

Sidescan sonar¹ – najbolj razširjen akustični instrument v podvodni arheologiji

© Tina Žerjal
Glagoljaška 1c, Koper

Izvleček Članek obravnava geofizikalne tehnike in instrumente, ki so v rabi v podvodni arheologiji, predvsem sidescan sonar, akustični instrument za pregledovanje površine morskega dna. Avtorica pojasni njegovo delovanje in predstavi nekaj študijskih primerov iz slovenskega morja.

Ključne besede podvodna arheologija, sidescan sonar, Rex

Težavno delovno okolje, s katerim se spopada podvodna arheologija, narekuje prilagojen pristop dela. Ena od metod, s katerimi iščemo nova podvodna arheološka najdišča in raziskujemo njihove značilnosti, so geofizikalne prospekcije. Njihova uporaba se je v arheologiji začela že v šestdesetih letih 20. stoletja, tako na kopnem kot v vodi. Z nenehnim razvojem navigacije, elektronike in računalništva ter geofizikalnih tehnik samih postajajo slednje vse bolj dostopne tudi arheologom, ki dejavno sodelujejo že pri izvedbi meritev. Zadnji dve desetletji arheologi teh tehnik ne uporabljajo več le za iskanje ladij in drugih potopljenih objektov, temveč z njihovo pomočjo odgovarjajo tudi na arheološko bolj kompleksna vprašanja, kot so podepozicijski procesi v podvodnih okoljih in njihov vpliv na podvodna najdišča, lokacija nekdanjih prehodov preko rek, potek nekdanje obalne črte, geomorfološke značilnosti nekdanjih obal...

Podvodna arheologija in geofizika

Geofizikalne metode omogočajo sistematično pridobivanje informacij o arheološkem zapisu in kontekstih pod vodo pred začetkom podrobnejših raziskav. To je izrednega pomena, kajti voda – posebno še morje – predstavlja za najdišča in posamezne objekte tako škodljivo oz. agresivno okolje, da uporaba destruktivnih arheoloških metod v prenekaterem primeru ni smiselna.

Pri raziskavah arheoloških najdišč pod vodo so v rabi predvsem akustični instrumenti in magnetometri, ki omogočajo preglede večjih območij v krajšem času in delo v vremenskih razmerah in pogojih, ki so za potapljanje neprimerni. Z njimi iščemo nova najdišča, določamo njihovo lego, obseg, notranje strukture in prostorska razmerja ter pridobivamo informacije o širši in ožji okolici najdišč. Za nedestruktivne prospekcije manjših območij oz. za terenske preglede najdišč pogosto uporabljamo snemanje z video kamero in podvodno fotografijo.

Med izvajanjem geofizikalnih meritev na morju je nujno

¹ V slovenščini še nimamo ustreznih poimenovanj za nekatere predstavljene instrumente. Ker domači in tudi tuji hidrografi običajno uporabljajo kar originalno, angleško ime, se te prakse držimo tudi v pričujočem besedilu.

Abstract The paper describes the geophysical techniques and instruments applied to underwater archaeology, particularly the sidescan sonar, an acoustic instrument for surface prospection of the seabed. The author explains its operation and presents some case studies from the Slovenian sea.

Keywords underwater archaeology, sidescan sonar, Rex

potrebno natančno določiti položaj plovila in merjenih objektov. Za določanje položaja ladje je v rabi predvsem diferencialni GPS (Global Positioning System), medtem ko je za določanje položaja vlečenih senzorjev in daljinsko vodenih plovil na voljo več sistemov akustične navigacije (Jones 1999, 26-29).

V podvodni arheologiji najpogosteje uporabljamo akustične instrumente (sonarje). Zvok ima pod vodo dve prednosti pred svetlobo: zvočni valovi lahko prepotujejo velike razdalje skozi vodo brez večjih sprememb in pod nekaterimi pogoji lahko celo prodrejo v sedimente (pesek, mulj in glina), kar omogoča zaznavanje objektov, ki so popolnoma prekriti in zato niso vidni.

Z *enosnoprnimi* (ang. echosounder) in *večsnoprnimi sonarji* (ang. multibeam sonar system) izmerimo globine morskega dna na željenem področju, medtem ko s *subbottom* sonarjem (ang. subbottom profiler, sediment echosounder) pridobimo prečni prerez skozi sedimente morskega dna, zato ga uporabljamo za iskanje prekritih struktur, ki jih drugače nikakor ne bi bilo mogoče odkriti, ter za proučevanje stratifikacije sedimentov in s tem sedimentacije. Za kartiranje topografije morskega dna uporabljamo *sidescan* sonar (ang. sidescan sonar), ki je odličen pripomoček za hitro pregledovanje širših območij in je zelo učinkovit pri odkrivanju potopljenih objektov ali struktur na morskem dnu.

Poleg akustičnih metod je v podvodni arheologiji zelo razširjena tudi magnetometrija. Magnetometer je pasivna naprava, ki meri jakost zemeljskega magnetnega polja. Lokalne variacije ali t.i. magnetne anomalije kažejo na prisotnost najdišč z železnimi strukturami ali artefakti – topovi, sidri, ladijsko opremo –, ki so lahko tudi prekrita s sedimenti (Dean et al. 1992, 142). Iskalci zakladov in arheologi so magnetometrijo s pridom uporabili pri iskanju potopljenih španskih ladij ob obalah Novega sveta, ki so večinoma razbite in prekrite s peskom ali koralami (Mazel 1985, 87). Ker pa magnetometer ne zaznava drugih materialov razen železa, je njegova uporabnost omejena.

Raziskovalci nenehno razvijajo vse bolj in bolj dovršene geofizikalne instrumente, podvodna plovila na daljinsko

vodenje, navigacijske sisteme ter računalniško opremo (strojno in programsko) za zapisovanje podatkov in njihovo kasnejšo obdelavo. Z meritvami pridobljeni podatki so namreč le redko uporabni brez nadaljnje obdelave, marveč jih je potrebno ustrezno preoblikovati oz. pripraviti, da jih sploh lahko interpretiramo. Na voljo je cela paleta matematičnih filtrov, tehnik in programskih orodij za procesiranje, ki izhajajo iz področij seizmične teorije, matematike in računalništva. Veliko programskih orodij ponujajo že sami izdelovalci merskih instrumentov. Za pridobivanje uporabnih podatkov torej ni dovolj le poznavanje geofizikalnih tehnik, temveč je potrebno tudi določeno znanje o tem, kako merske podatke predelamo v uporabno obliko.

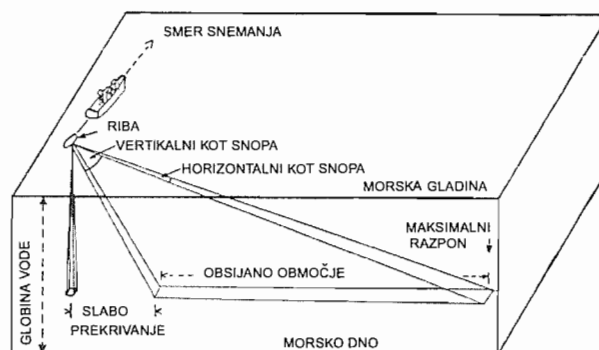
Podvodne geofizikalne prospekcije so povezane s precejšnjimi stroški, zato v arheologiji poskušamo uporabljati tudi podatke, ki so bili pridobljeni za drugačne namene (Draper-Ali 1998). Geofizikalne raziskave se namreč opravljajo pri napeljavah plinovodov, kablov za komunikacije in drugih cevovodov, za geološke, oceanografske in seizmične študije idr.

Sidescan sonar

Osnova za razvoj *sidescan* sonarskega sistema je bil sistem ASDIC (Anti-Submarine Detection Investigation Committee), ki so ga med drugo svetovno vojno razvili za odkrivanje nasprotnikovih podmornic. V razvoj tega sistema so se v petdesetih letih prejšnjega stoletja vključili tudi civilni raziskovalci (Jones 1999, 37). Z napravo za opazovanje stranskih predelov morskega dna, ki jo je razvil profesor Harold E. Edgerton iz Massachusetts Institute of Technology, so leta 1964 našli ostanke brodoloma *Vineyard Lightship* v Buzzardovem zalivu v Massachusettsu (Delgado 1997, 385).

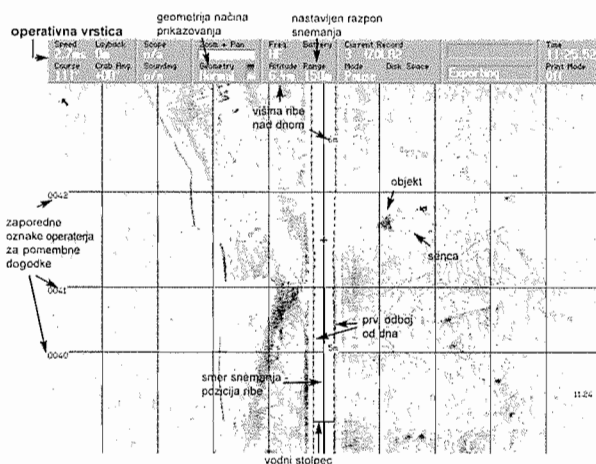
Kot je razvidno že iz imena, je bistvena značilnost *sidescan* sonarja, da je snop žarkov, ki ga oddaja, usmerjen vstran (slika 1). To omogoča sprejem odbojev od veliko širšega območja kot pri enosnopnih ali *subbottom* sonarjih, ki imajo snop žarkov usmerjen vertikalno proti dnu. Poševni vpadni kot je ugoden za odkrivanje ovir, objektov in struktur morskega dna, ki jih z navadnim sonarjem ne zaznamo. S *sidescan* sonarjem si lahko na enostaven način ogledamo široka območja morskega dna, zato ga pogosto uporabljamo pri iskanju določenih objektov na morskem dnu v velikem volumnu vode. Ko iskani objekt najdemo, dobimo poleg njegove točne lokacije tudi podatke o stanju ohranjenosti in njegov trenutni profil nad morskim dnom (Fish, Carr 1990, 11). Osnovni elementi *sidescan* sistema so: vlečna riba (ang. towfish), nadzorno-

prikazovalna enota (računalnik: zapisovalnik/procesor z zaslonom in s tiskalnikom) in elektromehanični vlečni kabel. Med meritvami vlečemo potopljeno ribo za seboj po ravni liniji snemanja s konstantno hitrostjo in na konstantni globini. Riba ima aerodinamično oz. hidrodinamično obliko, ki omogoča lažje balansiranje, večjo stabilnost in sledenje smeri plovila med vleko. S preostalim sistemom na ladji je povezana z vlečnim kablom, sestavljenim iz močne jeklene žice in kablov za dovod električne energije, posredovanje pridobljenih podatkov in prenos operaterjevih ukazov pretvornikom v ribi (Habert 1989, XXX.5). Riba namreč vsebuje dva elektroakustična pretvornika (ang. transducer), ki sta hkrati oddajnika in sprejemnika zvoka. Električno energijo spreminjata v mehansko oz. zvočno in obratno, sprejeto zvočno energijo spreminjata v električne impulze. Delujeta neodvisno eden od drugega, tako da med vlečenjem sevata zvočne impulze v natančnih in reguliranih intervalih vsak na svojo stran. Glavni snop žarkov vsakega pretvornika je pahljačaste oblike: zelo ozek v smeri plovbe (pribl. 1-2°) in širok pravokotno nanjo (20-40°; Jones 1999, 39). Tik zatem, ko pretvornika oddata signal, sistem sprejme povratne odmeve, ki so se odbili od dna ali druge ovire na obsijanem območju. Sprejema jih določen čas oz. vse dokler ni oddan naslednji impulz. Sprejeti odmevi enega oddanega impulza so amplificirani in prikazani na zaslonu ali izrisani na tiskalniku kot ena linija s temnimi in svetlimi pikami, ki predstavljajo močnejše in šibkejše odboje v odvisnosti od časa. Celoten postopek se ponovi po večkrat na sekundo. Podobno kot je televizijska slika sestavljena iz mnogih linij, se tudi tu stotine linij izrisujejo ena nad drugo in šele skupaj dajo pravo informacijo, s katero si lahko predočimo morsko dno (Fish, Carr 1990, 17). Izmerjeni rezultati so hkrati z navigacijskimi podatki shranjeni v digitalni obliki za kasnejšo obdelavo (Fish, Carr 1990, 42).



Slika 1: Geometrija snopa pri *sidescan* sonarju za desni pretvornik (po Habert 1989, XXX.1: sl. 1).

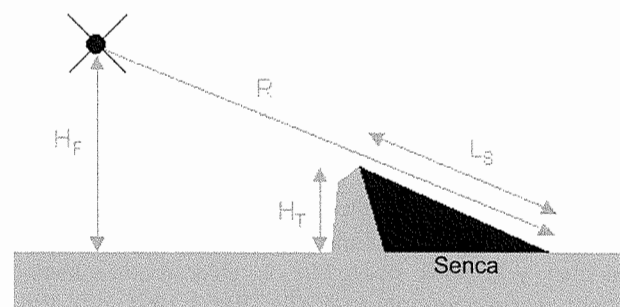
Rezultat meritev je sonograf (slika 2), slika, ki spominja na aerofotografijo, le da je narejena na osnovi širjenja zvoka in ne svetlobe. Morsko dno prikazuje kot horizontalno ravnino, ki jo opazujemo od zgoraj. Ozka linija v sredini slike predstavlja pot ribe. Levo in desno od nje se izrisujejo podatki, ki jih sprejemata oba pretvornika. Začnejo se s prvim odbojem od morskega dna. Belo območje med ribo in prvim odbojem dna nam prikazuje vodni stolpec pod ribo, kar ustreza višini ribe nad dnom. Ko se zvočni valovi odbijejo od neke ovire ali objekta na morskem dnu, so prikazani kot temnejša področja. Ker se od ovire odbije skoraj vsa zvočna energija, je območje za njo zelo slabo obsevano, kar vidimo kot akustično senco oz. belo liso na zapisu. Poleg teh pa so na zaslonu in sonarskem zapisu prikazani še nekateri drugi podatki in namestitve sonarja, ki so pomembni za operaterja in interpreta in se zapisujejo na tretjem kanalu podatkov (Fish, Carr 1990, 18-20).



Slika 2: Razlaga zapisa *sidescan* sonarja – sonografa.

Sonograf je le navidezni vertikalni posnetek dna. V resnici so prvi odboji skoraj vertikalni, medtem ko so odboji od oddaljenih območij skoraj horizontalni. V normalnem načinu prikazovanja so podatki prikazani tako, kot so pridobljeni: razdalja med posamezno točko in ribo ni horizontalna, marveč prikazuje čas potovanja zvoka oz. poševno razdaljo med točko in ribo, dolžina izrisa rezultatov pa je neposredno odvisna od hitrosti pomikanja ladje nad dnom. Ker je ena osnovnih funkcij *sidescan* sonarja pridobivanje podatkov s točnimi pozicijami, je popravljanje teh napak pomembno. Novejši sistemi, ki omogočajo digitalni zapis, lahko pri prikazovanju podatkov odstranijo vodni stolpec in z izjemno natančnostjo popravijo

popačenost zaradi poševne usmeritve snopa žarkov (ang. slope range correction). Na osnovi navigacijskih podatkov računalnik po potrebi posnetek tudi razvleče ali stisne glede na hitrost gibanja ladje nad morskim dnom v trenutku snemanja (Fish, Carr 1990, 24-32). Šele ti popravki dajo ortogonalno sliko. Z digitalno popravljenimi podatki lahko ustvarimo mozaike širših območij morskega dna.



Slika 3: Senca je odvisna od objekta pred njo. Višino objekta (H_T) lahko določimo z merjenjem poševne razdalje (R), višine ribe (H_F) in dolžine sence (L_S) in izračunamo s formulo $H_T = L_S * H_F / R$. Akustične poti zvočnih signalov oklepajo namreč dva podobna pravokotna trikotnika, ki imata za oglišča ribo, morsko dno, vrh objekta in konico sence objekta (Quinn 2001; Fish, Carr 1990, 90: sl. 78).

Na voljo je cela paleta različnih *sidescan* sonarskih sistemov, ki so prirejeni za različne globine in najrazličnejša okolja, tako za ekstremne pogoje v globinah oceanov kot za mila okolja v jezerih in rekah. V sladkih vodah dobimo celo boljše rezultate kot v morju. Večina sistemov je prenosna in primerna za vsako plovilo. Delujejo na različnih frekvencah, glede na potrebe. Ker je *sidescan* sonar vgrajen v ribo, ki jo vlečemo za seboj, je njegovo delovanje v plitvih vodah zelo omejeno. Globina vode mora znašati vsaj nekaj metrov, saj so rezultati meritev uporabni le, če je riba potopljena in vsaj dva metra nad dnom.

Resolucija pridobljenih slik je odvisna predvsem od izbire frekvence. Zvok se pri nižjih frekvencah (25, 27 ali 50 kHz) širi dlje, zato je ena sama linija meritev pokrije širše območje, vendar pa je resolucija slabša. Višje frekvence (300-500 kHz) lahko zaznajo objekte reda velikosti 10 cm, toda širina pregledanega dna je v tem primeru izjemno majhna. Kompromis med optimalnim razponom in visoko resolucijo so *sidescan* sonarji srednjih frekvenc (90-200 kHz), ki so uporabni za večino aplikacij (Fish, Carr 1990, 41-42).

Za globokomorske študije so v rabi *sidescan* sonarji, ki so prirejeni za težavne razmere na oceanu in za snemanje

z zelo širokim razponom, tudi do 900 metrov. So veliko bolj robustni in zahtevajo uporabo armiranih kablov (za globine nad 75 m) ter posebnih električnih ali hidravličnih vitlov za dviganje in spuščanje (Jones 1999, 47).

Pomembno je, da je *sidescan* sonarski sistem nastavljen tako, da je možnost, da bo tarčo obsijal brez dodatnega spreminjanja nastavitev, čim večja. To je odvisno predvsem od kotne širine snopa žarkov, hitrosti plovila nad dnom, nastavljenega razpona in frekvence. Šele drugotnega pomena so izkušnje operaterja-interpreteta, ki na zvočni sliki prepozna anomalijo ali tarčo (Fish, Carr 1990, 38-39). Da bi zapise lahko razumeli, moramo razumeti njihov nastanek in vedeti, kakšne zapise producirajo različni tipi morskega dna, razne naravne in umetne tvorbe. Isti objekt je lahko na različnih *sidescan* sonarskih zapisih prikazan različno glede na frekvenco sonarja, tip morskih tal in smer, v kateri se riba giblje oz. glede na to, s katere strani zvočni žarek objekt obsije (Blake 1995, 42). Priporočljiva je čim večja prekritost območja in snemanje iste tarče iz različnih smeri, kar omogoča lažjo interpretacijo in natančnejšo določitev položaja ter izločanje lažnih točk, ki jih povzročajo termokline, goste jate rib, obrati ladje in nestabilnost vlečne ribe.

Na grafičnem zapisu je topografija morskega dna prikazana kot neke vrste negativna slika, sestavljena iz akustičnih viškov in senc. Čim gostejši je objekt, tem močnejši je odbiti signal in tem temnejša je slika. Sence so svetlejša območja sonarskega zapisa, področje, od katerega se je odbilo zelo malo ali nič zvočne energije. Vsak trd objekt, ki štrli iz morskega dna, odbija več energije kot okoliško področje, kajti akustični impulz ga zadene pod manjšim vpadnim kotom. Ker se od tega objekta odbije velik del zvočne energije, so nekatera območja direktno za njim obsijana z manj energije in je manj tudi odbijejo. Na zapisu se to območje pojavi kot svetlejša lisa, objekt pa kot temnejša. Akustične sence na zapisu so lahko tudi posledica sestave dna ali objekta iz materialov z manjšo odbojnostjo (npr. mehki ali gladki sedimenti, nekatere vrste lesa) in področij, ki so obrnjena tako, da dajejo manjši delež odboja (pobočja, padajoča v smeri stran od pretvornika, razne depresije...). Skale in prod so npr. boljši reflektorji kot pesek in mulj (Fish, Carr 1990, 81-83).

V termalno homogeni vodi je hitrost zvoka dokaj konstantna, poti žarkov pa lahko obravnavamo kot ravne linije. Oblika sence nekega objekta je zato direktno povezana z obliko objekta samega (slika 3). Dolžina sence pa je odvisna predvsem od višine ribe nad dnom in vpadnega kota zvočnega signala. Iz nje lahko izračunamo višino iskanega

objekta. Včasih oblika in intenziteta sence o objektu povesta več kot odboji od samega objekta (Fish, Carr 1990, 83-89).

S *sidescan* sonarjem lahko uspešno pregledamo skoraj vsak tip dna ali podvodnega arheološkega najdišča, tako za brodolome, kakor tudi za druge strukture, ki jih opazimo kot ravne linije, skupine manjših objektov ali kot anomalije v sicer dokaj homogenem okolju. S tem instrumentom lahko zelo dobro proučimo površje morskega ali jezerskega dna, ne moremo pa prodreti v sedimente. Izredno učinkovit je pri iskanju potopljenih modernih ladij (18.-20. stoletje), medtem ko je ugotavljanje starejših brodolomov težavnejše. Zaradi različnih podepozicijskih procesov je namreč konstrukcija lesenih ladij močno poškodovana in pogled nanje z vrha velikokrat v ničemer ne spominja na obliko ladje. Prav tako je interpretacija zelo neučinkovita na nehomogenem dnu, kjer lahko kopica skal in razgibana topografija zasenčita prave tarče.

Študijski primeri iz slovenskega morja

Ob različnih priložnostih sem z akustičnimi instrumenti premerila nekatera potencialna in že znana arheološka podvodna najdišča v slovenskem morju.² Opravila sem dve vrsti meritev:

- a) merjenje globin z enosnopnim sonarjem ELAC Hydrostar 4300 s frekvenco 200 kHz in natančnostjo v danem obsegu (20 m) okoli 1 cm;
- b) snemanje morskega dna s *sidescan* sonarjem firme CMAX model CM800/S CX z visokofrekvenčno ribo, ki deluje na globinah do 500 m na frekvenci 325 kHz, kar je primerljivo z industrijskim standardom "500 kHz".

Vse opravljene meritve so bile izvedene z ladjo, ki je dolga 11 m in ima ugrez 1 m. Ladja je opremljena s sistemom DGPS, ima vgrajen enosnopni sonar in računalnik s programi za navigacijo, shranjevanje in obdelavo podatkov podjetja Harpha Sea, d.o.o. Koper.

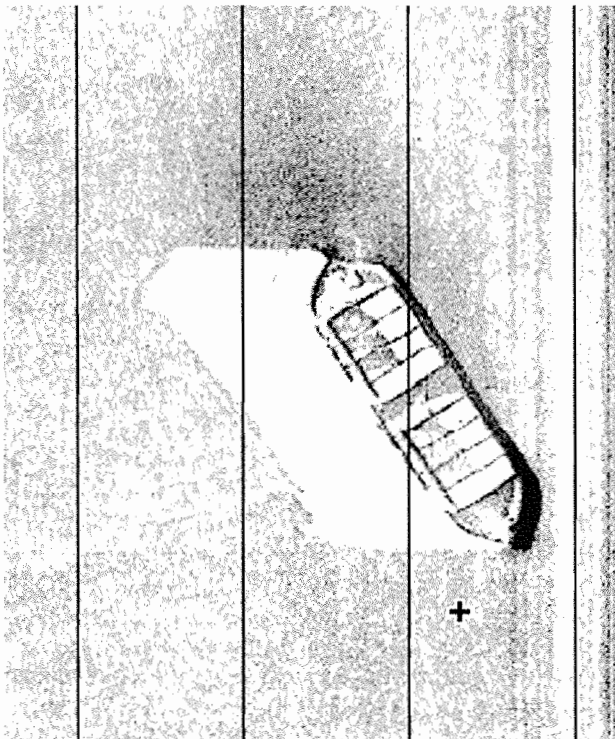
Pri meritvah na morju so sodelovali: kapitan-krmar Tomi Brulc in tehnična sodelavca Boris Gaberšnik (upravljanje z ribo) in Marko Jeklar (nadzor nad navigacijsko opremo).

Maona

V drugi svetovni vojni je bila 2,4 km jugozahodno od rta Madone v Piranu (azimut 238°) potopljena tovorna ladja

²Meritve in njihovo obdelavo je omogočilo podjetje Harpha Sea d.o.o. iz Kopra.

– maona. Ladja leži z gredljem v mulju na globini 20 m. Dolga je 28 m in široka 11,7 m (Knific 1993, 22-23). Na sliki 4 je lepo vidna njena železna konstrukcija.

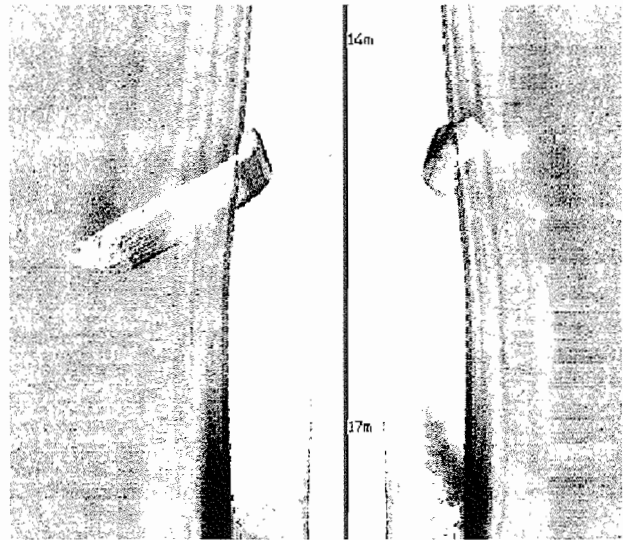


Slika 4: Posnetek maone z razponom snemanja 150 m na vsako stran.

Nemška vojaška ladja

Vojaška desantna ladja iz druge svetovne vojne leži potopljena 2,9 km severno od rta Madone v Piranu (16° proti vzhodu). Ladja je prevrnjena in leži na palubi na peščenem dnu 24 m globoko. Železna ladijska lupina je dolga 47,30 m in široka 6,10 m (Knific 1993, 22). Podobno kot druge v priobalnem pasu potopljene ladje je bila tudi ta izropana, tako da na njej ni več dodatne oz. premične opreme. Ob meritvah je bil opravljen tudi potapljaški ogled, pri katerem je bilo ugotovljeno, da so bile odnešene tri manjše elise. Arheološko potapljaško ekipo so sestavljali arheologi-potapljači Peter Čerče, Andrej Gaspari in Miran Erič.

Oblika ladje in njen prerez sta bila z enosnopnim sonarjem posneta že v osemdesetih letih dvajsetega stoletja (Knific 1993, 22: slika 10), kar predstavlja edino uporabo sonarjev v arheološke namene pred pričujočo študijo.



Slika 5: Posnetek nemške vojaške ladje z razponom 75 m na vsako stran. Ker smo med snemanjem pluli direktno nad njo, je prikazana deloma na levem in deloma na desnem kanalu. Predvsem na desni se v vodnem stolpcu lepo vidi njen profil nad morskim dnom.

S posnetka (slika 5) je razvidno, da je obmjenjena, rahlo nagnjena na levi bok in pogreznjena v mulj.

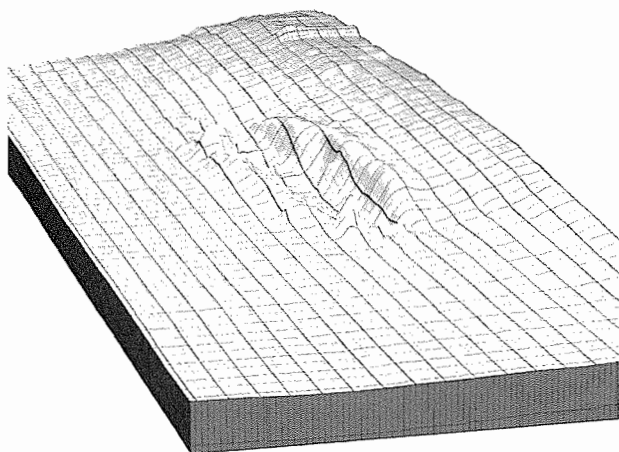
Rex

Pri snemanju širšega območja med Izolo in Koprom s *sidescan* sonarjem smo ugotovili točno lokacijo brodoloma italijanske čezoceanske ladje Rex. To je bila izredno razkošna ladja, dolga 268 m, široka 31 m in visoka ok. 36 m, zgrajena v začetku tridesetih let prejšnjega stoletja. Vse do začetka druge svetovne vojne je po "sončni južni poti" med Genovo in New Yorkom prevažala bogate potnike. Rex je najbolj znan po osvojitvi t. i. modrega traku leta 1933, ko je kapitan Tarabotto postavil hitrostni rekord v prečkanju Atlantika. V času druge svetovne vojne je bil zasidran v Trstu, kjer je bil podvržen dolgoletnemu ropanju razkošne opreme. 5. septembra 1944 so ga Nemci premestili v Koprski zaliv, na razdaljo 350 m od obale nekje med Koprom in Izolo. Že čez tri dni so ga tu potopili angleški lovski bombniki *beaufighters*. Rex je zagorel in se prevrnil na bok. Po vojni so jugoslovanske oblasti organizirale razkosanje ladje. Kovinske kose so natovorili na ladje, jih prepeljali v Pulo in od tam z železnico v Jesenice, kjer so v železarnah vse pretopili (Eliseo 1992).

Območje, kjer je bil potopljen Rex, je med domačini dobro znano, kar priča tudi toponim "Pri Rexu" na bližnjem predelu obale. Številni potapljači so ugotovili, da so po dnu na širšem območju razpršeni še mnogi kovinski ostanki.

Zaradi slabe vidljivosti, ki je značilna za naše morje, do sedaj nismo imeli prave predstave o tem, kaj je po razkosanju ladje sploh še ostalo.

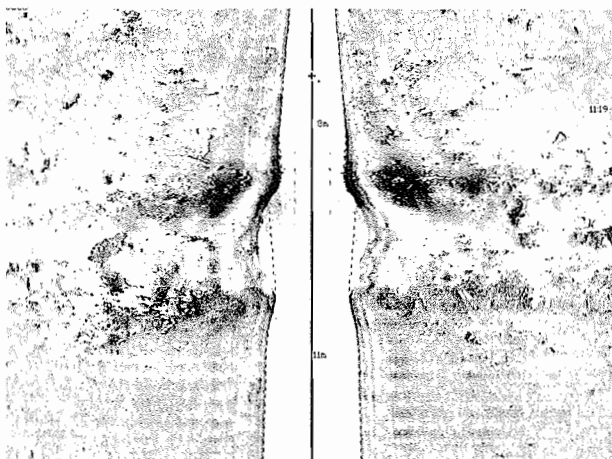
Kot osnovo geofizikalnih meritev ožjega območja, kjer je bil potopljen Rex, smo izvedli natančno meritev globlin. Nato smo celotno omočje posneli še z visokofrekvenčnim *sidescan* sonarjem in izdelali mozaik posnetkov.



Slika 6: Digitalni model reliefa – pogled od severozahoda proti jugovzhodu (izdelal: Sašo Poglajen).

Zaradi izrazite razgibanosti podvodnega reliefa je že obdelava surovih podatkov o globlinah povzročala obilico preglavic. Območje, kjer je bil Rex potopljen, je poleg tega bogato z ribami, zato je bilo le s pomočjo slik, posnetih s *sidescan* sonarjem, mogoče počistiti oz. odstraniti lažne odboje. Izdelava konturne karte območja in še posebej digitalnega modela reliefa (slika 6) je dala izjemne rezultate, saj se v rahlo padajočem podvodnem reliefu lepo pokaže poglobitev ali luknja, ki je ostala za Rexom – nekakšen odtis potopljene ladje. Poglobitev je dolga približno 161,5 m in na najširšem osrednjem delu široka 47 m. Njena relativna globina je 5 m. Vidno je, kako je ladja, ko je nasedla oz. ko se je potopila, narinila mulj na premcu in obeh vzdolžnih straneh. Maksimalna relativna višina severnega narivnega grebena nad naravnim okoliškim dnom je okoli 2 m, višina južnega pa okoli 1-1,5 m.

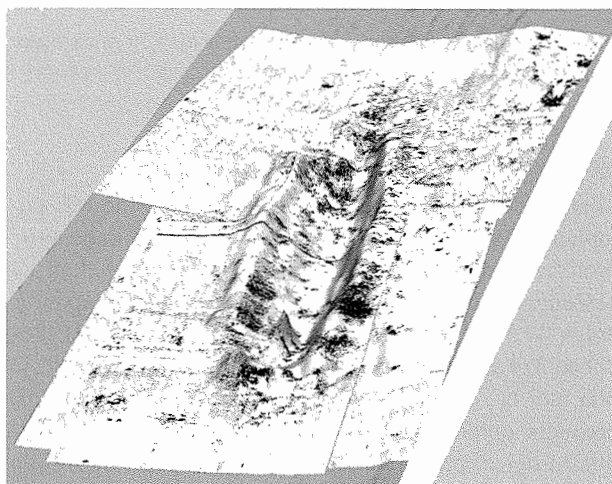
Poglobitev je vidna tudi na vseh posnetkih, narejenih s *sidescan* sonarjem, še posebej na prečnih snemalnih linijah (slika 7), medtem ko je na vzdolžnih snemalnih linijah slabše zaznavna, saj senca prvega grebena močno zasenči topografijo same luknje ter ponekod celo odboje drugega grebena. Južno in jugozahodno od poglobitve ležijo večji



Slika 7: Posnetek poglobitve, ki je ostala od ladje Rex (razpon snemanja 75 m, smer snemanja: pravokotno na daljšo os poglobitve, od morja proti obali).

ali manjši ostanki ladje, ki so verjetno pomešani s skalami različnih velikosti. Razločevanje med njimi je zelo težavno in bi zahtevalo potapljaške preglede na mestu samem.

Izdelali smo mozaik različnih posnetkov, ki daje pogled na celotno poglobitev. Če ga položimo na podvodni digitalni model reliefa, vidimo, da se podatki obeh tehnik uspešno prekrivajo (slika 8), posebno še glede posameznih izboklin znotraj luknje ter ob njej.



Slika 8: Mozaik *sidescan* sonarskih posnetkov na digitalnem modelu reliefa (izdelal: Sašo Poglajen).

Z ozirom na močno razgibani relief na območju luknje in močne odboje, ki so vidni na *sidescan* sonarskih podatkih, lahko domnevamo, da Rex ni bil v celoti razrezan. Pod muljem se verjetno še vedno skrivajo ostanki jeklenega

trupa, ki ponekod morda celo štrlijo iz dna. Na nekaterih posnetkih je namreč opaziti, da imajo posamezni zelo močni odboji dokaj pravilne oblike. Vendar pa je zgolj na osnovi sonografov *sidescan* sonarja zelo težko ugotoviti, kateri močni odboji so rezultat odboja od kovinskih objektov in kateri so le posledica velikih globinskih razlik oz. različnih izboklin in poglobitev. Da bi lahko ugotovili, koliko trupa je še ohranjenega pod muljem in na kakšni globini, bi morali uporabiti *subbottom* sonar.

Sklep

Morsko dno v slovenskem morju je idealno za odkrivanje recentnih brodolomov s *sidescan* sonarjem, saj na ravnem glinasto-muljastem dnu z lahkoto opazimo vse ovire in potopljene objekte. Manjši problemi se pojavljajo le v poraslih in plitvejših predelih. Razmeroma slaba uporabnost *sidescan* sonarja za odkrivanje starejših najdišč je posledica geomorfoloških značilnosti dna. Zaradi ugotovljene hitrosti sedimentacije namreč lahko domnevamo, da so starejša najdišča in objekti prekriti z vsaj nekaj decimetri mulja. Hitrost sedimentacije v Koprskem zalivu je bila določena z vrtnami in znaša približno 4-5 mm letno v spodnjih in 1-2 mm letno v zgornjih sedimentih (Ogorelec et al. 1997, 195-196), kar potrjuje tudi debelina sedimentov v rimskem pristanu v Viližanu, ki znaša vsaj 2 m (Šribar 1969, 272). Zato menim, da bo za resnično dobre rezultate nujna uporaba *subbottom* sonarskih sistemov (če le mogoče Chirp sonarja) in magnetetrov, s katerimi lahko odkrijemo tudi prekrite arheološke ostanke. Obe metodi sta uporabni tako za odkrivanje novih lokacij kot za podrobnejše spoznavanje že znanih.

Čeprav je število podvodnih arheoloških najdišč v slovenskem morju dokaj skromno, ne kaže obupati. Z uporabo ustreznih geofizikalnih metod bomo morda odkrili nova najdišča in s tem dodali nova spoznanja v mozaik vednosti o preteklosti tega prostora in ljudstev, ki so tod prebivala. Od morebitnih pokopanih in prekritih podvodnih najdišč si lahko obetamo veliko izredno zanimivih podatkov, saj smemo domnevati, da so razmeroma dobro ohranjena. Trenutno je ključni dejavnik pri uveljavljanju uporabe geofizikalnih metod in opreme v podvodni arheologiji pri nas še vedno denar. Le upamo lahko, da se bo z nadaljnjim razvojem instrumentov njihova cena zniževala in bodo postali lažje dostopni vsem potencialnim uporabnikom in ne le večjim institucijam.

LITERATURA

- BLAKE, V. S. 1995, Remote sensing in underwater archaeology, simulation of side scan sonar images using ray tracing techniques. – V: WILCOCK, J., LOCKYEAR, K. (ur.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* 1993, Tempus Reparatum. – *BAR Int. Ser.* 598, str. 39-44.
- C-MAX 1999: *Sonar CM800 user book*. – C-MAX Ltd.
- DEAN, M., FERRARI, B., OXLEY, I., REDKNAP, M., WATSON, K. (ur.) 1992, *Archaeology Underwater. The NAS Guide to Principles and Practice*. – Nautical Archaeology Society, Archetype Publications, London.
- DELGADO, J. (ur.) 1997, *Encyclopedia of Underwater and Maritime Archaeology*. – British Museum Press, London.
- DRAPER-ALI, S. 1998, Marine archaeology and geophysical survey: a review of commercial survey practice and its contribution to archaeological prospection. – *Archaeological Prospection* 5, str. 67-70.
- EDGERTON, H. E. 1986, *Sonar images*. – Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- ELAC 2000: *Hydrographic echosounder Hydrostar 4300. Technical Handbook TH 52 596 8001 E. L.-3 Communications*. – ELAC Nautik GmbH.
- ELISEO, M. 1992, *REX – regis nomen, navis omen. Storia di un transatlantico*. – Ermano Albertelli, Parma.
- FISH, J. P., CARR, H. A. 1990, *Sound Underwater Images: A Guide to the Generation and Interpretation of Side Scan Sonar Data*. – Catumet, Massachusetts.
- HABERT, F. 1989, *Manual of Hydrography. Vol. 2: Hydrography*. – Service hydrographique et océanographique de la Marine, Brest Cedex.
- JONES, E. J. W. 1999, *Marine Geophysics*. – John Wiley & Sons, Chichester.
- KNIFIC, T. 1993, Arheološki pregled morskega dna v Sloveniji. – V: *Kultura narodnostno mešanega ozemlja slovenske Istre*. – Razprave Filozofske fakultete, Ljubljana, str. 13-28.
- MAZEL, C. 1985, Technology and the marine archaeologist. – *Oceanus* 28 (1), str. 85-89.
- OGORELEC, B., FAGANELI, J., MIŠIČ, M., ČERMELJ, B. 1997, Reconstruction of Paleoenviroment in the Bay of Koper (Gulf of Trieste, Northern Adriatic). – *Annales* 11, str. 187-200.

QUINN, R. 2001, *Marine geophysics lecture topics*. – <http://www.ulst.ac.uk/faculty/science/crg/cmalect/rory/margeo.htm>, (18.7.2001)

ŠRIBAR, V. 1967, Nekatere geomorfološke spremembe pri Izoli, dokumentirane z arheološkimi najdbami. – *Geologija* 10, str. 271-277.
