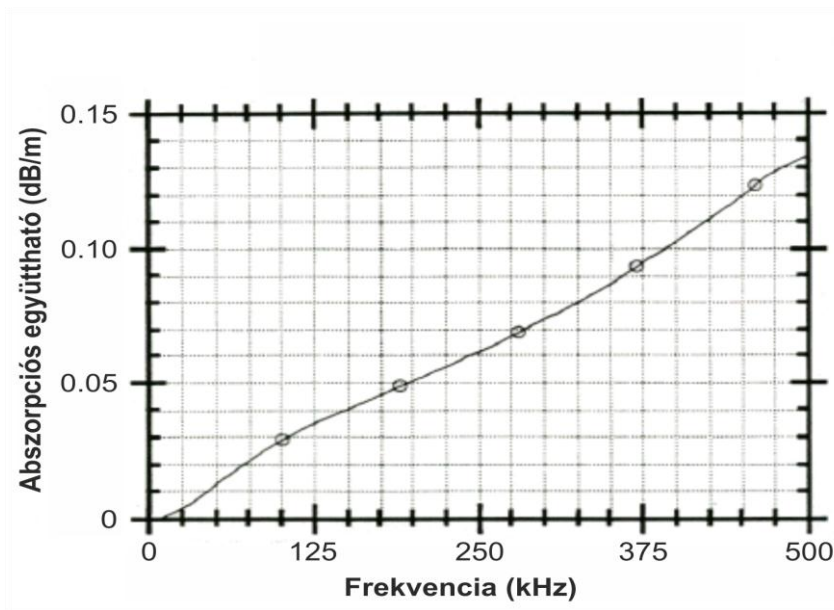
3.2. A hanghullámok terjedése a vízben

A dolgozatnak nem célja a témakör fizikai szempontból mélyreható tárgyalása, ugyanakkor a rendszer alapvető szinten való használatához szükséges, hogy legalább minimális ismereteink legyenek annak működési elvéről.

A tenger, beleértve és kihangsúlyozva annak határfelületeit, rendkívül bonyolult közeget jelent a hang terjedése szempontjából. A hanghullám kölcsönhatása a víz különböző összetevőivel, valamint a határfelületekkel, a jel gyengülését, illetve interferenciát okoz. A hullámterjedést befolyásoló két legfontosabb tényező a terjedés és a csillapítás általi veszteség (USACE 2002).

A kibocsátott hanghullám a vízben minden irányban, gömb alakban terjed, ugyanakkor a kibocsátáskor a jelátalakító egységnyi energiát küld a vízbe. Ahogy az impulzus az idő előrehaladtával egyre távolodik a jelátalakítótól, a képzeletbeli gömb felszíne egyre nő, a kezdeti egységnyi energia így egyre nagyobb felületen oszlik el. Általánosságban a jelerősség a megtett távolság függvényében a távolság négyzetével fordítottan arányosan változik. Ez a modell természetesen erősen idealizált, könnyen belátható, hogy a határfelületekhez érve a gömb alakú terjedés nem tartható és a hang terjedési sebességének helytől függő változását sem vettük figyelembe. (<http://www.dosits.org/science/advancedtopics/spreading/>).

Szintén jelveszteséget okoz a hanghullámok kölcsönhatása a közeggel és a hullámok útjába kerülő tárgyakkal, alapvetően három formában: elnyelődés, szóródás, visszaverődés. Az elnyelődés végbemegy egyrészt a közegben: a hullámok és a vízmolekulák kölcsönhatása során az energia hővé alakul. E veszteség mértéke megközelítőleg egyenesen arányos a frekvencia változásával: alacsonyabb frekvenciák esetén kisebb a veszteség (50 kHz ~ 0,014 dB/m), míg magasabb frekvencia esetén a gyengülés erőteljesebb (500 kHz ~ 0,14 dB/m). E tény ismerete rendkívül fontos a megfelelő jelátalakító kiválasztása szempontjából (HB Manual, 2006).



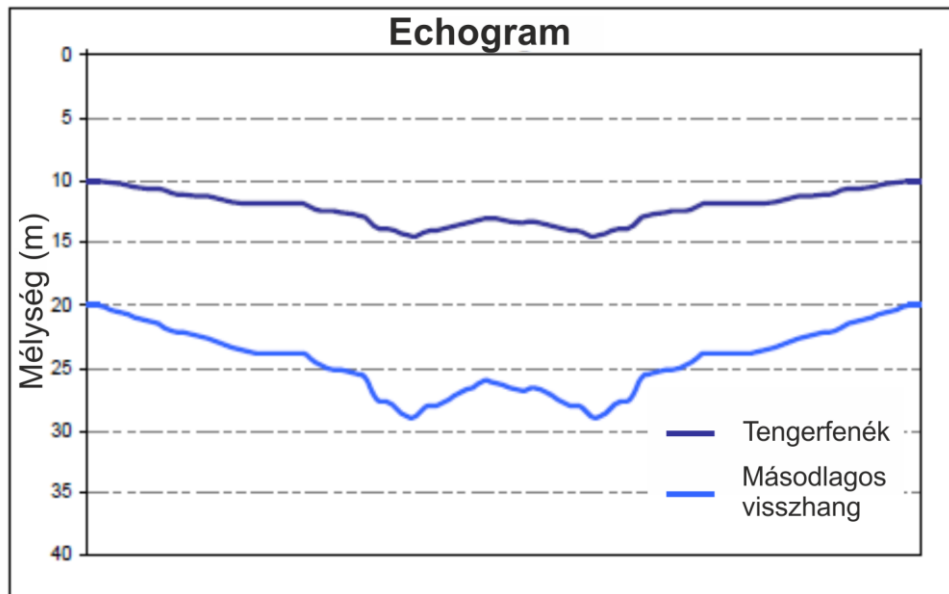
5. ábra: Az abszorpciós együttható a frekvencia függvényében

A tengerfenékről visszaverődő hullám szintén jelentős energiaveszteséget szenved. Ennek egy része szóródás, másrészt a hang egy része behatol az új közegbe, majd ott teljes elnyelődéséig folytatja útját. Az utóbbi jelenség jár nagyobb veszteséggel, mértéke széles skálán mozog a tengerfenék anyagának, a hanghullámok frekvenciájának, valamint a hullám beesési szögének függvényében. Kemény anyagú tengerfenék esetén (sziklák) a veszteség alacsonyabb, mint lazább üledékek esetén (USACE, 2002).

A vízben levő buborékokkal, szerves, valamint egyéb lebegtetett anyagokkal találkozva a hanghullám szóródhat, az energia egy része visszaverődik, a maradék rész pedig bármely irányban folytathatja útját. Ez a gyakorlatban a jelerősség csökkenését eredményezi, ami megnehezíti a tengerfenék helyzetének pontos meghatározását. A tengerfenék előtt képződő „visszaverődések” zajt okozhatnak a mérési eredményekben, szélsőségesen „jó” visszaverődések esetén az eredmény akár a tengerfenékhez hasonló képet is eredményezhet.

Szerencsés esetben a hanghullám viszonylag zavartalanul eljut a tengerfenéig, majd onnan visszaverődve a jelátalakítóhoz. Sekélyebb területeken való méréskor gyakran előfordul ugyanakkor, hogy a fenékről visszaverődött hullám, miután visszajut a felszínre, a határfelületről visszaverődik a fenék irányába. A jelerősség függvényében ez többször is megtörténhet, a mérési eredményben ez „másodlagos”, „harmadlagos” stb. visszhangokat eredményez, ugyanakkor jellegzetes képet ad, ezért felismerése nem

nehéz (az elsődlegesen mért tengerfenék formája jelenik meg ismét, de két-háromszoros mélységben és a gyengülő jel miatt gyengébb „minőségben”).



6. ábra: Másodlagos visszhang

3.3. Zajforrások

A mérést befolyásoló jelentős tényező a zaj. Lehet saját (a tágabb értelemben vett műszer, azaz a hajó által keltett), valamint környezeti zaj is.

A saját zajt a hajó mechanikus és elektromos alkatrészei, a hajócsavar által keltett kavitáció, valamint a traduktor körüli turbulens áramlások okozzák. Egy részét a „gépzaj” teszi ki, ezen belül a legerőteljesebb zajforrás általában véve a hajó hajtóműve, valamint a generátorok és hajócsavarok, emiatt törekedni kell, hogy a jelátalakítót ezen eszközöktől minél nagyobb távolságban helyezzük el.

Ezek a zajok általában a szonda frekvenciájánál alacsonyabb frekvenciájúak, de bizonyos alkatrészek produkálhatnak zajokat az ultrahang tartományban (15 kHz felett), amelyek adott esetben komoly interferenciát okozhatnak.

A jelátalakító (traduktor) körüli áramlások szintén jelentős zajforrást jelentenek. Ennek oka a traduktor és a környezete közötti, nagymértékű relatív elmozdulás. A relatív sebességkülönbség növekedésével a két felület közötti súrlódás is növekszik, ami

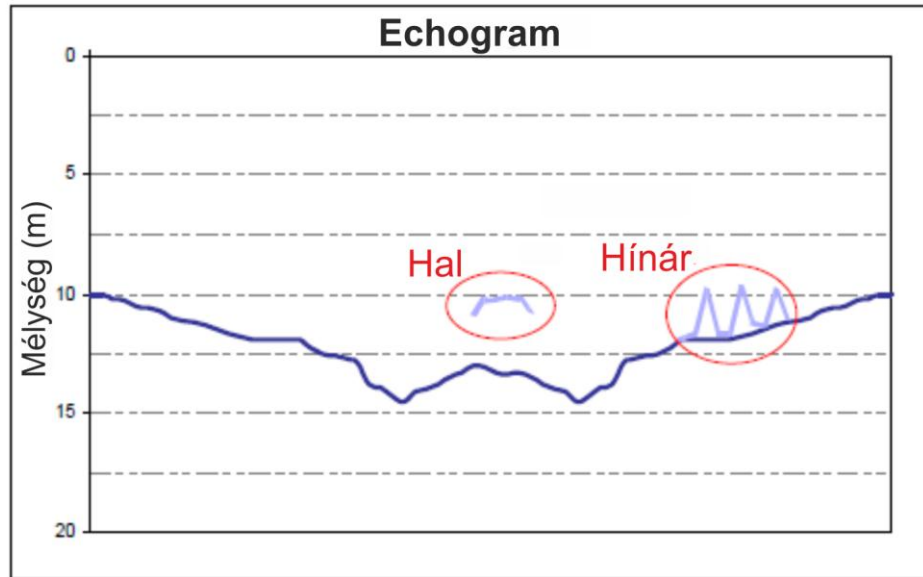
turbulens áramlások keletkezéséhez vezet. A turbulens áramlások esetén a közeg fizikai jellemzői (például a nyomás) gyorsan és kaotikusan változnak, ez rendkívül erőteljes zajforrást jelenthet. A zajnak ez a fajtája elsősorban a túl gyors haladási sebességnek, valamint a rosszul elhelyezett jelátalakítónak tudható be, de a hajótestre tapadt növények és állatok is hozzájárulnak kis mértékben.

Az előzőhöz részben kapcsolódó jelenség a kavitáció, ami a transzduktor felülete körüli nyomás jelentős lecsökkenése következtében a víz felforrását, azaz gázbuborékok képződését eredményezi a vízoszlopban. Mértéke függ a mélységtől (nagyobb mélységben a víz nyomása is magasabb), valamint az eredményre való hatása függ az alkalmazott frekvenciától. A kavitáció a hajócsavar forgása során is keletkezhet, így a jelátalakítót mindig a hajócsavar előtt kell elhelyezni.

A környezeti zaj lehet emberi, vagy természetes eredetű, valamilyen mértékben mindig jelen van a vízben. Három fő fajtáját szokás megkülönböztetni: a hidrodinamikai zaj, a vízi forgalom által keltett zaj, valamint biológiai eredetű zaj.

A hidrodinamikai zaj olyan természeti jelenségeknek tudható be, mint a szél, az eső, valamint a hullámok és az áramlatok. Mértéke tág határok közt változhat, elsősorban az időjárás függvényében. Erős vihar esetén a jelek detektálása nehezebb, sok esetben lehetetlen. A forgalom által keltett zaj a mérőeszköz környezetében elhaladó egyéb járművek által keltett gépzaj. Ezek a zavaró hatások általában a mérőeszköz frekvenciatartományán kívül esnek, így hatásuk a legtöbb esetben elhanyagolható, kivételt ez alól a jelátalakítóhoz nagyon közel elhaladó hajók képezhetnek.

A biológiai zaj a tengeri élővilág, például rákok, halak, kagylók által keltett zavar a mérési eredményekben. Hatásuk elsősorban magasabb alkalmazott frekvencia esetén érezhető (~200 kHz). A rákpáncél, a kagylók héja, valamint bizonyos halak úszóhólyagja visszaveri a transzduktor által keltett jeleket, ezáltal hamis mélységértéket eredményezhetnek. Érdeemes megemlíteni, hogy e „hibaforrást” kihasználva a horgászok gyakran alkalmaznak úgynevezett halradarokat, ami egy alacsony pontosságú, magas frekvencián működő szonda, melynek precizitása nagyságrendekkel kisebb ugyan, de nagyobb halcsoportok detektálására kiválóan alkalmas.



7. ábra: A tengeri élővilág által okozott zaj az echogramban

3.4. A jelátalakító (traduktor)

A jelátalakító kulcsfontosságú szerepet tölt be a mérésben. Feladata a vezérlőegység felől érkező elektromos impulzusok akusztikus hullámokká alakítása, és a tengerfenékről visszaverődött, majd detektált hullámok visszaalakítása elektromos impulzusokká. Tulajdonságai döntő jelentőséggel bírnak a mérés kivitelezése szempontjából, ezek megválasztása behatárolja az eszköz alkalmazási lehetőségeit. A főbb tulajdonságok: frekvencia, az energia, a sugárnyaláb szélessége, a sugár iránya, az oldalsugarak mérete, a direktivitás, valamint a traduktor mérete. E paraméterek határozzák meg a műszer által mérhető mélységtartományt, a felbontóképességet, valamint a mérés pontosságát.

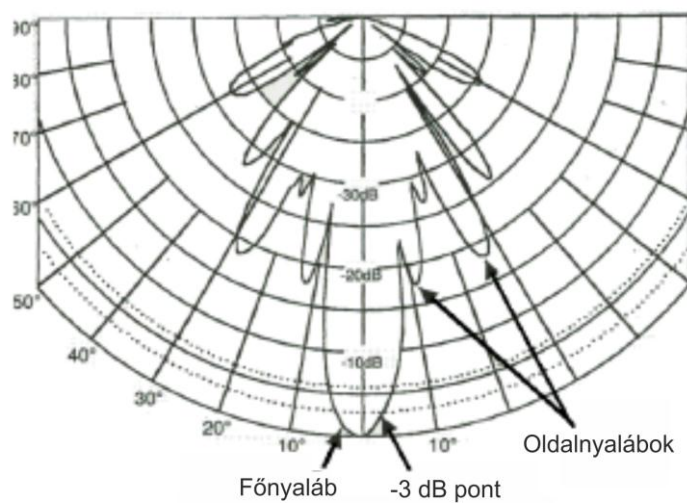
A frekvencia a műszer legfontosabb jellemzője. E paraméter meghatározza az elérhető mélységet, valamint a hanghullámok behatolásának mértékét a tengerfenék üledékeibe. Értéke általában 20 és 1000 kHz között változik, minden frekvenciatartománynak megvan a maga előnye, hátránya, és ezektől függő alkalmazási területei. A magasabb frekvencia pontosságot jelent, ugyanakkor a nagyobb mértékű abszorpció (4. ábra) miatt a hatótávolsága limitált, valamint az üledékrétegekbe is kisebb mértékben képes behatolni.

Általános frekvenciaértékek az alkalmazás függvényében:

- 100 méternél sekélyebb víz: 200 kHz felett
- 100–1500 méter mélység: 50–200 kHz
- 1500 méternél mélyebb: 12–50 kHz.

Ezen értékek természetesen bizonyos mértékben rugalmasak, sok esetben kényszerülhetünk például sekélyebb, de sok lebegtetett üledéket tartalmazó vízben alacsonyabb frekvencia használatára, mivel az ilyen környezet erős zajhatást gyakorol a 200 kHz értéken üzemelő rendszerekre.

A sugárnyaláb szélessége a fő sugárnyaláb szélességét jelenti a -3 dB pontban mérve. Nagysága elsősorban a detektálható objektumok mérete szempontjából érdekes: ha két objektum egyszerre esik bele a fő sugárnyaládba, azok egy objektumként fognak látszani a végeredményben. Ezért kisméretű objektumok detektálására keskenyebb sugárnyalábbal rendelkező jelátalakító választása célszerű.



8. ábra: Az akusztikus hullám alakja

A direktivitás a nyaláb szélességével összefüggő tulajdonság, a transzducer zajokkal szembeni „ellenállását” jelenti. A vízben ezek a zajok bármely irányból érkehetnek, de egy keskeny nyalábbal rendelkező műszer csak a nyaládba eső zajt fogja „hallani”.

3.5. A hajó mozgása és dőlése

A hajó mozgása alapesetben hat komponenssel írható le: a hossz tengellyel párhuzamos, valamint arra merőleges vízszintes elmozdulás, a függőleges elmozdulás, valamint az e tengelyek mentén fellépő elfordulás. Ezen értékek ismerete szükséges a mérés minden pillanatában, mivel ezek ismeretében adhatunk referenciát a mért mélység adatoknak.

A vízszintes, valamint a függőleges pozíció számítása nagy pontosságú méréseknél általában RTK GPS vevők segítségével történik. E vevők a kód mérest alkalmazó „hagyományos” eszközökkel ellentétben fázisméréssel határozzák meg a műholdaktól való pontos távolságot, valamint a hibák kiküszöböléséhez a közelben elhelyezett, statikus referenciaállomás által szolgáltatott valós idejű korrekciós adatokat is felhasználják, így a vízszintes koordináták tekintetében akár 1 cm pontosság is elérhető, ugyanez a magassági koordináták tekintetében kb. 2 cm. E precíz műszerek további előnye, hogy a hajó menetirányát „*heading, yaw*” is meghatározhatjuk két egymás után mért koordináta segítségével, az irányvektor számításával. Ennek természetesen feltétele az időben minél gyakoribb mérés.

A hajó dőléséből eredő mérési hibák korrekciója az utóbbi évtizedekig a batimetriai mérések legnehezebb feladata volt. A hullámozás által okozott emelkedés, illetve süllyedés (*heave*) mellett a dőlés két komponense, azaz a hossz tengely körüli elfordulás (*roll*), valamint az erre merőleges irányú forgás (*pitch*) okozza (többsugaras mérés esetén a földrajzi észak és a hajó iránya által bezárt szög is, azaz a *heading*) a legnagyobb eltéréseket a valós értékekhez képest. Hatásuk mérséklésére korábban nem álltak rendelkezésre precíz mérőeszközök. Megfelelő korrekciós eszközök híján a „leghatékonyabb” módszer a munkaidő korlátozása volt azokra az időszakokra, amikor a vízfelszín viszonylag nyugodt volt. Ugyanakkor kikötői területek felmérése esetén ez sokkal bonyolultabb, mivel a közelben elhaladó hajók által keltett hullámozás is növeli ezeket a hatásokat. E korlátozás komoly időbeli, illetve anyagi hátrányokkal járhat, mivel a nem megfelelő körülmények tartós fennállása esetén a mérés hosszabb időtartamra is megíúsulhat. Ugyanakkor kismértékű, „költségkímélő” hajók, valamint alapvetően nyugodt vizek, például tavak, víztárolók felmérése esetén általában korrekció nélkül is kielégítő eredményt érhetünk el, amennyiben egysugaras eszközzel dolgozunk.

További lehetőség az elmozdulások „simítása” az utófeldolgozás során, de ez általában még a megfelelő tapasztalattal, valamint a hajó karakterisztikájának ismerete birtokában sem vezet pontos eredményre, kiváltképp abban az esetben, ha részletgazdag tengerfenék-felszínnel van dolgunk, ahol lehetetlennek tűnő feladat a felszín egyenetlenségeit, valamint a hajó mozgásából eredő ingadozásokat szétválasztani.

E torzulások mérésére kifejlesztett eszközök az ún. *inerciális mérőegységek*, avagy *mozgásérzékelők*, amelyek (legalábbis a „megfizethető” darabok...) a 90-es években jelentek meg a piacon. Ezek ára a precizitástól (valamint a származási országtól) függően akár több tízezer euró is lehet, ugyanakkor a hajó dőlésének értékét akár $0,1^\circ$ pontossággal is képesek szolgáltatni valós időben, majd a mérési adatokat a vezérlő számítógép, illetve szoftver felé továbbítva a nyers adatokat valós időben, vagy utólag feldolgozva korrigálhatjuk. Amennyiben lehetséges, mindenképp javasolt egy ilyen eszköz használata.

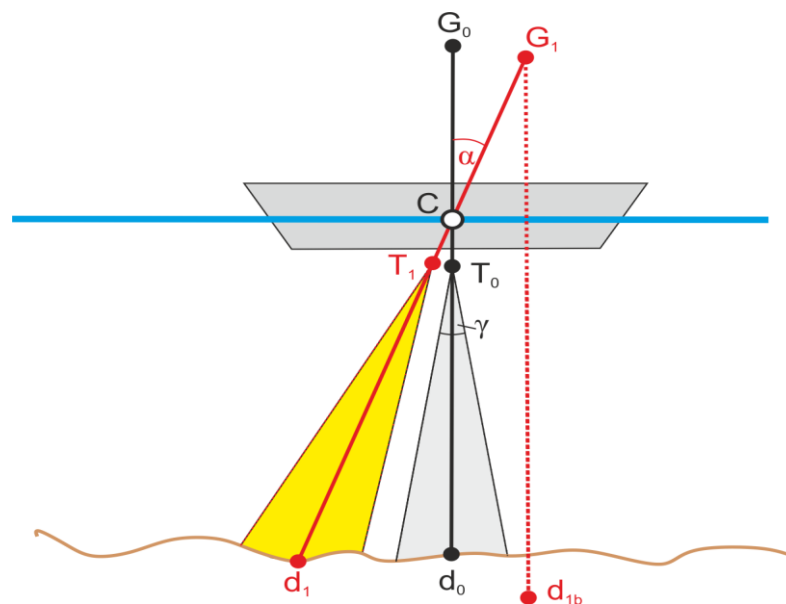
Az inerciális egységek (**Inertial Measurement Unit**) a hidrográfiában leggyakrabban alkalmazott műszerek az ún. *HPR*, azaz *heave*-, *pitch*-, *roll*- értékek mérésére. Három, egymásra merőleges tengely mentén elhelyezett gyorsulásmérőt, valamint a tengelyekhez kapcsolódó giroszkópokat tartalmaznak. Ezek a szenzorok ugyanakkora gyorsulásnak, illetve elfordulásnak vannak kitéve, mint a hajótest, így a mért értékekből következtetünk a hajó egészének, és ami még fontosabb, a rajta elhelyezett egyéb műszerek pillanatnyi helyzetére. A megfelelő pontosság eléréséhez műszerek mért adatainak szűrése szükséges, amint általában egy beépített számítógép végez. A hajó emelkedése (*heave*) a függőleges irányú lineáris gyorsulás kétszeres integrálásával határozható meg, ennek pontossága 5 cm körül mozog általánosságban.

A legfejlettebb rendszerek saját GPS antennákkal rendelkeznek, amelyek segítségével egymaguk képesek meghatározni a fent említett értékek mellett a vízszintes koordinátákat, valamint a hajó hossz tengelyének északkal bezárt szögét. Ez ideális esetben megegyezik a hajó menetirányával, azonban egy oldalról érkező hatás (például egy folyón, a folyásirányra merőlegesen haladó hajó esetén) okozhat eltérést a hossz tengely és a tényleges menetirány között.

Tekintsük át a hajó dőlésének hatásait a mérési eredményekre: a 6. ábrán egy hajó látható egy jelátalakítóval, valamint az azonos függőleges tengely mentén elhelyezett jelátalakítóval. E felépítés követendő, mivel így a mért értékek földrajzi

referenciákhoz kapcsolása lényegesen egyszerűbb: a jelátalakító és a GPS vevő vízszintes koordinátái megegyeznek, így a jelátalakító mindenkori helyzetét a GPS által szolgáltatott magasságérték korrigálásával megkaphatjuk, ehhez természetesen ismernünk kell a két eszköz közötti magasságkülönbséget. Amennyiben a két eszköz függőleges tengelye nem esik egybe, az eredmény egy ún. „*offset*” paraméterrel szoftveresen továbbra is számítható, de ebben az esetben a pontos pozicionáláshoz a hajó mindenkori irányát (*heading*) is ismernünk kell.

A jelátalakító által kibocsátott hullámok közül mindig a legrövidebb utat megtevő, azaz a függőlegesen lefelé haladó hanghullám ér vissza először, ez által mérve a mélységet. Amennyiben a hajó a vízszinteshez képest dőlt helyzetben van, a hajóhoz rögzített traduktor γ fokos sugárnyalábja is ugyanazzal a szögértékkel fordul el. Belátható, hogy amennyiben az elfordulás mértéke nem haladja meg $\gamma/2$ -t, úgy a sugárnyaláb „szélén” még mindig ugyanazt a függőleges irányú jelet kapjuk, mint a vízszintes hajó esetén. Probléma akkor adódik, ha a dőlés meghaladja a sugárnyaláb szélességének felét, ami a magas frekvenciával dolgozó, általában keskeny sugárnyalábbal ($3\text{--}8^\circ$) rendelkező műszerek, vagy kisméretű, instabil hajó esetén a hajó dőlése könnyen meghaladhatja a még elfogadható értéket. Alaphelyzetben a műszer az általa mért d_0 mélységértéket hozzárendeli a GPS által meghatározott G_0 koordinátához, majd korrigálja annak értékét $(G_0 - T_0)$ értékkel, ami a GPS és a traduktor közötti távolság.



9. ábra: A hajó dőlésének hatása

Amennyiben a dőlés miatt a legelső beérkezett jel nem a legrövidebb, a függőleges utat járja be, úgy a mért mélységérték a valós értéknél nagyobb lesz (d_0 valós mélység α elfordulás esetén $d_1 = d_0 / \cos \alpha$ mért értéket fog eredményezni).

Az elfordulás nem csak a mért mélységértékre, hanem a mérőeszközök helyzetére is hatással van. Az alaphelyzetben függőlegesen egy vonalba eső traduktor, valamint a GPS vízszintes pozíciója már nem esik egybe. A GPS antenna pozíciója G_1 lesz, aminek helyzete az antenna és a forgás középpontjának (G_0-C), valamint az elfordulásnak függvénye. Hasonló elv alapján a jelátalakító helyzete is megváltozik.

Mivel korrekció nélkül a mért mélység minden pillanatban a vele szinkronban működő GPS vevő által szolgáltatott koordinátát kapja referenciául, így a végeredmény az eleve hibás d_1 mélység G_1 vízszintes koordinátákhoz való rendelése lesz (d_{1b}).

Amennyiben rendelkezünk a mozgásérzékelő egység által biztosított korrekciós adatokkal, úgy a műszerek forgásközépponthoz viszonyított helyzetének ismeretében e hibák jelentősen csökkenthetők.

A harmadik szögérték (*yaw*, vagy *heading*) egysugaras rendszerek esetén csak akkor bír jelentőséggel, ha a traduktor és a GPS antenna középpontjai függőleges irányban nem esnek egybe. A sugár pozicionálása tekintetében nincs szerepe, mivel a sugárnyaláb kör keresztmetszetű. Ugyanez nem igaz a többsugaras rendszerekre, amelyek általában „legyező alakú” sugárnyalábbal rendelkeznek, ennek pozicionálásához már feltétlenül szükséges a hajó irányának ismerete is. Ennek biztosítására manapság a bevett módszer az “*RTK heading*” használata, azaz az irányvektor meghatározása a GPS pontok segítségével. E módszer ugyanakkor rendelkezik bizonyos korlátokkal: egy helyben álló, vagy nagyon lassan mozgó hajó esetén az irány pontatlanabb, valamint a GPS jel elvesztése esetén (ami egy folyami híd alatt könnyen megtörténhet) mért adat hiányában az irányra sem lesz megbízható eredményünk. A legfájóbb hiba a már említett oldalirányú hatás, ami eltérést okoz a hossz tengely, valamint a valódi menetirány között. Az első hiba, valamint az oldalirányú behatás kiküszöbölhető két GPS antennával, amelyet a hajó hossz tengelyére, vagy arra merőlegesen szokás elhelyezni, a két antenna abszolút helyzetéből meghatározható a hajó iránya. E mérés pontossága az antennák egymástól minél nagyobb távolságra való elhelyezésével növelhető, de ügyelni kell a többutas terjedés (multipath) hatásának csökkentésére, a hajók külső borítása által visszavert

GPS jelek csökkenthetik a mérés pontosságát. Számítása egyéb eszközökkel is lehetséges, például különböző elveken működő iránytűkkel, valamint az inerciális mérőegységek többsége is képes ezt az adatot szolgáltatni.

A legnagyobb mérési hibát a hullámozás okozta függőleges elmozdulás (*heave*) eredményezi, ami a hullámozás által okozott függőleges elmozdulás mértékével megegyező mélységi hibát ad. Számítására alkalmasak az inerciális egységek, amelyek gyorsulásmérők segítségével határozzák meg az emelkedést (a függőleges irányban mért gyorsulás kétszeri integrálásával), de leggyakrabban az RTK GPS által mért koordináták magasságértékéből szokás származtatni ezt az értéket.

4. A hajó megépítése

4.1. Célok megfogalmazása

Az eredeti elképzelés, hogy megépítsünk egy kisméretű, könnyen szállítható hajót, amely egy átlagos furgon csomagtartójában elfér, valamint szükség szerint szétszerelve futárszolgálat segítségével (viszonylag) alacsony költségekkel el lehessen juttatni a szükséges helyre.

A hajó elsődleges funkciója a mélység mérése sekély vizeken, deciméteres pontosságú adatokat szolgáltatva vízszintes, valamint mélységi értelemben. Ez a tényező a műszerek megválasztása szempontjából döntő jelentőségű. Egyéb alkalmazási lehetőségként felmerült a felső, laza üledékréteg vastagságának mérése, ez folyami, valamint kikötői kotrási munkálatok tervezésénél, ellenőrzésénél hasznos. Az üledékréteg vizsgálata általában kétfrekvenciás rendszer alkalmazását teszi szükségessé, amelynek alacsony frekvenciájú hanghullámai képesek abba (az összetételtől függően bizonyos mértékig) behatolni. A méret és súlybeli korlátok nem teszik alkalmassá a hajót többsugaras szonda hordozására, az egysugaras rendszerek közül is csak a kisebb méretű, egyszerűbb rendszerek jöhetnek szóba, különösen annak tekintetében, hogy a kétfrekvenciás mélységmérő rendszer a bonyolultabb és nagyobb méretű jelátalakító miatt további plusz tömeget jelent.

4.2. A szonda

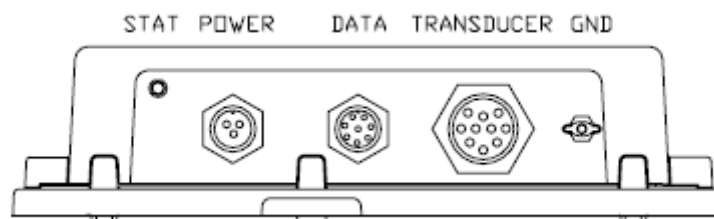


10. ábra: A jelátalakító és a szonda

A választás a **Syqwest HydroBox** mélységmérő kétfrekvenciás változatára esett, mely leginkább a konkurenciához képest kedvező árával tűnik ki a mezőnyből, valamint tudásához képest egyszerű felépítése és kis tömege is előnyt jelent. A jelátalakító a P/N P04816 névre hallgató darab, amely 33, illetve 210

KHz-en üzemel és bár kategóriatársainál kisebb méretű és súlyú darab, a hajó méreteihez képest így is nagyinak mondható. A rendszer hivatalosan $0,01m+0,001*D$ pontossággal rendelkezik 200 KHz frekvencia esetén, ahol D a valós mélység. A pontosság 33 KHz esetén körülbelül tizedére csökken. Emellett nem szabad elhanyagolnunk, hogy ez az érték kizárólag a mélységmérő pontosságát veszi figyelembe, a mérésben részt vevő egyéb eszközök hibaértékeit nem. A mérhető mélység 0,5 és 800 méter között változik, a hajó jellegéből adódóan az alsó határt feltehetően soha meg sem fogjuk közelíteni (nyílt tengeri körülmények között egy ilyen kisméretű hajó használata a legkevésbé sem mondható biztonságosnak).

A szenoregység (a kép jobb oldalán) felépítése rendkívül egyszerű mindössze három csatlakozóval rendelkezik. Az működéshez egy 9–30 V egyenáramú áramforrás szükséges a POWER csatlakozón keresztül. A TRANSDUCER dugalj a jelátalakító csatlakozását biztosítja egy vaskos, 15 méteres kábelen keresztül. A DATA feliratú soros porton keresztül kapcsolódik a szonda az azt vezérlő számítógéphez. A STAT LED a rendszer állapotáról ad visszajelzést, működő szonda esetén zölden világít. A GND csatlakozó a földelést biztosítja, a rendszer optimális működéséhez használata erősen javasolt.

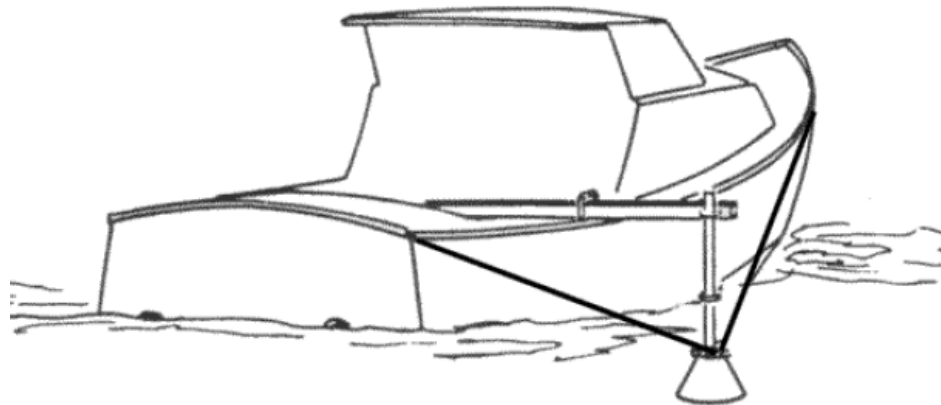


11. ábra: A HydroBox csatlakozói

Összetettebb felépítésű társaival ellentétben az eszköz nem tartalmaz beépített processzoros adatfeldolgozó, valamint adattároló egységet, így működéséhez valós idejű kapcsolat szükséges egy Windows-rendszert futtató számítógéppel, valamint az azon futó, szintén HydroBox névre hallgató szoftverrel. E számítógép az adatok szinkronizálása miatt is szükséges, mivel a szonda nem rendelkezik a GPS és az IMU felől érkező adatok fogadásához szükséges bemenetekkel. A kimeneti adat soros porton keresztül jut el a számítógéphez. Mivel a hajón a méretbeli korlátok miatt csak egy netbook elhelyezésére van lehetőség, amely nem rendelkezik RS-232 soros bemenettel, így egy USB-RS-232 átalakító beiktatása is szükséges. A szenzor nem tartalmaz

beépített inerciális mérőeszközt, így elhelyezése a hajón belül tetszőleges helyen történhet. Amire ügyelnünk kell: bár a műszer hivatalosan vízálló, biztonsági okokból semmiképp ne rögzítsük olyan helyen, ahol tartósan víz érheti.

A mérőeszköz másik fontos eleme a jelátalakító, ennek elhelyezése kritikus a mérések szempontjából. Amennyiben az eszköz turbulens áramlásoknak, buborékoknak, vagy erős vibrációnak van kitéve, a mérési pontossága drasztikusan romolhat. Ezek a hatások legnagyobb mértékben a propellerek környékén jelentkeznek, így törekednünk kell az ezektől minél távolabb való elhelyezésre, mindenképpen a propeller előtt. A hajócsavar által felkavart vízben a kavitáció hatására jelentősen megnő a buborékok száma, amennyiben ezek a mérésben részt vevő vízoszlopba jutnak, a buborékok és a víz határfelületén a hanghullámok viselkedése kiszámíthatatlanabbá válik.



12. ábra: A jelátalakító rögzítése a hajó oldalán

Bevált módszer a traduktor rögzítése a hajó oldalán, a módszer különösen kedvelt a kisebb méretű, hordozható rendszerek esetén. Előnye, hogy így könnyen távol tudjuk tartani a traduktort a zajforrásoktól, hátránya a rezonanciára való fokozott érzékenység, valamint a megnövekedett közegellenállás. A súlyeloszlás drasztikus megváltozása miatt e módszer egy kisméretű hajó esetén kockázatos, így egy hasonló jellegű, könnyen össze-, illetve szétszerelhető, de a hossz tengely vonalába eső felfogási rendszer mellett tettük le a voksunkat. A legfontosabb szempont, hogy a traduktornak a hajó lehetséges dőlését, valamint emelkedését figyelembe véve is mindig a víz felszíne alatt kell lennie.

4.3. A számítógépes rendszer

A számítógép jelenlétének szüksége felvet egy újabb problémát: a PC, valamint a vezérlőszoftver felügyeletéhez, illetve módosításához szükséges, hogy a mérést végző személy a számítógép monitorján követni tudja az adatgyűjtés folyamatát. Ennek biztosítása egy olyan hajón, amelynek kimondott célja, hogy a fedélzeten tartózkodó ember nélkül működjön, alapvetően kivitelezhetetlen. Megoldásnak a hajó számítógépének távoli elérése tűnt egy másik, a parton elhelyezett számítógépről, melyek összeköttetése helyi hálózaton keresztül, vagy a két gépet külön-külön az internetre kapcsolva oldható meg. A mobil internet előnye, hogy kevésbé érzékeny az interferenciára, ami távirányított járművek esetén jól jöhet. Hátránya a lassabb sebesség, valamint a lefedettségtől való függés. A másik megoldás a helyi, vezeték nélküli hálózat létrehozása, így nagyságrendekkel gyorsabb adatkapcsolatot hozhatunk létre, ugyanakkor kiépítése problémákba ütközik: a hagyományos Wi-Fi csatlakozási pontok hatótávolsága még nyílt vízen (ami a jelek terjedése szempontjából nagy előny) sem igazán haladja meg a 100 métert. E hatótávolság növelhető erősebb antennák, illetve jelerősítő alkalmazásával. Hátránya, hogy a megnövelt jelerősség interferenciát okozhat, mivel a távirányító rendszere és a hagyományos vezeték nélküli rendszerek egyaránt 2,4 GHz-en működnek. Amennyiben nem a hagyományos 2,4-es rendszereket akarjuk alkalmazni, választhatunk más frekvenciát mind a távirányítás, mind az adatátvitel biztosítására, de egy 868 MHz-en működő távirányító adó-vevő pár ára akár egy jó minőségű (és ezáltal az interferenciára is kevésbé érzékeny) 2,4 GHz-es rendszer duplája is lehet. A hálózat oldalán szintén megfontolandó egy 5,8 GHz-s rendszer kiépítése, de a megfelelő teljesítményű rendszerek ára ebben a kategóriában antennákkal együtt bőven meghaladhatja az 1000 eurót. A teszhajó kommunikációs rendszerét egy hagyományos Wi-Fi hozzáférési pont képezi, amelyet egy akkumulátor lát el energiával a mérés ideje alatt. A gyári antenna helyett egy nagyobb teljesítményű darab lett a rendszerbe kötve egy erősítő társaságában, a hajón elhelyezett notebook a beépített hálózati adaptere helyett egy erősebb, USB porton csatlakozó adapterrel kapcsolódik a vízparton kiépített hálózathoz.

A számítógépek közötti kapcsolatot egy Virtual Network Computing (VNC) rendszeren alapuló program, a VNC viewer szolgáltatja. Ennek lényege, hogy hálózaton keresztül továbbítja a billentyűzet, valamint az egér adatait a szerver felé, valamint ellenkező irányban a szerver monitorján megjelenő képet a kliens felé. Előnye, hogy

platformfüggetlen, így bár a hajón levő laptopon mindenképpen egy Windows rendszer szükséges, a parti bázison nincs ilyen megkötés.

4.4. A GPS vevő: Stonex S9 II



13. ábra: Stonex S9 GNSS vevő

A helymeghatározáshoz kézenfekvő megoldásnak tűnt a Cartogalicia által forgalmazott Stonex S9 II típusú vevő, amely rendelkezik a professzionális GNSS-vevők szinte minden elérhető funkciójával. Igazán vonzó opcióvá ugyanakkor az a tény teszi, hogy a nagyrészt Trimble alkatrészekből álló műszer a „testvér” árának kevesebb, mint a feléért birtokunkba kerülhet, a Trimble R8 modellel (nagyrészt) megegyező funkciókat és pontosságot nyújtva.

Professzionális eszközről lévén szó, a hétköznapi ember számára ez az ár is a „borsos” kategóriába tartozik. A vevő 220 csatornán képes a műholdakról sugárzott adatokat fogadni, a hagyományos vevők által használt L1 frekvencián kívül a NAVSTAR-rendszer L2C, L2E, L5 sávjain kívül a GLONASS, Galileo, Beidou rendszerek jeleit is képes felhasználni a helymeghatározáshoz. Emellett a különböző műholdas kiegészítő rendszerek (SBAS), mint például az EGNOS, illetve WAAS korrekciós jeleit is képes fogni. Amennyiben bázis-rover módban használjuk a műszert, úgy a bázisvevővel rádióan keresztül képes kommunikálni, de a földi korrekciós állomások (GBAS) jeleit is felhasználhatjuk a mérés megbízhatóságának növeléséhez, ez RTK üzemmód esetén 1 cm körüli vízszintes és 2 cm magassági értelemben vett pontosságot jelent. Ezek az értékek természetesen a közelben elhelyezett bázis, illetve földi állomás által sugárzott korrekciós adatok felhasználásával érhetőek el, műholdas korrekció használata esetén a várható pontosság nem sokban különbözik attól, mint amit egy hobbi kategóriás vevővel elérhetünk.

Az Stonex S9 egyetlen hátulütője, hogy a PPS-jel generálásának titkát nem sikerült „ellessnie” az alapjául szolgáló Trimble vevőtől (holott a hardware erre képes lenne). Ezen

elektromos szignál lényege, hogy milliszekundumtól nanoszekundumig terjedő skálán mérhető pontossággal képes egy bizonyos jelet másodpercentként generálni (azaz a jel frekvenciája 1Hz). E jel a mérőeszközök közötti időbeni szinkron miatt fontos, azaz hogy egy bizonyos időpontban mért koordinátaához a pontosan ugyanabban az időpontban mért mélység, illetve dőlésértékek kapcsolódjanak, amennyiben ez a szinkron nem működik megfelelően, az adatok között akár tizedmásodperces csúszás is lehet, ami már egy 1–2 m/s sebességgel haladó hajó esetén is deciméteres eltéréseket okozhat.

A vevő további előnye, hogy a megszokott RS-232 soros port mellett Bluetooth-kapcsolaton keresztül is képes kommunikálni az adatgyűjtő egységgel, ami jelen esetben a netbook. E vezeték nélküli kapcsolat által megspórolhatunk egy soros kábelt, ami plusz tömeget jelent, a vízállóság is javul, mivel a tárolórekesz falába nem kell külön lyukat fúrni a kábel bevezetéséhez.

4.5. Az inerciális egység (IMU): Kongsberg MRU-Z



14. ábra: Az MRU-Z mérőegysége

Az inerciális egység kiválasztása e sorok írása közben is kérdés. A cég rendelkezik egy **Kongsberg MRU-Z** modellel, amely bár tizedfokos pontossággal rendelkezik és használata további anyagi befektetést sem igényel, nagy méreténél fogva a hajó méret és vízkiszorítás terén fennálló korlátai miatt a használhatósága erősen kérdéses. A kisebb méretű és hasonló pontossággal rendelkező eszközök ára sajnálatos módon gyakran önmagukban magasabb a hajó tervezett költségvetésénél, így egy megfelelő ár-érték-méret arányú darab felbukkanásáig az MRU-Z-vel folytatjuk a projektet.

Az MRU-Z, mint a legtöbb inerciális mérőegység, képes az irány, a dőlés, valamint a hajó emelkedésének megállapítására. A szögértékeket általában három, egymásra merőleges tengelyű giroszkóp segítségével mérjük, ezek (az árcédula függvényében) különböző működési elvek szerint működnek: a hagyományos mechanikus eszközökön kívül létezik elektromos, lézeres, száloptikás, valamint a csúcstechnikát jelentő kvantumgiroszkóp is.

A gyorsulásmérők ugyanezen tengelyek mentén helyezkednek el, működésük elve leegyszerűsítve: minden gyorsulásmérő a saját tengelye mentén fellépő gyorsulási értékeket mérve járul hozzá a hajó pillanatnyi mozgásállapotának leírásához. A gyakorlatban ezeknek az alkatrészeknek vannak bizonyos korlátaik, hirtelen, nagymértékű, valamint magas frekvenciájú mozgásváltozásokra alkalmanként nem megfelelően reagálnak. A hirtelen, éles kanyarvételek tipikusan ilyen helyzetek, ilyenkor a kifelé billenő hajóhoz rögzített gyorsulásmérő függőleges tengelyén megjelenő enyhe gyorsulásérték alapján a rendszerük hullámzásra fog következtetni és ennek megfelelően hibásan korrigálja a mért mélységértéket. Nagy gyorsulásmérő-GPS antenna-traduktor távolságok esetén ezek a torzulások is erőteljesebben jelentkeznek, annak ellenére is, hogy a giroszkópok segítségével ezt a hibát jórészt szűrni lehet. A project tárgyát képező miniatűr katamarán esetén e hatás szinte elhanyagolható, annál inkább jelentkezhet a hirtelen mozgásváltozás, valamint a nagy frekvenciájú periodikus mozgások követésének nehézsége, mivel a kis tömegű hajó jobban ki van téve a vízfelszín hatásainak. Az alapvető igazság ebben az esetben is teljesül: az árcédulán megjelenő szám fordítottan arányos az említett hibahatásokra való érzékenységgel.

4.6. A hajótest: katamarán

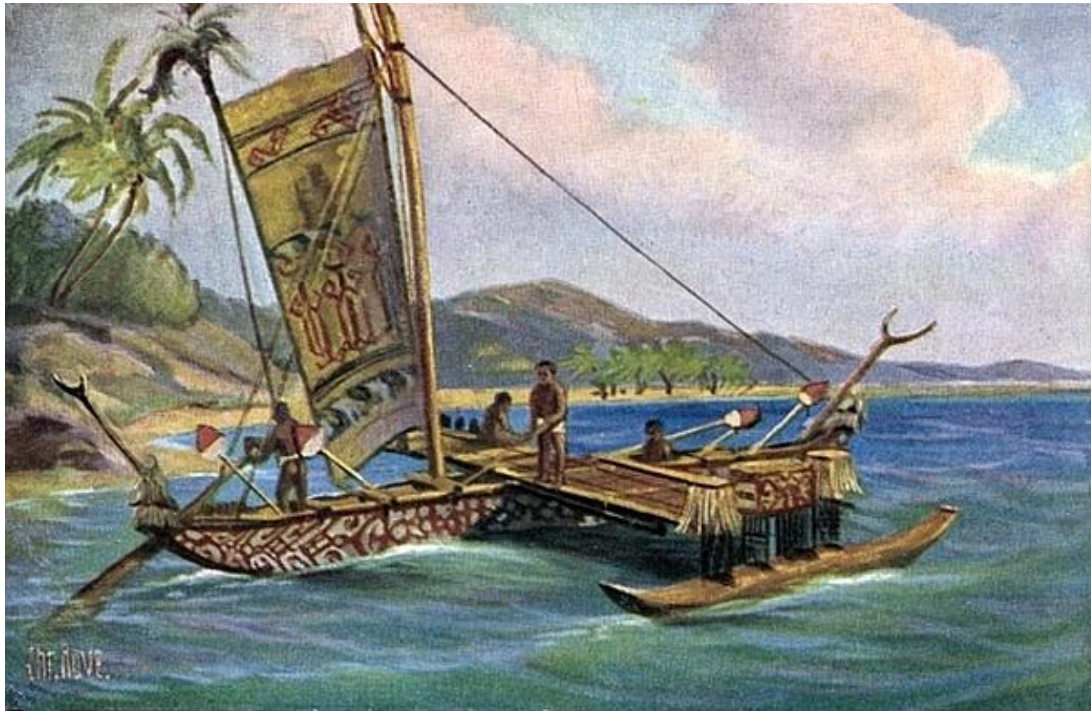
A hajó legfontosabb része a hajótest, ez hordozza a mérőeszközöket, ennek megfelelően megtervezésekor, illetve kiválasztásakor elsődleges szempont a stabilitás, valamint a teherbírás. Ez a vízkiszorítással függ össze: az Archimédész alkotta törvény szerint: Minden folyadékba vagy gázba merülő testre felhajtóerő hat, amelynek nagysága egyenlő a test által kiszorított folyadék vagy gáz súlyával. A hajótest által maximálisan kiszorított víz súlya megegyezik a hajótestre ható felhajtóerő maximumával. Ebben az esetben a felhajtóerő még egyensúlyban van a gravitációs erővel, így a hajó, bár teljesen elmerülve, de még úszik. Amennyiben további terhelés által növeljük a hajóra ható gravitációs erőt, a hajó, fedélzetén a műszerekkel, elsüllyed. Ha a katamaránunkra ható gravitációs erő kisebb a hajótest által elérhető maximális felhajtóerőnél, úgy az egyensúlyi állapot, azaz a „lebegés” az által jön létre, hogy a testnek csak egy bizonyos része merül a vízbe: éppen annyi, amennyi a gravitációs erőnek megfelelő súlyú víz kiszorításához szükséges. A gyakorlatban a teljes terhelést érdemes elkerülni, hiszen gondolnunk kell a hajó mozgására: a nagyobb nedvesített felület nagyobb közegellenállást jelent.

A hajó alapvető formájának meghatározásakor a választás a katamaránra esett: e hajótípus szokványostól eltérő kialakításának köszönhetően rendkívüli stabilitást nyújt, valamint a súlyelosztásra is kevésbé érzékeny a hagyományos, egytestű hajóknál. Ez utóbbi szempont a kis rendelkezésre álló hely miatt fontos, mivel a súlyelosztás változtatására kevés a lehetőség.

Ez a hajótípus koránt sem újdonság: már az ókorban is alkalmazták a görögök, elsősorban két egymáshoz kapcsolt hagyományos hajótest formájában. E módszer alkalmazása teherszállításra kitűnően alkalmas volt a vízkiszorítás megduplázása miatt.

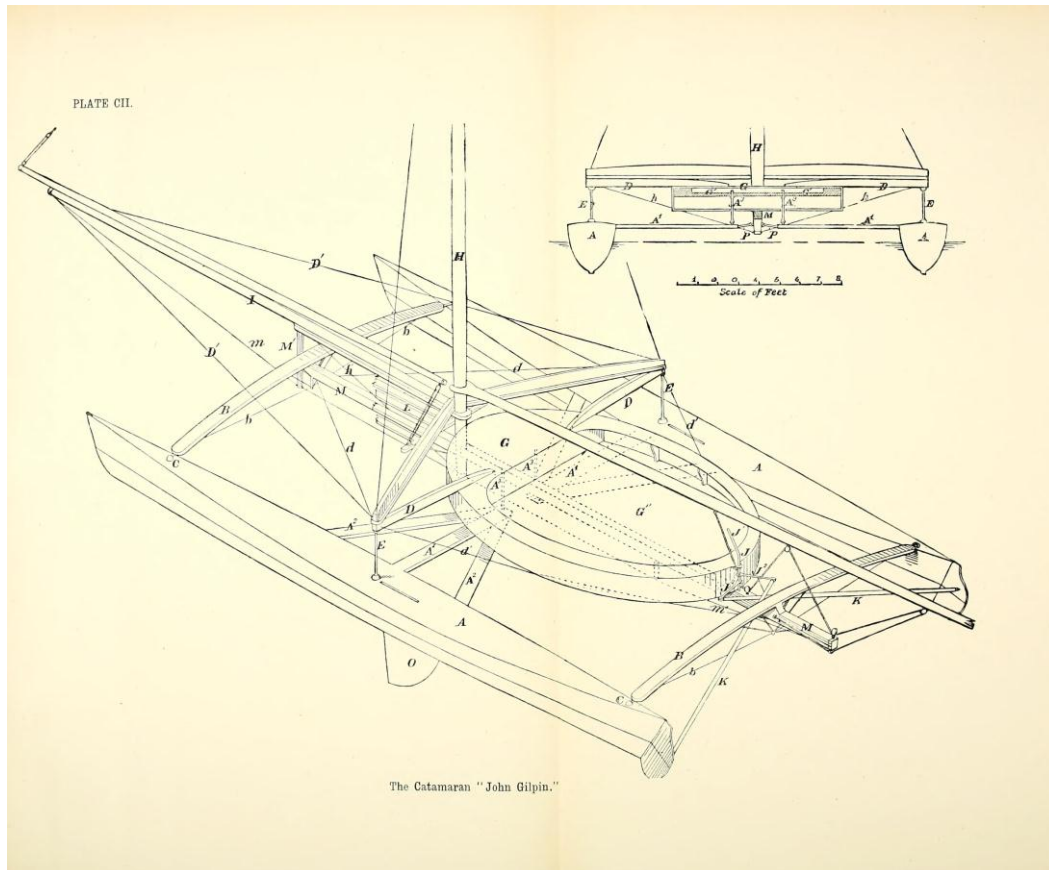
Az első európai katamarán 1662-re datálható, megalkotója a brit tudós és a Királyi Társaság tagja, William Petty volt. Az akkoriban újszerűnek számító forma célja egy olyan hajó megépítése volt, amely a partközeli, sekély vizeken képes enyhe szélben, valamint a szokásosnál kisebb létszámú legénységgel is az átlagosnál gyorsabb tempóval haladni. A hajótípus erre a célra meg is felelt, gyorsasági versenyeken az „Invention” rendre maga mögé utasította a királyi flotta legfürgébb hajóit és mellékesen a fogadások által nem csekély hasznot hozott tervezőjének. Legnagyobb hibája feltehetőleg újdonságában rejlett: a kor hajósai erős kételkedéssel fogadták a formabontó típust, ezen az Invention testvérhajójának, az Experimentnek eltűnése sem segített. Az Experiment maradványai sosem kerültek elő. A katamaránok fejlesztése ezután hosszú időre meg is rekedt.

Eközben a föld túlsó felén a napjaikat gyakorlati megfontolások alapján elő emberek bevált közlekedési eszköze volt egy hasonló elven működő hajó. Európai kereskedők és felfedezők Délkelet-India partjainál írtak le hasonló járműveket, bár két egymáshoz erősített pálmáröng akkori szemmel nézve sem minősült csúcstechnikának (a tamil eredetű „kattu maram” jelentése: egymáshoz erősített rönk), rendkívüli egyszerűsége mellett kiválóan alkalmas volt a partközeli utazásra, valamint a part menti szigetek megközelítésére. A szerkezet ma használatos neve délkelet-indiai eredetű, de a modern katamaránok közelebb állnak a Polinéz-szigeteken használt hajókhoz. A brit hajósok a már „bevett” tamil eredetű névvel illették az egymáshoz erősített testekből álló hajókat, amelyeket a polinéz őslakosok a szigetek közötti utazáshoz használtak.



15. ábra: Egy polinéz katamarán illusztrációja egy 100 évvel ezelőtti képeslapon

Ugyanakkor katamarán, mint hajótípus, a „modern világban” Petty után még majd kétszáz évig jóformán ismeretlen maradt. Ekkor a híres amerikai hajótervező, Nathanael Greene Herreshoff az 1876. évi “Centennial Regatta” vitorlásversenyre nevezett egy saját készítésű, kéttestű hajót. Az Amarillys névre keresztelt hajó hamar rivaldafénybe került, mivel első versenyén utcahosszal győzte le a konkurenciát, a fellebbezések nyomán „Nat kapitány” hajóját azonnal diszkvalifikálták is a versenyből, majd a katamaránokat rövidesen kitiltották az összes jelentősebb vitorlásversenyről. Ugyanakkor az eredmények megmutatták a konstrukcióban rejlő potenciált, Herreshoff műhelyéből rövidesen hét másik, méggyorsabb hajó került ki, de mivel építésük nem bizonyult kifizetődőnek, valamint a gyár más területekre (haditengerészeti megrendelések) koncentrálni a kapacitását, a gyártás rövidesen befejeződött.



16. ábra: Az Amaryllis utódja, a John Gilpin

A katamarán ismételt felbukkanására 1947-ig kellett várni. A szörf egyik legendás alakja, Woodbridge Parker Brown és Alfred Kumalae megépítették az első óceáni hajózássra is alkalmas modern katamaránt, a Manu Kai-t a hawaii O'ahu szigetén. Segítőjük, Rudy Choy a katamaránok későbbi fejlődésében jelentős szerepet játszott, az 1955-ben a Choi/Seaman/Kumalae Catamarans vállalat műhelyéből számos, korának csúcstechnikáját felvonultató, és különböző rekordokat megdöntő hajó került ki, rendkívüli sebességük mellett szinte minden típusuk olyannyira megbízhatónak és tengerállónak bizonyult, hogy óceánok átszelésére is alkalmasak voltak (leghíresebb hajójuk, az Aikane X-5 például kifejezetten a Los Angeles–Honolulu útvonal időrekordjának megdöntésére lett tervezve. (<http://nuttyrave.blogspot.com>))

Mára a katamaránok a hobbivitorlásoktól kezdve a 100 méter hosszú kompokig bezárólag igen széles skálán elterjedtek, köszönhetően az átlagot meghaladó sebességüknek, magas terhelhetőségüknek és stabilitásuknak.



17. ábra: Mikronéziai proa

Nézzük meg kicsit közelebbről ezt a konstrukciót! A katamarán fő részeinek megnevezésére ma is maláj, illetve mikronéziai eredetű nevüket alkalmazzuk: ama, aka és vaka. Az aka jelenti azokat az összekötőelemeket, amelyek összekapcsolják a két úszót, vagy trimarán esetén a fő hajótestet az úszókkal. Ezek az elemek lehetnek fém vagy műanyag rudak, illetve lemez(ek). A vaka jelenti a hajótestet, vagy katamarán esetében a hajótesteket. Az ama egy, a hajótestnél kisebb úszó, amelyek szerepe a stabilitás növelése. Ezen szavak megértéséhez a legjobb példa a 17. ábrán látható „proa”

hajótípus. Bal oldalt látható a nagyobb méretű vaka, jobb oldalt a kisebb ama, a két úszót pedig összeköti a vaka (Wikipedia).

A mérőhajó megtervezésénél az alapötlet két nagyobb hajó ama elemeinek felhasználása volt, a megfelelő erősségű aka összekötésével, amely a mérőeszközök rögzítését is biztosítja. A megfelelő ama megtalálása azonban koránt sem könnyű feladat, a hajógyártó cégek ezeket az elemeket elsősorban kajakok, illetve kenuk stabilizálására tervezik, valamint gyártják, nem arra a célra, hogy önálló „teherhordók” legyenek, így a talált alkatrészek közül egyik sem felelt meg a kívánalmaknak. A kisebb méretű típusok párban sem képesek kellően nagy felhajtóerőt biztosítani, a megfelelő terhelhetőséggel rendelkező darabok pedig messze meghaladták a hosszúságbeli korlátokat. Mivel az egyedi gyártásra készülő amák (angolul “outrigger”) ára igen magas, így rövidesen életbe lépett a „B” terv: saját, azaz részben saját készítésű hajótest. Egy katamarán gondos megtervezése megfelelő mérnöki ismereteket és tapasztalatokat igényel, ugyanakkor belátható, hogy egy kis sebességgel, biztonságos környezetben üzemelő „igásló” esetében koránt sem szükséges egy komp, vagy versenyhajó stabilitását, illetve hatékonyságát elérnünk. Egyszerűen fogalmazva: elegendő, ha mérés közben nem süllyed el. Emellett természetesen az energiahasználat szempontjából előny a közegellenállás alacsony szinten tartása, ami a felülettel és a hosszal van összefüggésben.

Amennyiben az egyszerű kivitelezhetőséget tartjuk szem előtt, úgy is sok opciónk van az úszók formájának megválasztására, a keresztmetszet megválasztásával nagymértékben tudjuk befolyásolni katamaránunk tulajdonságait. Az egyszerűbb geometriai formákat

tekintve is több lehetőségünk van, minden keresztmetszet-típusnak megvannak a maga előnyei, illetve hátrányai.

- Kör: egyszerű kivitelezés, nagy terhelhetőség, de a nagy nedvesített felület miatt magasabb közegellenállás.
- Téglalap: kivitelezése még egyszerűbb, mivel síklapok határolják. Terhelhetősége szintén rendkívül jó, de magas ellenállása miatt egy téglalap keresztmetszetű úszó nehezebben siklik a vízben.
- Ellipszis: kivitelezése már bonyolultabb, de ellenállása is jóval kisebb a fentebb említett típusoknál. Terhelhetőségben elmarad a kör keresztmetszetű úszóktól, de elnyúlt alakja miatt egyenes pályán rendkívül hatékonyan siklik. Egy kilencven fokkal elforgatott ellipszis (a nagy tengely vízszintes) a terhelhetőség szempontjából ideális megoldás lehet, de egyenes futása stabilizáló lemezek nélkül gyengének mondható.
- Háromszög, ívelt oldalú háromszög: Ellenállás tekintetében ezek a profiltípusok számítanak a legjobbnak, de hátrányuk a kisebb teherbírás, emiatt a mérőkatamaránhoz nem a legideálisabb választás.

A felsorolt keresztmetszeteken kívül természetesen rengeteg egyéb lehetőség van, a professzionális katamaránok többnyire aszimmetrikus és a hossz mentén is erősen változó keresztmetszettel készülnek.



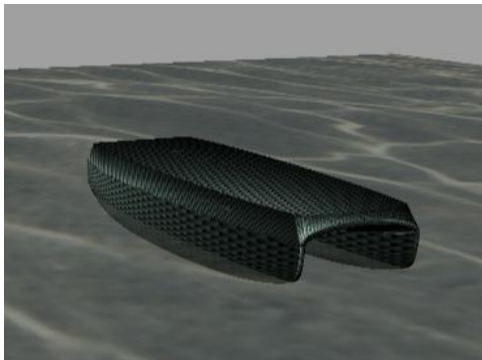
18. ábra: A prototípus hajótest a vízálló táskával és a motorral

Sajnos be kell látni, hogy a cégben, illetve a közvetlen ismeretségi körben nincs ilyen hajó megtervezésére és megépítésére kapacitás, így a választás az egyszerűen kivitelezhető, jól terhelhető kör profilú hajótestekre, azaz két darab alumíniumcsőre esett a prototípus esetében, a csövek végén két-két lekerekített fejelemmel. A lekerekített fejelemek alumíniumból való legyártása nehézségekbe ütközött, így a kezdeti

tesztek kúp alakú „rakétafejekkel” kezdődtek meg. Az esztétikusabb, könnyebb és jobb hidrodinamikai tulajdonságokkal rendelkező, lekerekített fejek műanyagból való legyártása a prototípus hajóhoz decemberre várható. A két test összekötéséhez egy négyzet alakú, négyzet

keresztmetszetű rozsdamentes acélcsővekből álló keretet hegesztettünk, ehhez kapcsolódik az elektronika tárolását és védelmét biztosító vízhatlan "Pelicase", valamint a hajó mozgatásához szükséges villanymotor.

Fontos megemlíteni, hogy a prototípus elkészítésével egy időben megindultak a tárgyalások egy kisméretű hajók, kajakok és kenek gyártására specializálódott műhellyel, egy későbbi, sokkal fejlettebb és hatékonyabb konstrukció legyártásáról. Hasonló, szénszálas katamarán legyártása még kis méretben is rendkívül költséges (elsősorban a szénszálas test



19. ábra: A szénszálas hajó látványterve

elkészítéséhez szükséges sablonok legyártásának munkaigényessége miatt), de egy korábbi, hasonló céllal készült hajótest kismértékű módosításával jelen állás szerint sikerül majd az árat elfogadható szinten tartani. Az újonnan elkészülő hajó a Szlovén Haditengerészet megrendelésére készített felmérőhajó

rövidebb, szélesebb és könnyebb változata lesz.

4.7. A távirányítású katamarán

Szerencsés esetben az elkészült hajótest a víz felszínén fog úszni, rajta a méréshez szükséges műszerekkel. A következő lépés a hajó meghajtása, valamint kormányzása egy távirányítású rendszer segítségével. Ezt eredetileg a távirányítású modellhajókhoz tervezett alkatrészekkel akartuk megvalósítani, de a nehezebb szonda kiválasztása után erről le kellett tennünk: egy 30 kg össztömegű hajóhoz, legalábbis a meghajtás szempontjából egy RC hajó hajtóműve, valamint kisméretű hajócsavarjai már semmiképp sem elegendők. A megoldás egy hibrid rendszer lett: a motort vezérlő elektronika maradt a modellhajókban és egyéb távirányítású járművekben használt rendszer, de a hajtómű egy 12 voltos horgászcsónak motorjának átalakított változata lett. Lassabb sebesség elérésére és nagyobb tömeg mozgatására lett optimalizálva, így a project céljainak sokkal inkább megfelel, mint a magas fordulatszámú üzemelő, de kevésbé nyomatékos RC elektromotorok.

A kormányzáshoz három lehetséges megoldást vázoltunk fel. A hagyományosnak mondható motor és kormánylapát párosítást valószínűleg senkinek nem kell bemutatni. A második módszer a kormánylapát és a motor egyesítése. Ebben az esetben a motor nem rögzített, hanem (közel) függőleges tengely mentén képes elfordulni, egy kormánylapáthoz

hasonlóan. Az irányváltoztatást a hajtómű által kifejtett tolóerő irányításával érjük el. A harmadik megoldás a „hernyótalpas rendszer”, ami a harcokocsik működéséhez hasonlít: a hajó két oldalán rögzített motorok teljesítményének, valamint forgási irányának változtatásával a hajó rendkívüli manőverező képességre tehet szert.

Mindjárom variáció járható út, egyszerűsége miatt különösen a hernyótalpas rendszer vonzó. Ugyanakkor a választás a kombinált rendszerre esett, mivel a prototípus tervezésének és építésének ebben a fázisában már tudtuk, hogy a néhány hónap múlva elkészülő végleges hajótest is egy ehhez hasonló rendszert használ, és a kész hajóra már kipróbált és működő rendszereket szeretnénk volna felszerelni.

Tekintsük át a kormányzási és meghajtási rendszer működését: adott a már említett csónakmotor, amely a katamarántesteket összekötő vázhoz, azaz az akához csatlakozik egy csapágyas rendszer (vagy egyszerűbb esetben teflongyűrűk) segítségével. E felfogás lehetővé teszi, hogy a motor függőleges tengely mentén elforduljon. A csónakmotorokat legtöbb esetben kézi erővel kormányozzák, de ebben az esetben a távirányított rendszerek alkatrészeit mozgató eszközöket, a szervókat kellett segítségül hívni. Mivel ebben az esetben a távirányított repülő vezérsíkjainak mozgatásához képest jóval nagyobb erőhatás kifejtése szükséges (a nehéz motor mozgatása a vízben), így a szervó választásánál nem kötöttünk kompromisszumot: a HITEC HS-M7990TH “Monster Torque” nevű termékének erejéről már a neve is sokat elárul. Az erejéhez képest meglepően kicsi (44x22x40 mm) szervó közel 400N erő kifejtésére képes, titánium alkatészei miatt az igénybevételt is jobban bírja társainál. Talán még ennél is fontosabb, hogy minden paramétere programozható: különösen fontos a mozgás sebessége: a HS.M7990TH-hoz hasonló, nagyteljesítményű szervókat általában nagyméretű modellrepülő vezérsíkjainak mozgatásához használják, ahol villámgyors reakcióidőre és sebességre van szükség a repülő megfelelő irányításához. Ugyanakkor egy 5 kg tömegű hajómotor hasonló sebességgel történő mozgatása a vízben még egy ilyen szintű szervónak sem válik hasznára, nem beszélve a hirtelen irányváltásokról, amikor a hirtelen fellépő, ellentétes irányú erők a csapágyak és a fogaskerekek idő előtti végét jelenthetik. Az eredeti forgási sebesség 20%-ára lassított szervó esetén ez a veszély már nem áll fent.

Természetesen a motor mozgatásához még össze kell kötni a szervóval. A kapcsolatot két nyomórúd biztosítja, amelyek a szervóhoz, valamint a motorhoz rögzített „erőkarok” összekötésével oldják meg, hogy a szervó mozgása eljusson a motorhoz. A

rendszer jelenleg 1:1 áttételezéssel működik, azaz a motor a szervóval azonos mértékben fordul el tengelye körül.

A mechanikus alkatrészek után tekintsük át egy átlagos távirányítású rendszer egyéb elektronikai eszközeit. Talán a legfontosabb elem a távirányító. Felépítésük és működési elvük alapvetően hasonló, az árcédulán megjelenő összeget elsősorban a kezelt csatornák száma és a programozható funkciók határozzák meg. A távirányítású járművek minden eszközehez el kell különítenünk egy külön csatornát, hajóról lévén szó ez jóval egyszerűbb, mint egy repülő esetében, ahol a kormánylapátok, fékszárnyak, valamint a motor irányításához akár 5–6 csatorna is szükséges lehet. Hajó esetén a helyzet jóval egyszerűbb, alapesetben csak a motort mozgató gázkar, valamint a szervót vezérlő második kar foglal el egy-egy csatornát a keretből. A közeljövő tervei között szereplő, két tengely mentén forgatható kamera további két csatornaigényével együtt is bőven elegendő a kontroller, valamint az adó-vevő által biztosított 8 csatorna (a kontroller 10, az adó 12, a vevő 8 csatornát képes kezelni, így szükség esetén a modulok cseréjével a használható csatornák száma növelhető).

Az adó oldalán, a távirányító segítségével beállíthatjuk, hogy különböző gázkarállások esetén a motor milyen fordulatszámra üzemeljen, ez rendkívül hasznos funkció, tekintve hogy a hajó sebessége mérés közben alacsony, és finoman szabályozható kell hogy legyen. A legfontosabb állítási lehetőség: a különböző csatornákat hozzárendelhetjük a vezérlőeszközökhöz, azaz meghatározhatjuk, hogy melyik kar befolyásolja a sebességet és melyik az irányváltást.

A hajón, azaz a vevő tényleg már kicsit bonyolultabb a helyzet. Adott egy vevő modul, a megszámozott csatornákkal. E csatornához kapcsolhatjuk a szervót, valamint a motort, illetve a motort vezérlő ESC-t (Electric Speed Controller), annak megfelelően, hogy az adó oldalán melyik csatornához rendeltük ezeket a funkciókat. Az eszközök általában három kábel segítségével kapcsolódnak a vevőhöz (pozitív, negatív, jel).

Az ESC feladata, hogy a vevőből érkező jel alapján szabályozza a motor teljesítményét a feszültség változtatásával. Mivel (általában) ez az alkatrész kapcsolódik közvetlenül az akkumulátorokhoz, így a vevőt, valamint a vevőn keresztül a szervókat is képes ellátni energiával, azok „pozitív”, illetve „negatív” kábelein keresztül. Amennyiben kisebb teljesítményű ESC-t, vagy nagy teljesítményű szervókat alkalmazunk, előfordulhat, hogy a szabályzó nem képes elegendő energiát szolgáltatni a motor mellett minden alkatrész

számára. Ennek jele, hogy kimaradásokat tapasztalunk azok működésében: néhány pillanatra elveszítjük a távirányítást, vagy a kormányzást. E hibajelenség a mérőhajónál is fennállt, így a szervó áramellátását az ESC-től, illetve a vevőtől függetlenül kellett megoldani. A szervónak csak a „jel” kábele kapcsolódik a vevőhöz, a pozitív, valamint a negatív ér egy, az akkumulátorhoz közvetlenül csatlakozó, „BEC”-n keresztül kapja az áramot.

4.8. Az autonavigáció

A munkavégzés megkönnyítése érdekében a közeljövő tervei között szerepel egy autonavigációs rendszer beépítése a hajóba. A kézi vezérlés lehetősége mindenképp szükséges elsősorban biztonsági okokból, valamint szűk, akadályokkal teli helyeken, de nyílt vízen sokkal egyszerűbb előre megtervezett vonalak mentén végigvezetni a hajót.

A vezérlés egy, a „csináld magad UAV-ok” körében jól ismert rendszer, az ArduPilot Mega feladata. Ez egy nyílt forráskódú rendszer, ami az Arduino mikrokontrollereken alapul. Az eredeti lapka elsősorban hagyományos elektronikus eszközök vezérlésére készült, de mára rengeteg különböző változata érhető el, ezek közé tartozik az ArduPilot Mega, amelyeket elsősorban repülő és helikopterek irányítására terveztek, de a konfiguráció kisebb módosításával egyéb távirányított eszközök navigálására is használhatjuk.

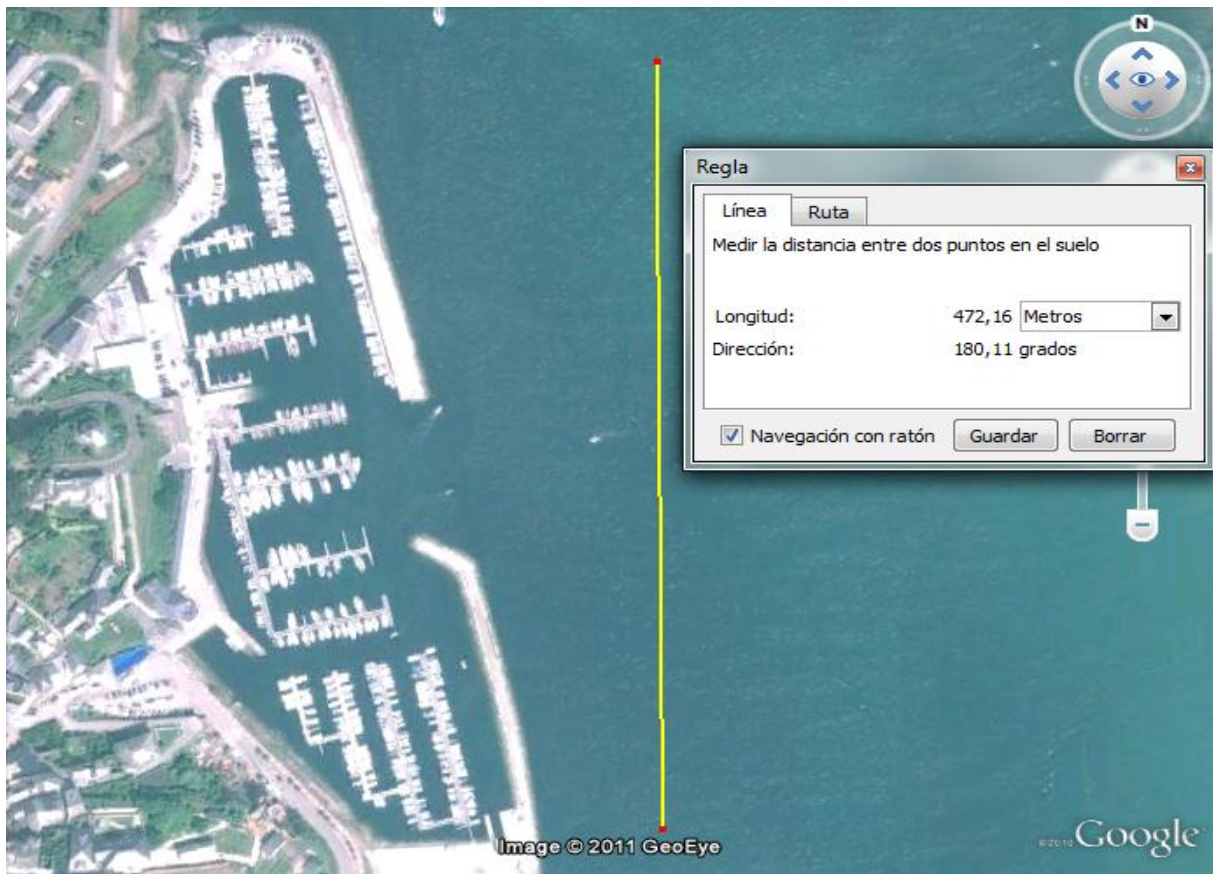
A komplett csomag tartalmazza a helymeghatározáshoz szükséges GPS vevőt, valamint az IMU-t, aminek bár egy ilyen apró hajó irányítása esetén nincs jelentős szerepe, a későbbi fejlesztések szempontjából még hasznos lehet, elsősorban a stabilizált kamera megvalósításához.

A rendszer rendelkezik egy-egy telemetria-modullal is, így a hajón elhelyezett kontrollert a parton levő számítógép segítségével el tudjuk érni, így módosítva az előre eltervezett útvonalat. A kétirányú kapcsolat a hajó pozíciójának követése szempontjából is hasznos. A fejlesztés korai fázisában egyelőre csak a „nyomkövetés” funkció aktív.

5. A hajó tesztelése

5.1. A helyszín: Puerto Deportivo Club Náutico de Ribadeo

A hajó élesben való kipróbálására a Topcad S. L. ribadeói központja közelében található sportkikötőt választottuk (43.539714°N, 7.034619°W). A helyszíneresésnél fontos szempont volt, hogy a vízfelület lehetőség szerint minél zártabb legyen, egy esetlegesen felmerülő műszaki hiba esetén ez meggátolja a katamarán elsodródását, illetve elszökését. A hullámtörő gátakkal körülvett, valamint a hajók tárolásához használt mólókkal sűrűn teletűzdelt kisméretű kikötő ennek a feltételnek tökéletesen megfelelt.



20. Ábra: A ribadeói kikötő Google Earth-ön

A mólók közötti szűk járatokon való navigáció szintén jó lehetőség a hajó irányításának megismerésére és elsajátítására.

A legfontosabb céltermészetesen a műszer tesztelése, illetve a mért adatok feldolgozása és vizualizációja.

5.2. A mérés és az adatok utófeldolgozása a Hypack programmal

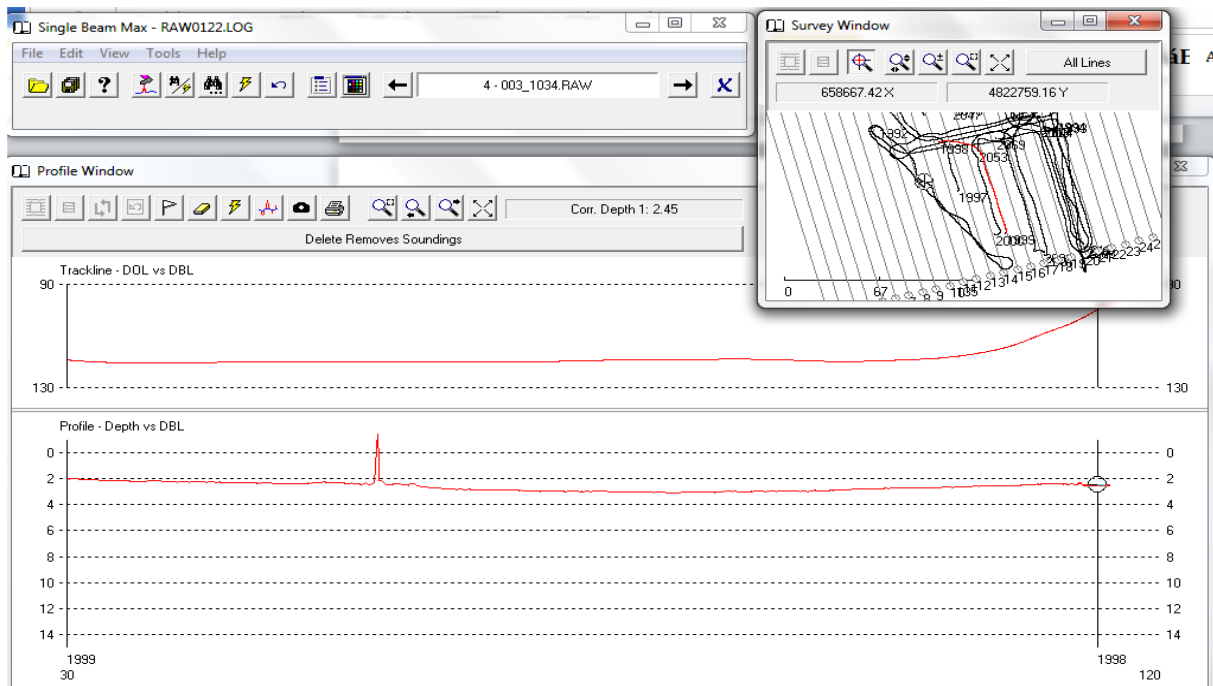
A tervezéshez, valamint a mért adatok utófeldolgozásához a hidrogáfusok körében elterjedtnek számító Hypack programot használtam. Ezen utófeldolgozás célja egyfelől a más szoftverek által nehezen értelmezhető nyers adatformátumban (.raw) tárolt adatok egyszerűen vizualizálható formára való alakítása, ami jelen esetben egy XYZ fájl jelent. Másrészt szükséges a nyers adatsor szűrése, mivel a mérések között előfordulhatnak hibás eredmények. Ezek szűrése lehet automatikus, például egy alul-, illetve felülvágó szűrő alkalmazásával, ami az irreálisan sekély, illetve mély mért értékektől segít megszabadulni. Emellett természetesen célszerű a “felügyelt szűrés”, azaz az mérési profilok manuális megtekintése, és szükség esetén a hibák javítása.

Alapként felhasználtam a városról készült felmérési adatbázis bizonyos elemeit, ami elsősorban a mért adatok térbeli elhelyezésében, valamint értelmezésében jelent nagy segítséget. A következő ábrán a kikötő építményeinek körvonalai, valamint a mérési vonalak láthatók.



21. ábra: A mérési vonalak megjelenítése a Hypack programmal

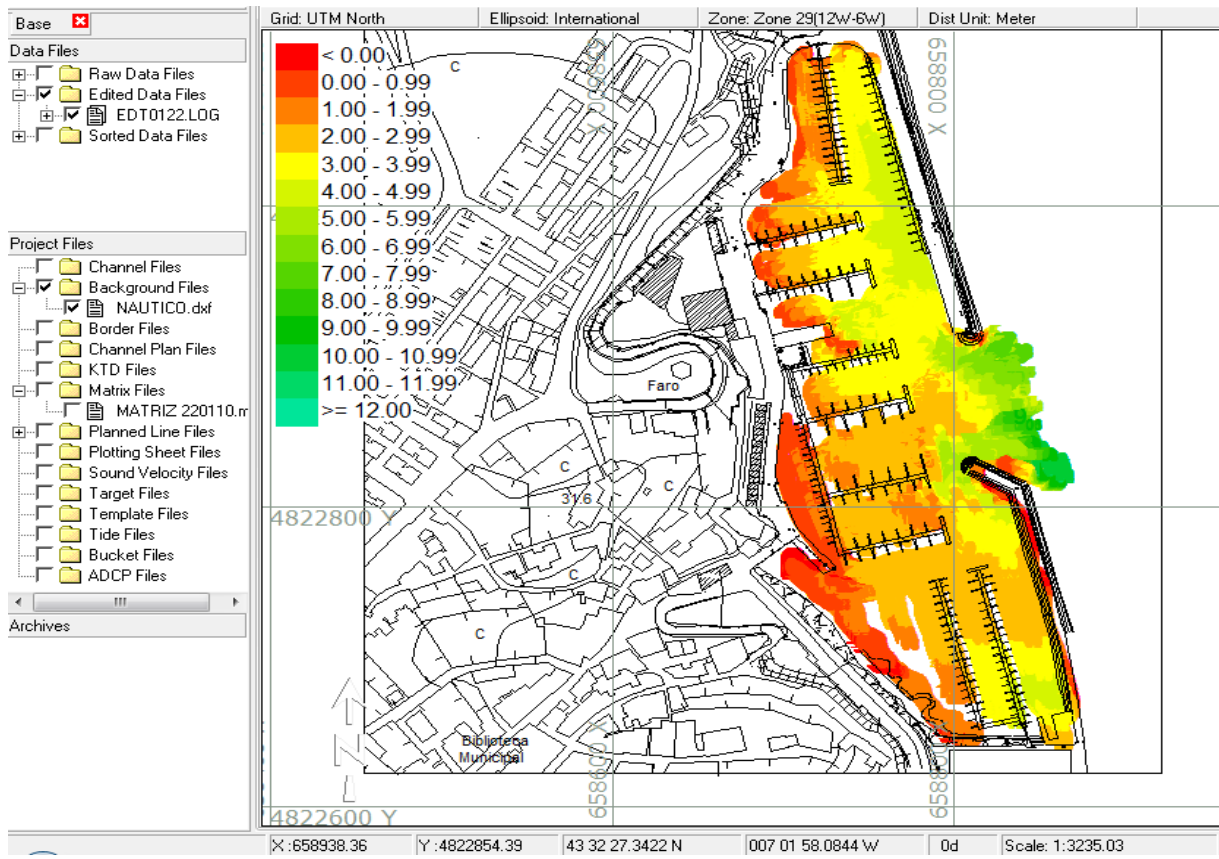
Az első feladat a Hypack Single Beam Editor moduljának segítségével az árapály jelenség által okozott vízálláskülönbségek korrekciója, hogy a mért mélységértékeink a helyi alapszintfelületre vonatkozzanak (Spanyolországban a lokális mérésekhez előszeretettel alkalmazzák a kikötők helyi referenciaszintjeit, szükség esetén a mért értékek átszámolhatók az alicantei, illetve amszterdami alapszinthez viszonyított magasságokra, illetve mélységekre). Ezt a program a mérés helyének és időpontjának ismeretében automatikusan megteszi.



22. ábra: A szelvények szerkesztése

A fenti ábrán a negyedik mérési szakasz profilja látható. Jól látható az egyhangú tengerfenéken található túske, ami bizonyosan hibás mérés. Simítás segítségével jó arányban eltüntethetőek ezek az apró hibák, ugyanakkor a simítószűrő használatát ebben az esetben is óvatosan kell kezelni, amennyiben nem akarunk adatvesztést a részletgazdag formáknál. A mérés törlése manuálisan is könnyen lehetséges, a rendelkezésre álló, viszonylag rövid adatsort tekintve érdekesebb ezt használni.

A korrekciókat végrehajtva a nyers adatokból megkapjuk az úgynevezett “Edited” adatokat. Ezekből a “Sort” modul elindítása után létrehozhatjuk a csak koordinátákat tartalmazó XYZ-fájlt, valamint lehetőségünk van az adatok ritkítására a mérési vonalak mentén, egymástól adott távolságra.



23. ábra: A szerkesztett adatok rétegszínezéssel megjelenítve

A kapott ASCII-fájlt ezután gyakorlatilag bármely térinformatikai szoftver segítségével feldolgozhatjuk, de e formátum adatai már egy szövegszerkesztővel megnyitva is könnyen értelmezhetők. A vízszintes koordináták a Spanyolországban használt UTM (Északi félgömb, 29. Zóna, ED50 dátum) rendszerben kerültek tárolásra.

RAW 0 43126.800 4 433235.75493 -	658783.17 4822864.11 -2.39
70220.04155 55.61540 105846.80000	658783.14 4822864.60 -2.43
TID 0 43126.800 -2.174	658783.10 4822865.20 -2.45
GYR 0 43126.747 350.976	658783.08 4822865.68 -2.49
EC2 1 43126.741 4.180 4.310	658783.02 4822866.41 -2.50
EC2 1 43126.806 4.200 4.340	658782.94 4822867.18 -2.53
EC2 1 43126.871 4.200 4.370	658782.85 4822867.69 -2.54
POS 0 43127.000 658747.390	658782.75 4822868.22 -2.57
4822789.746 4.170	658782.67 4822868.62 -2.63
QUA 0 43127.000 7 9.200 0.800	658782.57 4822869.15 -2.64
13.000 4.000 0.000 0.000 0.000	

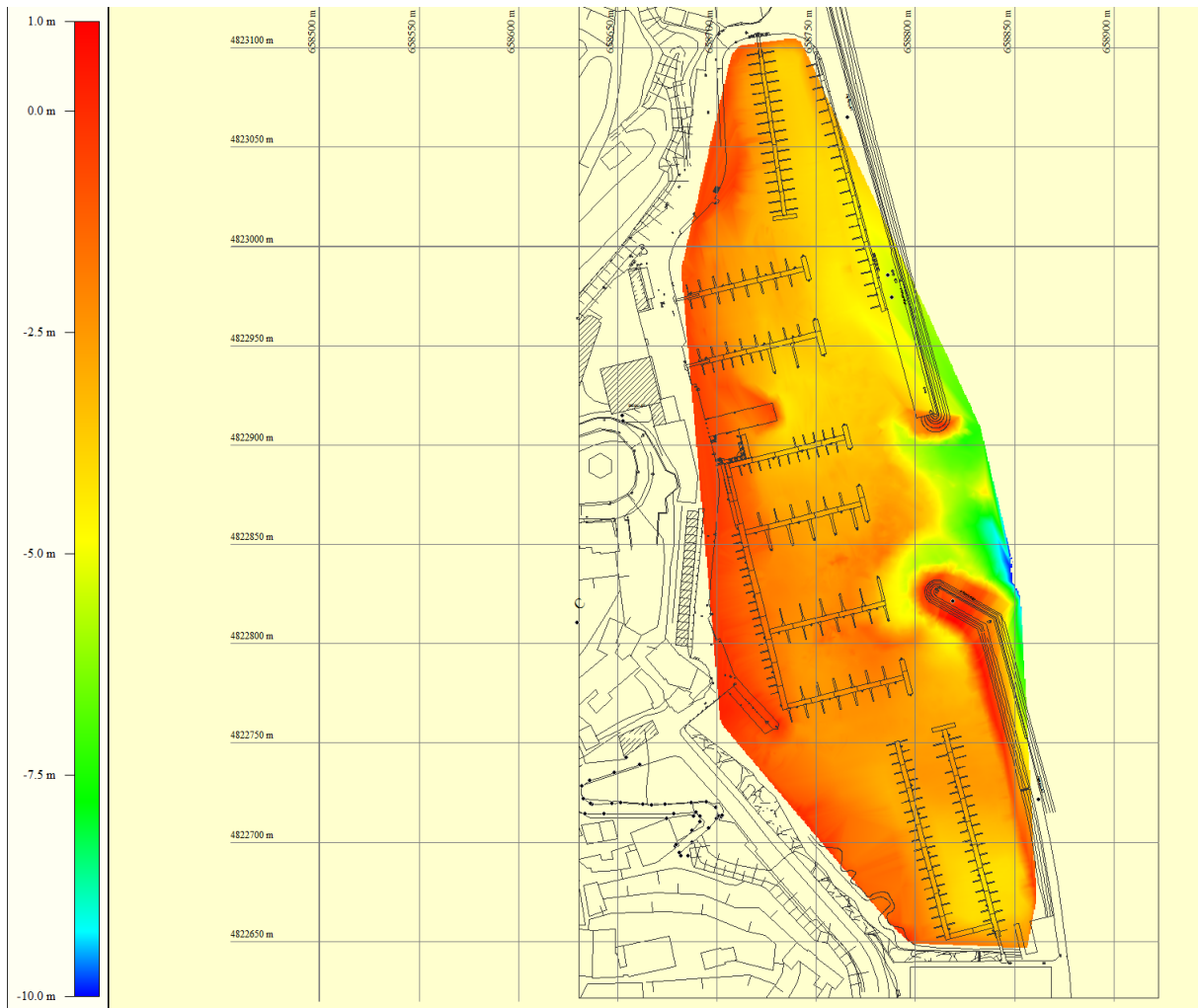
24. ábra: Balra a nyers adatok, jobbra a feldolgozás utáni XYZ-fájl

5.3. Az adatok megjelenítése a Global Mapper programmal

A domborzati adatok megjelenítésének látványos módja lehet egy ezekből származtatott digitális domborzatmodell, illetve egy mélységvonalas térkép, esetlegesen summerrel, valamint rétegszínezéssel kombinálva. Mindkét végtermék előfeltétele, hogy az ábrázolt terület minden pontján (meghatározott térbeli felbontás mellett) rendelkezünk magassági adatokkal, legyenek azok mért, vagy becsült adatok. Végezzük a további feldolgozást bármilyen szoftverrel, első lépésként a mérési vonalak közötti területek magassági értékeit kell becsülnünk (interpoláció). A térinformatikai szoftverek többféle matematikai módszer segítségével képesek ezt elvégezni.

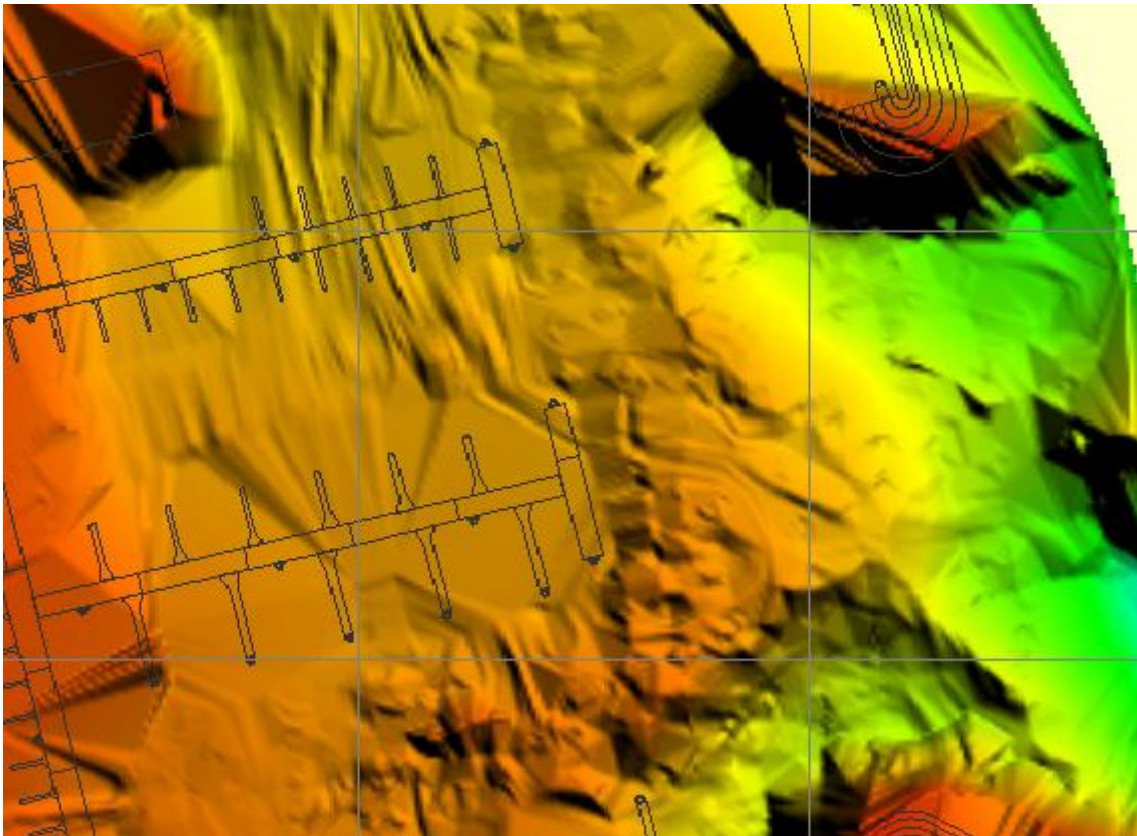
A Global Mapper egy rendkívül könnyen használható, ugyanakkor sok funkcióval rendelkező program, az mélységi adatok megjelenítésére, a TIN-modell generálására kitűnően alkalmas. Hátránya, hogy a modell generálásának módja kötött, és utólagos szerkesztésre sincs lehetőség. A program előnye, hogy a TIN-modellből automatikusan generálhatunk szintvonalakat (tetszőleges alapszintköz mellett), valamint hasonló egyszerűséggel készíthetünk domborzatárnyékolást, ami (szigorúan megfelelően nagy térbeli adatsűrűség esetén) nagyban megkönnyíti a meder domborzatviszonyainak vizualizációját.

Az ASCII-fájlként importált fájl (a “Treat 3rd coordinate value as elevation” checkbox kipipálása szükséges) pontjai rövidesen meg is jelennek a képernyőn, egyelőre csak a mérési vonalak mentén. Az üres területek adatainak interpolálásához a Control Centeren keresztül elérhető “Create Elevation Grid from 3D Vector Data” modul érdemes alkalmazni, az alapbeállítások segítségével pillanatok alatt létre is jön a felületmodellünk. A kikötő alaprajzát tartalmazó DXF-fájlt is behívhatjuk második réteggént, ami egy értelmezést segítő keretet ad a térképünknek (25. ábra). A fájl menü “Generate Contours” modulja a már rendelkezésre álló magassági adatok alapján képes az általunk meghatározott közönként a szintvonalak létrehozására. A szintvonalakat DXF-fájlként elmentve, majd egy tetszőleges grafikus szoftverben megnyitva az adatokból további feldolgozás után egy kartográfiai igényességű végterméket hozhatunk létre.



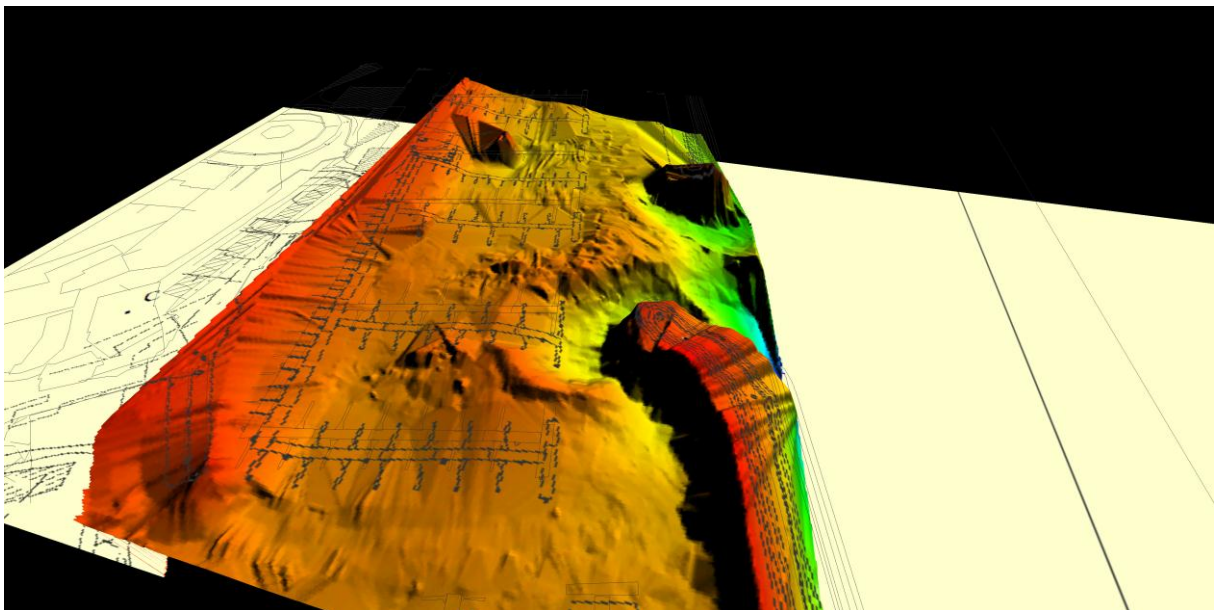
25. ábra: A mélységi adatok megjelenítése Global Mapperrel

Summerrel kombinálva még látványosabb képet kaphatunk, de ezt jelen esetben erős fenntartásokkal kell hogy kezeljük, a kikötő területéhez képest viszonylag alacsony számú mért adat miatt, melynek okai elsősorban a mólók, valamint az azokhoz kikötött hajók. Ezen területeken, mivel a szoftver interpolált adatokkal dolgozik, a valóságtól eltérő mélységi értékeket kaphatunk, mely az árnyékolásban is megmutatkozik, adott helyeken téves képzetet keltve a térképolvasóban. Tipikusan ilyen helyek a mérési terület széle, valamint a mólók és hullámtörők területei (26. ábra), ugyanakkor a mérési eredményekkel rendelkező területeken az egysatornás műszer adatainak viszonylag alacsony térbeli sűrűsége ellenére is rendkívül plasztikus képet eredményez.



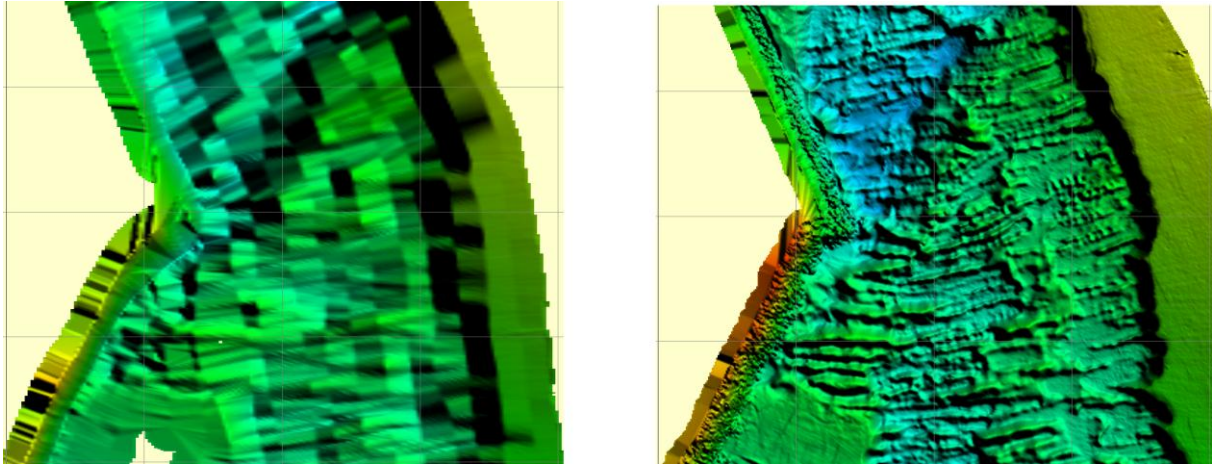
22. ábra: Domborzatárnyékolással kiegészített megjelenítés

Az igazán személetes kép eléréséhez érdemes a modellünket 3 dimenzióban megjeleníteni. A 27. ábrán látható modell háromszoros túlmagasítást alkalmaz.



23. ábra: A felületmodell megjelenítése három dimenzióban

A rendszer lehetőségeinek, valamint korlátainak felméréséhez véleményem szerint érdemes megtekinteni a TOPCAD által egy másik területen, először egy hasonló képességű, valamint összehasonlításképp a cég többcsatornás műszerével kivitelezett felmérés adataiból készült modellek egy részletét (28. ábra).



28. ábra: Az egy-, valamint többcsatornás műszer eredményeinek összehasonlítása (A koordináta-hálózat osztásköze 50 méter).

A látható kép alátámasztja a várható eredményt: bár megfelelően sok mérési vonal, ezáltal nagy adatsűrűség esetén az egycsatornás műszerrel is kaphatunk a valóságnak megfelelő képet a mederről, de az eredmény meg sem közelíti a centiméteres felbontással dolgozó többcsatornás szonda által elérhető színvonalat. A különbség leglátványosabban a mólók lábánál levő kőhalmoknál jelentkezik.

5.4. Az adatok megjelenítése az IDRISI Taiga szoftverrel

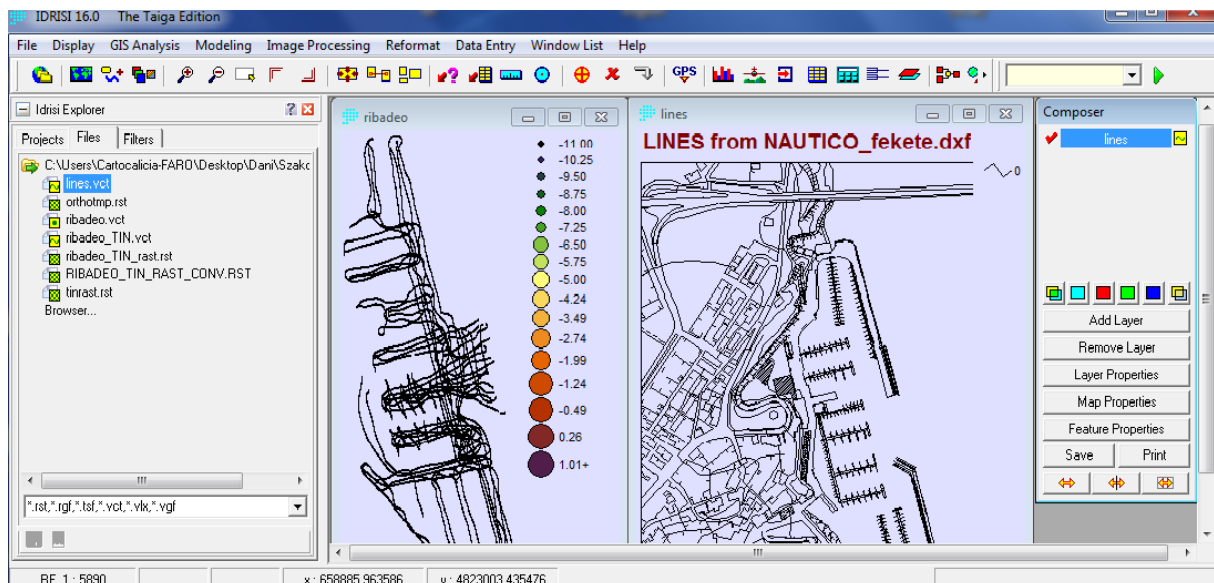
Az egyszerű megjelenítésen, valamint a szintvonalak generálásán kívül felmerülhet az igény, hogy a mért adatokat különböző célú, a térinformatika eszközeivel támogatott analízisnek vessük alá.

Vegyünk például egy különböző időpontokban felmért mederállapotokat tartalmazó adatbázist, amelyet a meder változásának nyomon követésére akarunk felhasználni. Hasonló eszközökkel ellenőrizhetjük, hogy egy kikötő medre mindenhol rendelkezik-e az akadálymentes hajózás szempontjából szükséges mélységgel, illetve amennyiben nem, úgy hol, és milyen mértékű beavatkozás szükséges.

Fontos és egyben érdekes összehasonlítás lehet a katamarán által mért adatok összehasonlítása a TOPCAD etalonnak számító, többsugaras rendszerének adataival (lehetőleg közel egy időben végzett felmérések esetén). A két mérés összehasonlításával hasznos következtetéseket vonhatunk le, elsősorban a katamarán mérési eredményeinek megbízhatóságának szempontjából. Sajnálatos módon a leadási határidőig nem állt rendelkezésre azonos területen mért, időben összevethető adatsor az összehasonlító elemzés elvégzéséhez, de ennek végrehajtása a katamarán, mint mérőeszköz kalibrációjának ellenőrzése szempontjából a későbbiekben mindenképp szükséges.

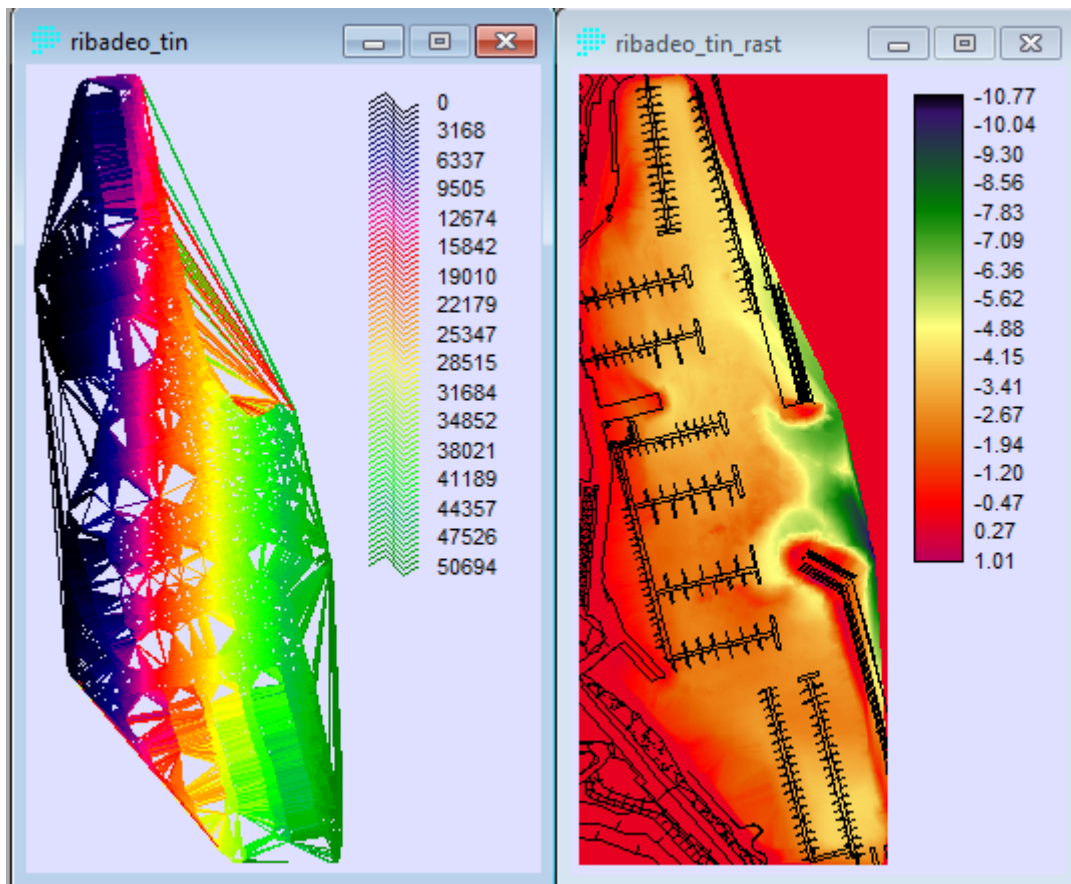
Ezekhez az elemzésekhez már egy térinformatikai szoftvert célszerű használnunk, jómagam a külföldi tanulmányaim során megismert IDRISI Taiga programot alkalmaztam, ami rendelkezik ugyanazokkal a funkciókkal, amiket a Global Mapperben már használtam, valamint rendelkezik számos egyéb funkcióval, ami a hasonló jellegű adatsorok vizsgálatánál hasznosnak bizonyulhat.

A korábban alkalmazott fájlok megnyitása itt sem ütközik akadályokba, a Taiga rendelkezik a DXF-, valamint ASCII-fájlok importálásához szükséges modulokkal, amelyek a bemeneti adatokat a fájl saját vektoros formátumára (.vct) alakítják (29. ábra). A szoftver fájlkezelőjében ezután megjelenik a két vektoros archívum, amelyeket megjeleníthetünk külön-külön, vagy akár két réteggként kezelve egy ablakban is.



29. ábra: Az adatok megjelenítése IDRISI-ben

Következő lépésben el kell végeznünk az üres területek magassági értékeinek interpolálását, valamint a TIN-modell elkészítését. Az IDRISI “TIN” modulja a bemeneti adatfájl megadása után a két feladatot egyszerre végrehajtja, ráadásként egy lépésben képes egy változtatható felbontású raszteres adatállomány létrehozására is (30. ábra).

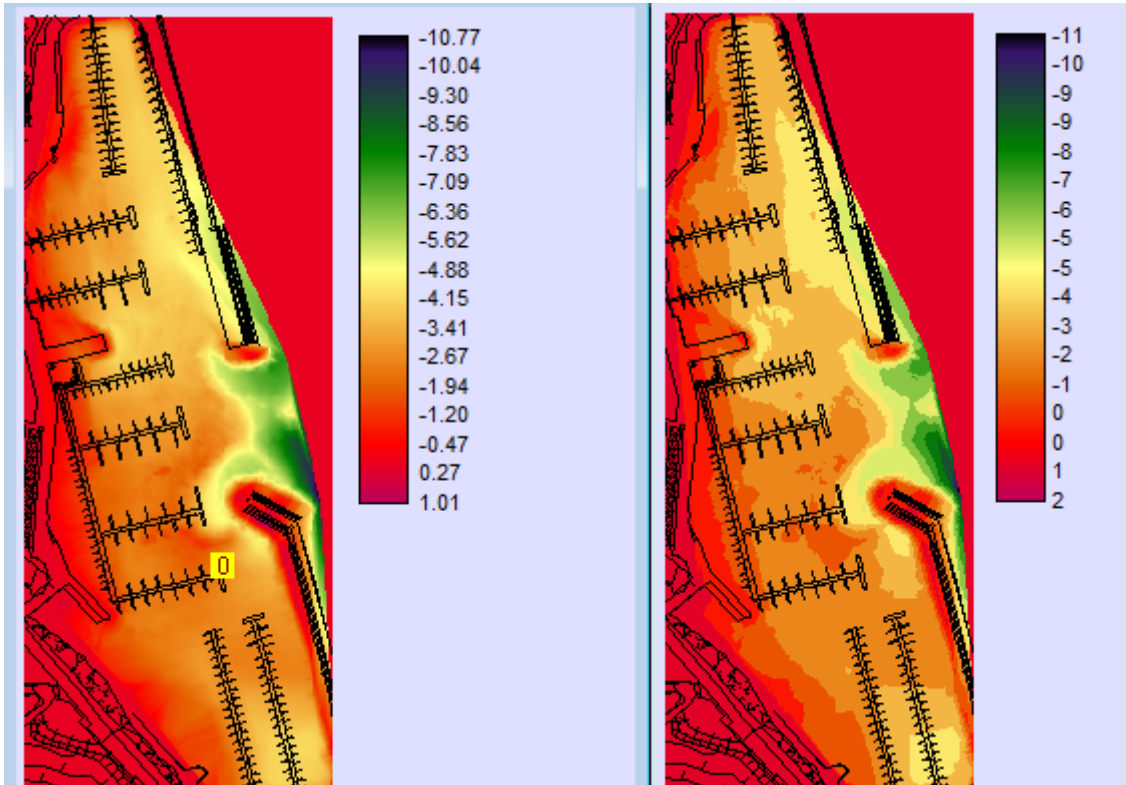


30. ábra: A TIN és a raszter alapú állomány

Amennyiben rendelkezünk két azonos területen készült adatsorral, lehetőségünk lenne az “OVERLAY” modul használatára, ami két, egymással fedésbe hozható raszteres állomány közötti műveletek elvégzésére képes. A megfelelő pixelek (amelyek egyben vetületi koordinátákat is jelentenek) értékeinek egymásból való kivonása által mérhetünk időbeli változásokat, valamint az azonos időpontban mért adatok összehasonlítására is ez az eszköz lehet a legmegfelelőbb választás.

A mélységértékek színezése alapesetben az előforduló mélységértékek, tehát az adatsor minimuma és maximuma által meghatározott tartomány 256 részre való osztásával történik. Praktikus lehet az adatok újraosztályozásával saját magunk által meghatározott, egész számú mélységértékek mentén elkülönülő rétegek létrehozása, amire a “RECLASS”

modul kiválóan alkalmas. Ennek alkalmazásával létrehozhatunk meghatározott mélységvonalak mentén kategorizált, szintén szemléletes, rétegszínezéses térképet (31. ábra).



31. ábra: Az eredeti és az újraosztályozott mélységadatok megjelenítése

A szint-, illetve mélységvonalak generálására ez a program is képes (“CONTOURS” modul), valamint létrehozhatunk summert is, majd ezeket valamely általánosan használt formátumban elmentve szintén felhasználhatjuk egy grafikus programban egy kartográfiai szempontból magasabb szintet képviselő végtermék előállítására.

6. Összefoglalás, zárszó

Összefoglalás írása semmi esetre sem egyszerű valamiről, ami szinte még el sem kezdődött. Diplomamunkám csupán megörökítése egy újszerű mérőeszközzel való első szárnypróbálgatásnak, de a mérőkatamaránban rejlő potenciál teljes kiaknázására valószínűleg még hónapok, akár évek kérdése.

Ami kijelenthető: A hajó fejlesztésének elsődleges célja, miszerint a piacon elérhető, hasonló célú mérőeszközök árához képest alacsony költségvetéssel építsünk meg egy mederfelmérésre alkalmas távirányítású hajót, teljesült.

A szakdolgozatból levonható következtetés, hogy a hajó a jelenlegi, kezdetlegesnek mondható állapotában is képes elvégezni a tőle elvárt alapfeladatokat, mindezeket a közvetlen konkurencia, valamint a nagyhajós felmérések anyagi ráfordításának töredékéért.

A tesztek során megmutatkozott legnagyobb előny a hajó vártnál is jobb irányíthatósága, valamint kezelésének könnyű elsajátítása. A mechanikus és elektronikus eszközök megbízhatósága is egyre javul, a hajó tömege és mérete apró lépésekben csökken, a szállításhoz még a célként kitűzött furgon sem szükséges, egy kiskategóriás autó csomagtartójában a mérés helyszínére vihetjük a műszert, ahol akár egy (jó erőben levő) ember is képes végrehajtani a mérést.

Ugyanakkor be kell látnunk, hogy a mérőműszerek mai fejlettsége mellett a könnyű és egyszerű egycsatornás rendszer már kellemetlen kompromisszumnak minősül. A többcsatornás műszereket gyártó cégek körében megfigyelhető a méret csökkentésére irányuló tendencia, így a közeljövőben elképzelhető, hogy elérhetővé válik majd egy olyan "Multi-beam" mélységmérő, amely a hajó teherbírását figyelembe véve opció lehet.

A mélységmérés minőségének javítása, valamint a munkamenet gyorsítása mellett élénk érdeklődés mutatkozik a hajó más műszerekkel való felszerelése iránt is, amelyek segítségével a hagyományos mederfelmérések mellett a hajó célterületein (sekély, illetve védett, vagy nehezen megközelíthető vizek) másfajta mérések is elvégezhetők lesznek.

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőimnek, Mészáros Jánosnak és Márton Mátyásnak a támogatást, az ellenőrzést, a hasznos tanácsokat, melyek előrevittek a dolgozat megírásában.

Köszönettel tartozom a Cartogalicia S. L. cégvezetőjének, Marcos Lopez Sancheznek, aki lehetővé tette a hajóépítő projekt megvalósítását, valamint rengeteg hasznos tanáccsal látott el a megvalósítás közben, valamint Ricardo Barreirának, akinek tapasztalata hatalmas segítséget jelentett a mérőeszközök megismerésében és használatában.

Hatalmas hálával tartozom Nagy Attila barátomnak, akinek segítsége nélkül sosem lett volna lehetőségem szakmai gyakorlatomat a Cartogaliciánál eltölteni.

Végül, de nem utolsó sorban szeretnék köszönetet mondani családomnak, akik biztosították számomra a tanuláshoz szükséges hátteret.

8. Irodalomjegyzék

Felhasznált irodalom

- David N. MacLenn-Ingvald Ellingen: Simple Calibration Technique For The Split-beam Echo-sounder, FiskDir. Skr. Ser. HavUnders, 1989
- International Hydrographic Organization: Hydrographic Dictionary (Fifth Edition), Monaco, 1994.
- International Hydrographic Organization: Manual Hydrography, Monaco, 1994.
- J.H. Hawley: Hydrographic Manual, U.S. Government Printing Office, Washington, 1931.
- Klinghammer István-Papp-Vári Árpád: Földünk tükre a térkép, Budapest, 1983, 263. old.
- Márton Mátyás: A Világtenger (A térképezéstől a komplex leírásig), MTA doktoriértékezés, Budapest, 2010.
- Márton Mátyás: Az óceán- és tengerfenék domborzata (Tenger alatti felszínek ábrázolása kis méretarányú térképeken), Doktori értekezés, Budapest, 1985.
- Márton Mátyás: Luigi Ferdinando Marsigli gróf, a tengerkutató. Geodézia és Kartográfia 57: (1) pp 35-39. (2005)

- Michael Allaby: Oceans: A Scientific History of Oceans and Marine Life, Facts on File Inc., New York, 2009.
- National Oceanic and Atmospheric Administration: Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables (2011 edition)
- Syqwest Incorporated: HydroBox Hydrographic Echosounder Manual, 2006.

Felhasznált internetes források

- <http://oceanexplorer.noaa.gov/history/quotes/soundings/soundings.html>
- <http://www.waterencyclopedia.com/Oc-Po/Ocean-Floor-Bathymetry.html>
- <http://www.enotes.com/bathymetric-mapping-reference/bathymetric-mapping>
- <http://www.hydro-international.com>
- <http://www.dosits.org/science/advancedtopics/spreading/>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Bathymetry>
- <http://nuttyrave.blogspot.com>

Külső forrásból származó ábrák, képek

- 1. ábra: <http://www.evologics.de/en/products/sonobot/index2.html>
- 2. és 3. ábrák: <http://www.photolib.noaa.gov/brs/nuind63.htm>
- 4. ábra: <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-1003/c-9.pdf>
- 5., 8., 11., 12. ábrák: Syqwest Incorporated: HydroBox Hydrographic Echosounder Manual, 2006.
- 6., 7., 9. ábrák: United States Army Corps of Engineers: Engineering and Design - Hydrographic Surveying, 2002.
- 13. ábra: <http://www.stonex.it/>
- 15. ábra: <http://transpressnz.blogspot.com/2011/08/polynesian-sailing-catamaran.html>
- 16. ábra: <http://nuttyrave.blogspot.com/2011/02/catamarans-1663-2013.html>

