

31<sup>a</sup>  
2014

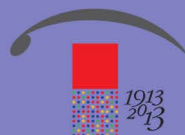
# ZAJEM IN OBDELAVA 3D PODATKOV V PODVODNI ARHEOLOGIJI

Delavnica za študente  
Portorož 1. - 5. Julij 2013

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta *za računalništvo in informatiko*

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije  
*Institute for the Protection of Cultural Heritage of Slovenia*

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta *za pomorstvo in promet*



Video: Rok Kovačič

Poročila

Skupine za podvodno arheologijo



*Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije*

# Zajem in obdelava 3D podatkov v podvodni arheologiji: predstavitev in evalvacija

Prvi del: Poročilo

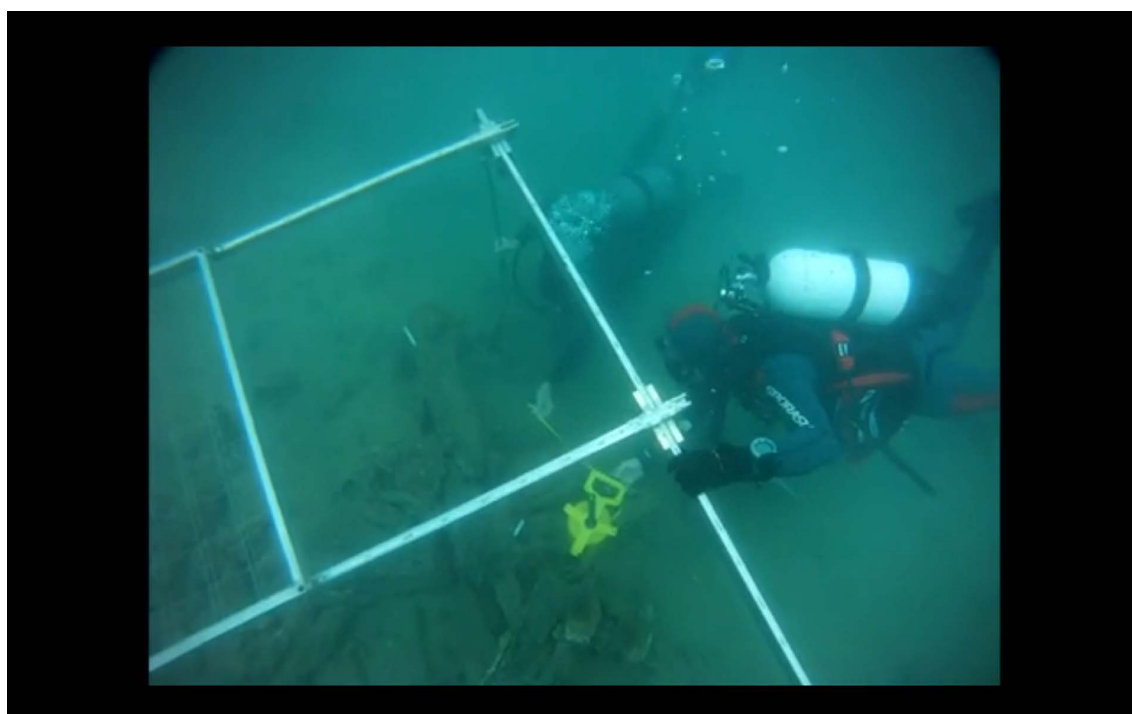
Miran Erič, Franc Solina, Marko Perkovič in Darja Grosman  
s prispevkom Žige Stopinška

Delavnica za študente:  
Portorož, 1. do 5. julij 2013  
v organizaciji:

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta *za računalništvo in informatiko*

Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije  
*Institute for the Protection of Cultural Heritage of Slovenia*

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta *za pomorstvo in promet*



Portorož, Ljubljana, 2013

## Kazalo

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Potrebe in namen študentskih delavnic</b>	<b>3</b>
2.1	Razvoj 3D dokumentiranja podvodne dediščine v Jadranu . . . . .	3
2.1.1	Antični brodolom iz 1. stol. n. št., Grebeni, Silba . . . . .	3
2.1.2	Batimetrične meritve slovenskega teritorialnega morja . . . . .	4
2.1.3	Rimsko tovorno plovilo, Ljubljana, Sinja Gorica . . . . .	5
2.1.4	“Drevak”, tipično Notranjsko plovilo v uporabi do sredine 20. stoletja, Tehniški muzej Slovenije, Bistra . . . . .	7
2.2	Dokumentiranje podvodne dediščine . . . . .	8
2.2.1	Analogna dokumentacija v varstvu podvodne dediščine . . . . .	8
2.2.2	Vpliv sodobne tehnologije na spremembe metodologij dokumentiranja podvodne dediščine . . . . .	9
2.2.3	Novosti pri dokumentiranju podvodne dediščine . . . . .	9
2.3	Prednosti pri spremembah metodologije dokumentiranja podvodne dediščine . . . . .	12
2.3.1	Popolna natančnost dokumentiranih najdišč . . . . .	12
2.3.2	Izjemno povečanje varnosti pri podvodnem delu . . . . .	13
2.3.3	Povečana učinkovitost in nižja cena . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Cilji</b>	<b>14</b>
3.1	Kratkoročni: . . . . .	14
3.2	Dolgoročni: . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Program delavnice</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Izvedba delavnice</b>	<b>16</b>
5.1	Dnevnik terenskega dela: Žiga Stopinšek . . . . .	16
5.2	Predavanja . . . . .	21
5.2.1	Darja Grosman . . . . .	22
5.2.2	Marko Perkovič . . . . .	22
5.2.3	Smiljan Gluščević . . . . .	23
5.2.4	Rok Kovačič, Gregor Berginc in Žiga Stopinšek . . . . .	24
5.2.5	Sebastijan Govorčin . . . . .	26
5.2.6	Miran Erič . . . . .	27
<b>6</b>	<b>Evalvacija</b>	<b>28</b>
6.1	Namen in pedagogi . . . . .	28
6.2	Terensko delo in predavanja . . . . .	28
6.3	Ocena in sklep . . . . .	29
<b>7</b>	<b>Zahvala</b>	<b>30</b>
	<b>Literatura</b>	<b>31</b>

# Zajem in obdelava 3D podatkov v podvodni arheologiji: predstavitev in evalvacija

Miran Erič, Franc Solina, Marko Perkovič in Darja Grosman  
s prispevkom Žige Stopinška

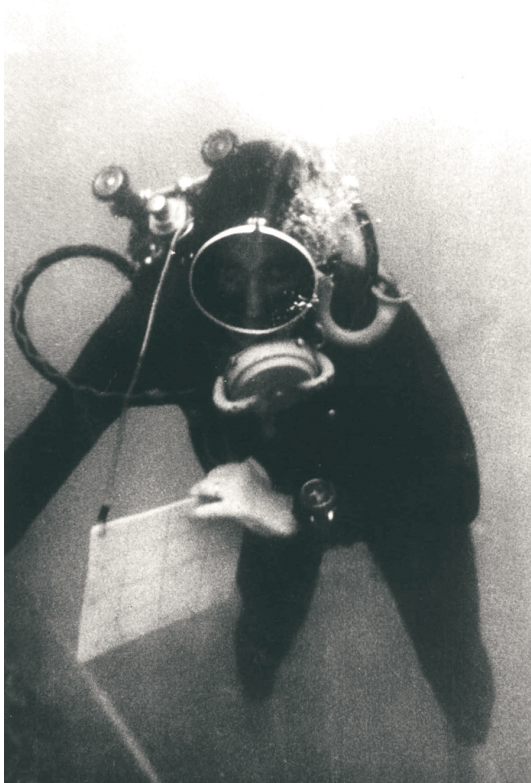
## Povzetek

*Dokumentiranje podvodne kulturne dediščine je izjemno zahtevno opravilo. Vodna okolja niso človekov naravni habitat, vsled česar je izumil orodja in naprave, da bi lahko proučeval tudi ta okolja. Desetletja raziskovanja v teh okoljih so z veliko žrtvami prispevala spoznanja o pomenu dediščine pod vodo in njenem varstvu. Možnosti korektnega dokumentiranja pod vodo so izjemno omejene in zahtevne, posegi pa zaradi dodatne tehnične opreme zelo dragi. Razvoj sodobne 3D tehnologije in programskih orodij za obdelavo podatkov je za dokumentiranje in varstvo podvodne kulturne dediščine izjemnega pomena, saj v te procese vnaša pomembne koristi. To so, v primerjavi z analognimi zajemi podatkov, izjemno in neprimerljivo povečanje natančnosti podvodne dokumentacije, močno skrajša človekovo bivanje pod vodo in s tem povečuje varnost pri delu, posledično pa se cena potrebnega podvodnega terenskega dela močno zniža.*

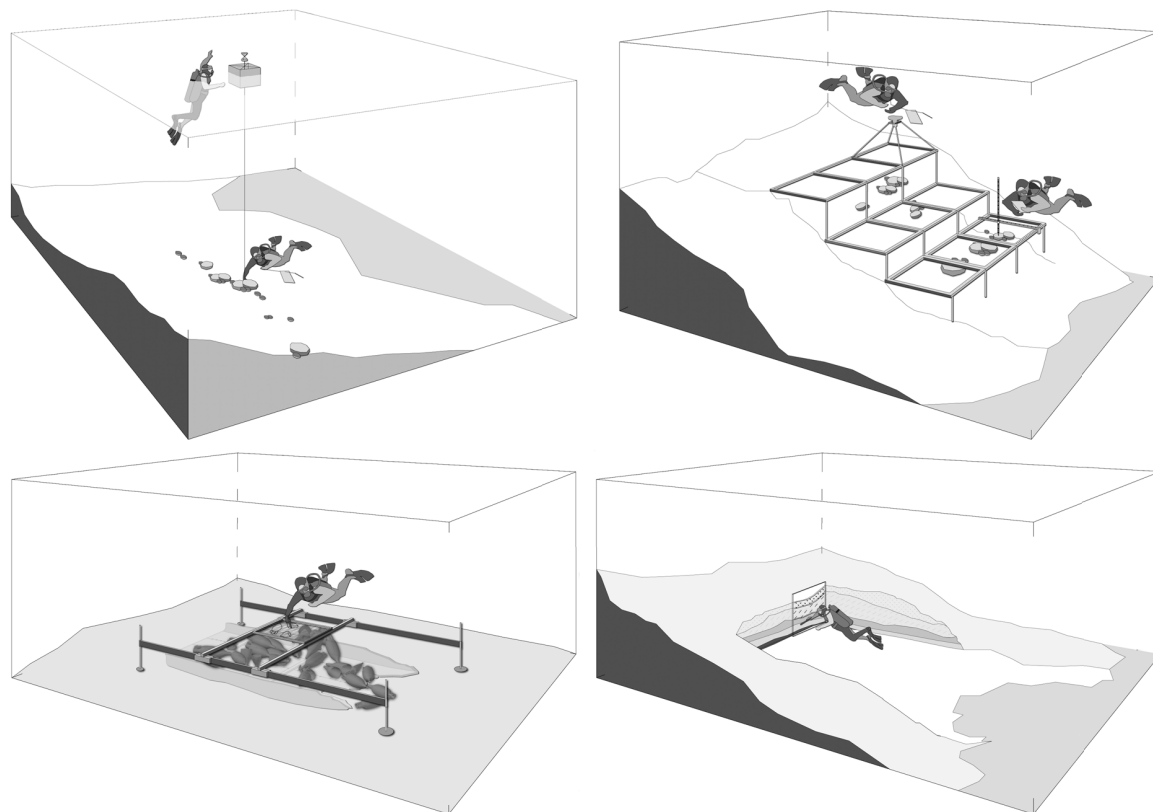
## 1 Uvod

Doktrina varovanja kulturne dediščine se je v zadnjih desetletjih spremenila in tako je danes kot zgodovinska in kulturna vrednota, ob arheološki in etnološki, varovana tudi tehnična, memorialna in vojna dediščina. Zavedst o podvodni kulturni dediščini se je začela razvijati po izumu avtonomne potapljaške opreme v štiridesetih letih 20. stoletja in znameniti zgodnji filmi Jacquesa Cousteauja o podvodnem svetu, vključno z brodolomi (Épaves, 1943),<sup>1</sup> so burili domišljijo številnih potapljačev in

<sup>1</sup>Bass 1966



*Slika 1: Eden najzgodnejših znanih antičnih brodolomov na severnem Jadranu je bil odkrit leta 1963 severovzhodno od Savudrijskega rta. Glede na komparativno analizo amfor, ki pripadajo poznim oblikam grško-italskih amfor, tipu Lamboglia 2 in prehodnemu tipu, je do nesreče prišlo med letoma 140 in 80 pr. n. št. Podvodno delo v skupnem trajanju 280 ur je bilo opravljeno z opremo za avtonomno potapljanje tipov AGA in Mistral (foto: Z. Kralj; arhiv Pomorskega muzeja Sergej Mašera, Piran)*



Slika 2: Nekaj izbranih tehnik 2D analognega zajemanja podatkov na podvodnih najdiščih (Gaspari, Erič 2010; Risba: Miran Erič)

arheologov po vsem svetu. Podvodno arheologijo in znanstvena raziskovanja dediščine pod vodo so z odkritjem poznobronastodobnega brodoloma (12. stol. p. n. št.) pri rtu Gelidonya v Turčiji leta 1954 utrdili in v svetu promovirali Georg Bass, Peter Throckmorton in Frédéric Dumas.<sup>2</sup>

Le desetletje kasneje so se prizadevanja za raziskavo podvodne dediščine preselila tudi v vzhodni del Jadrana, kjer je Center za podvodna raziskovanja iz Ljubljane leta 1963 organiziral prvo strokovno podvodno raziskavo brodoloma pri Savudriji,<sup>3</sup> Dasen Vrsalović,<sup>4</sup> Zdenko Brusic in Elica Boltin-Tome<sup>5</sup> pa so se lotili sistematičnih podvodnih raziskav brodolomov in priobalnih struktur v vzhodnem delu Jadranskega morja. Ni odveč pripomniti, da so bila na Ljubljanskem barju (Ljubljana, Slovenia) prva podvodna arheološka raziskovanja izvedena 1884 leta, ki jih je vzpodbudil Karel Dežman, ko je povabil dva profesionalna potapljača iz avstroogrske vojno mornariške postojanke v Puli.<sup>6</sup>

Snemanja in dokumentiranja najdišč podvodne dediščine so bila v globjih in priobalnih vodah izvajana povsem ročno z metri, vodnimi tehtnicami, svinčnicami, merskimi okvirji in kvadratnimi konstrukcijami, tablicami za risanje in svinčniki vse do novega tisočletja, pogosto pa je v uporabi še danes. V zadnjih dveh desetletjih se, v želji po izboljšani dokumentaciji podvodne kulturne dediščine, uveljavljajo merilne naprave, ki omogočajo natančno določanje lege dediščine in njih prostorsko umeščanje. Pri obravnavi širših območij so to drage naprave za daljinsko zaznavanje (sonarske, radarske in magnetometrične naprave), te so primerne, vendar ne dovolj natančne tudi za obravnavo posameznih najdišč, kjer se je uveljavila tudi uporaba laserskih in radijskih naprav in sistemov. Majhen in intimen prostor najdišča npr. brodoloma je kljub vsemu, zaradi omejitev sodobnih merilnih naprav, ostal prostor ročnih meritev vse do novega tisočletja (sl. 1, sl. 2).

Najnovejši razvoj tehnologije 3D zajemanja podatkov, predvsem pa izjemna pocenitev te opreme, še zlasti pa nesluten preboj programskih rešitev in njihova prostodostopna koda, pa je vendarle omogočila tudi finančno pohranjenim raziskovalnim projektom podvodne dediščine dostopnost do izjemnega izboljšanja kvalitete in korektnosti dokumentacije, povečala hitrost zajemanja podatkov in znižala ceno zajemanja podatkov.

<sup>2</sup>Bass 1966; Throckmorton 1962; 1977

<sup>3</sup>Bačič, Štirn 1963

<sup>4</sup>Vrsalović 1979

<sup>5</sup>Boltin Tome 1975

<sup>6</sup>Gaspari 2001



## 2 Potrebe in namen študentskih delavnic

### 2.1 Razvoj 3D dokumentiranja podvodne dediščine v Jadranu

#### 2.1.1 Antični brodolom iz 1. stol. n. št., Grebeni, Silba

V vzhodnem delu Jadrana se je pri posodabljanju metodologij dokumentiranja podvodnih najdišč kulturne dediščine pomemben preboj zgodil septembra leta 2001 na najdišču antičnega brodoloma iz 1. stol.<sup>7</sup> ob otočku Grebeni blizu Silbe (sl. 3). Takrat je Arheološki muzej Zadar vzpodbudil sodelovanje med hrvaškimi in slovenskimi podvodnimi arheologi in k terenskemu delu povabil raziskovalce iz Oddelka za arheologijo Filozofske fakultete, Univerze v Ljubljani. Prvič v zgodovini raziskav podvodne dediščine v vzhodnem jadrano je bilo testirano stereofotografsko snemanje v nizih za stereofotogrametrična vrednotenja podvodnega najdišča dediščine. Ključno pomoč je prispevalo podjetje DFG Consulting Ltd. iz Ljubljane, ki je projekt podprlo z možnostjo uporabe njihovih programskih orodij za stereofotogrametrična vrednotenja (DFG-SEX StereoEXplorer, DFG-DOG Digital Orto Generating in DFG-BINGO).

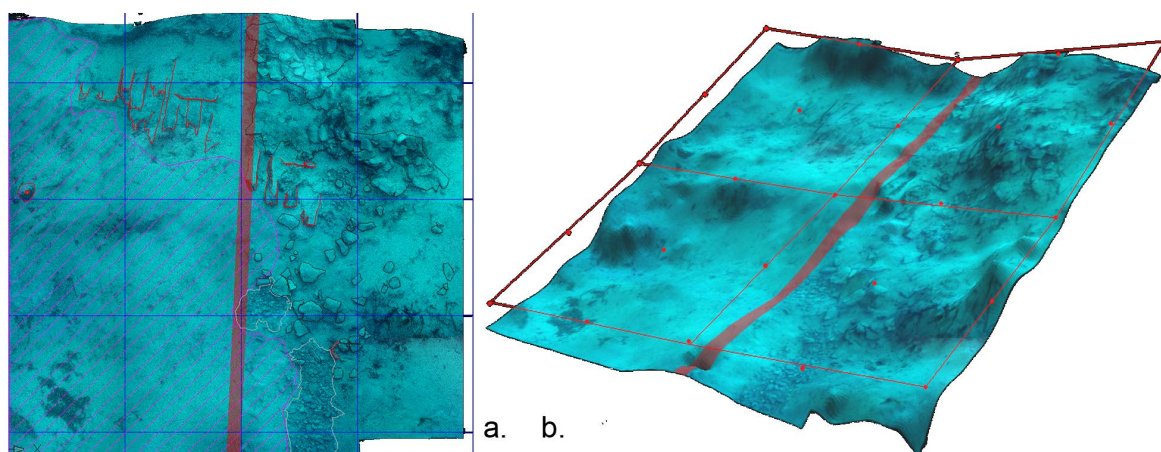
Iz današnje perspektive se to zdi nenavadno, pred dvanajstimi leti pa je bila dostopnost do primernih programskih orodij praktično nemogoča zaradi izjemno visokih cen. Raziskovanje in varovanje podvodne dediščine ne sodi v profitabilno dejavnost in tako tudi naložbe v zelo drage programske rešitve niso bile mogoče. Pred trinajstimi leti je bilo dokumentiranje podvodne dediščine zamejeno na veliko količino potopov v katerih so skupine potapljačev izvajale čiščenje najdišča, postavljanje rigidne mreže, ki je v tistih časih močno pripomogla k pomembno povečani kvaliteti podatkov glede na dokumentiranje pred tem. Vse mere v prostoru so vendarle bile pobrane z metri in zapisovane na tablico. Kljub prizadevanjem je bilo skorajda nemogoče dosegati natančnost, ki bi segala pod pol metra skupne naključne, predvsem pa nenadzorovane napake!

Dober rezultat takratnih raziskav in testov je vendarle ponudil temelj za nadaljna prizadevanja,

<sup>7</sup>Gluščević 2009



Slika 3: Grebeni, Silba 2001: Talni tramiči in rebra antičnega brodoloma. Nad brodolomom je bila prvič na vzhodnem delu Jadranskega morja uporabljena rigidna aluminjasta mreža za analogno dokumentiranje. (Foto: Marko Jamnik - Mak)



Slika 4: Grebeni, Silba 2001: 3D model območja najdišča 5 x 5 m: a. ortofotografija z interpretativnim tlorisom izbranega dela najdišča, b. perspektivni pogled iz vzhoda. (3D model: Miran Erič, DFG Consulting)

saj se je izkazalo, da lahko v bodočnosti dokumentiranje najdišča s pomočjo 3D tehnologije in programskih rešitev doprinese izjemno kvalitetne in natančne posnetke najdišč, ki jih je kot primarno dokumentacijo najdišča mogoče proučevati tudi desetletja kasneje skorajda tako kot povsem realno med samimi raziskavami *in situ* (sl. 4). Edina, vendar pomembna pomanjkljivost takratnih programskih orodij je bilo prepoznavanje vodilnih točk, ki jih je moral operater opraviti ročno. Delo je bilo zato zamudno in povsem neracionalno za operativne raziskovalne postopke podvodne dediščine.

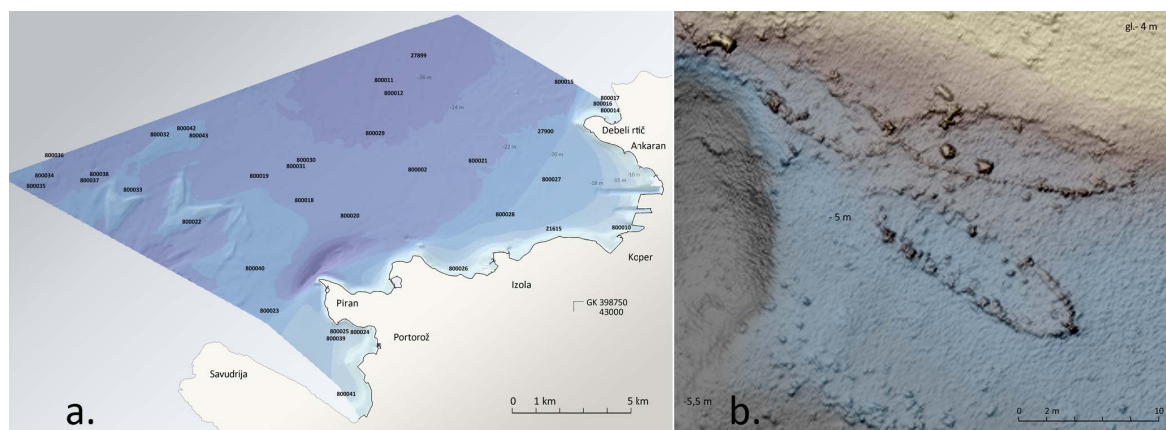
### 2.1.2 Batimetrične meritve slovenskega teritorialnega morja

Slovensko teritorialno morje v Sloveniji je majhno, obsega komajda 300 km<sup>2</sup>. Zelo težko si je predstavljati, da bi lahko na tako majhnem območju pričakovali veliko ostalin podvodne kulturne dediščine, vendar so amaterski potapljači v zadnjih desetletjih sestavili seznam vsaj 20 območij brodolomov. Med temi so tudi hidroplani, najznamenitejša pa je potniška ladja Rex, zgrajena v Trstu, ki je leta 1932 celo osvojila modri trak.

Med leti 2005 in 2008 je podjetje Harpha Sea Ltd. izvedlo batimetrične meritve z večsnopnim sonarjem, ki je obravnavano območje osvetlilo iz povsem novega zornega kota.<sup>8</sup> Uporaba sodobne tehnologije daljinskega zaznavanja je namreč pokazala, da je na tem območju skorajda dvakrat več brodolomov (sl. 5). Na podlagi delnih evidenčnih raziskav<sup>9</sup> je bilo ugotovljeno, da imamo v tem delu jadrana opraviti z najstarejšim brodolomom okoli 15 m dolgega plovila iz 1. stol. n. št., glede na terenske okoliščine verjetno okoli 30 m dolgega plovila iz 14. stoletja ter štirimi plovili od 16. do 19. stoletja. Nekaj plovil je še iz prve in druge svetovne vojne. Ostaja pa še skoraj polovica ostalin kulturne dediščine, po vsej verjetnosti gre za brodolome o katerih zaenkrat še nimamo podatkov. Tako

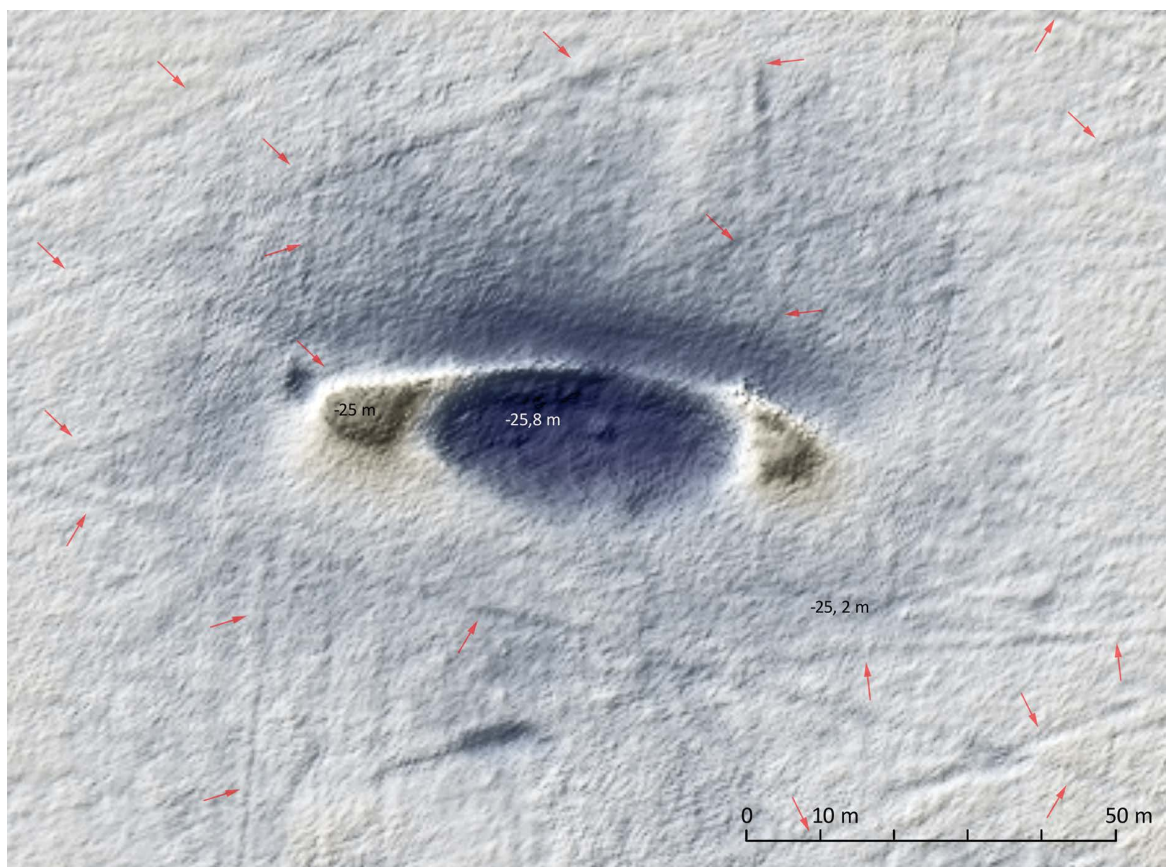
<sup>8</sup>Pogljajen, Slavec 2012

<sup>9</sup>Erič et al. 2012



Slika 5: Slovensko teritorialno morje 2005-2008: a. Batimetrične meritve v izvedbi podjetja Harpha Sea z registrirano podvodno dediščino, b. "Grobišče" maon v neposredni bližini Monforta, skladišče soli v Portorožu (Batimetrične meritve: Sašo Polglajen).





Slika 6: Slovensko teritorialno morje 2005-2008: Prekoceanski trijambornik "Stojanov Bark", okoli katerega in pogosto tudi preko njega, ležijo več deset tonske sidrne verige tovornih ladij. Škodo na potopljeni kulturni dediščini, ki jo povzroča pomorski tovorni promet v tržaškem zalivu, je nemogoče oceniti. (Batimetrične meritve: Sašo Polglajen)

lahko ugotovimo in sklenemo, da so za izjemno izboljšanje rezultatov snemanja in dokumentiranja podvodne dediščine zelo dobri tudi podatki, ki jih pridobimo s sonarskimi snemanji.

Danes dediščino močno, vsaj tako kot izlov z uničujočim ribolovnim orodjem, ogroža tovorni ladijski promet v Tržaškem zalivu, ki se je razvil v zadnjih desetletjih v lukah Koper in Trst. Samo v luki Koper je leta 2010 pristalo okoli 2000 tovornih plovil, velikih do 300 m, in pretovorilo okoli 16 mio. ton tovora. Če k temu prištejemo še promet luke Trst s sedmimi pomoli, približno 6000 plovili in okoli 50 mio. tonami tovora na leto, je objektivna nevarnost popolnega uničenja dediščine na dlani. Pogosto morajo te ladje čakati na privez od nekaj ur pa tudi do nekaj dni. Poškodbe, ki jih na morskem dnu naredijo večdesettonska sidra že samo ob točkovnem stiku, si je mogoče zlahka predstavljati. Ob dejstvu, da ob obali veter piha v povprečju s hitrostjo 18 km/h, v dnevih z močno burjo pa tudi do 180 km/h, se redno dogaja, da zasidranih plovil tudi sidra ne morejo zadržati. Sidra po muljastem dnu »orjejo« in nenadzorovano poškodujejo tako naravni ekološki sistem morskega dna z morskim rastlinjem, organizmi in ribami kot tudi kulturno dediščino na dnu. Na batigrafskih meritvah dna je mogoče opazovati tudi do 3 m široke sledi sider v dolžini tudi nekaj sto metrov (sl. 6). Zgodi se tudi, kot npr. februarja 2010 pri Debelem rtiču, da plovilo nima več nadzora in se zaleti v obalo, ki je znana po pomembnih ostankih antične pristaniške infrastrukture.

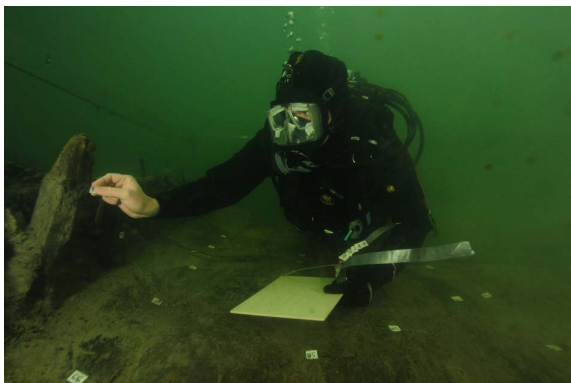
### 2.1.3 Rimsko tovorno plovilo, Ljubljana, Sinja Gorica

Odpor uporabnikov računalniške opreme in še zlasti zelo drage in nedostopne programske opreme, zadnja leta močno narašča in trend odprtokodnih programov in s tem izjemno povečanje dostopnosti do orodij za obdelavo 3D podatkovnih slojev, močno koristi tudi prizadevanjem za korektno zaščito podvodne dediščine in posodabljanje metodologij raziskav ter višanje kvalitete rezultatov.

To trditev je bilo mogoče praktično preveriti oktobra 2012 v Ljubljani pri Sinji Gorici ob raziskavah izjemno nenavadnega odkritja rimske tovarne ladje z ravnim dnom zgrajene iz bukovega lesa v tradiciji antične sredozemske tehnologije iz leta 3. našega štetja.<sup>10</sup>

<sup>10</sup>Dendrokronološko datacijo je opravila dr. Katarina Čufar iz Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v



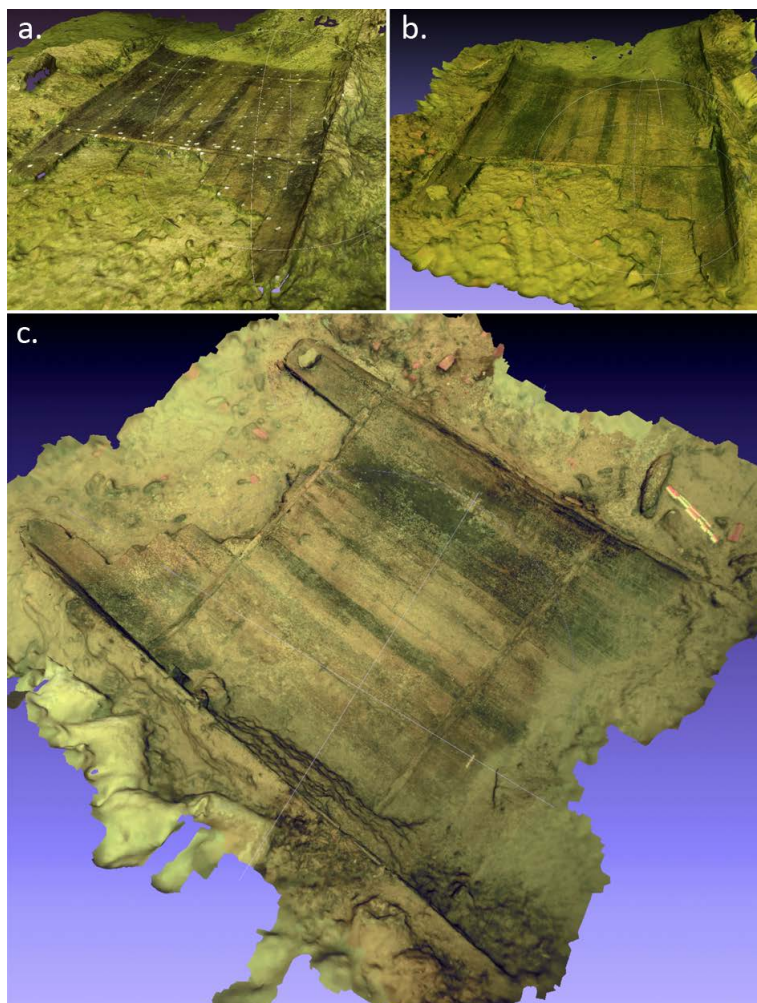


Slika 7: Rimska tovorna ladja iz Ljubljane pri Sinji Gorici: Pripravljalna dela za fotogrametrična snemanja. (Foto: Rok Kovačič)

Na najdišču je bila prvič v Sloveniji uporabljena metodologija fotogrametričnega zaje-manja podatkov in uporabljena programska oprema za fotogrametrijo in 3D modeliranje PHOV, ki je bila razvita v podjetjih Xlab Research in 3dimenzija iz Slovenije (sl. 7).

Ladja brez tovora ali predmetov je bila očiščena aktivnega recentnega sedimenta samo v dolžini približno 4,5 m, kar je ob strmo vzpenja-joči se brežini potapljačem še omogočalo varno delo. Ob levem boku plovila je, glede na daljšo stranico kota vstopa v sedimente pod brežino, bilo mogoče čolnici slediti še približno 3 m. Na podlagi novih podatkov in ugotovljene lege plo-vila v sedimentih desne brežine Ljubljane je mogoče sklepati, da je ohranjene vsaj še 10 do 12 m ladje.

Po obdelavi podatkov je bilo mogoče ugotoviti, da je dokumentacija izjemno natančna, 3D model ladje pa v nasprotju z analogno dokumentacijo, ki obsega zgolj 2D tlorise, narise, preseke in po potrebi podrobnosti (npr. posamezni konstrukcijski elementi), omogoča skoraj povsem identično proučevanje kakršno je tisto ob raziskavah *in situ* (sl. 8). Temu ob rob ne more konkurirati niti izjemno kvalitetna arhivska fotografija, ki je sicer še danes nujno potrebna kot dober pripomoček, niti ročno vodeni stereofotogrametrični programi (CAD in GIS), ki so doslej nekako skušali pokrivati manjko kvalitete in natančnosti v postprocesnih postopkih.



Slika 8: Rimska tovorna ladja iz Ljubljane pri Sinji Gorici: 3D model rimske ladje, a. in b. skupine posnetkov za fotogrametrijo so bile pobrane v dveh različnih dneh, c. tloris ladje v perspektivnem pogledu. (Foto: Rok Kovačič, 3D model: Gregor Berginc, procesirano s programsko opremo PHOVmentify, 3D pogledi s programsko opremo Meshlab)

### 2.1.4 “Drevak”, tipično Notranjsko plovilo v uporabi do sredine 20. stoletja, Tehniški muzej Slovenije, Bistra

Območje Notranjske in osrednje Slovenije je zaradi izjemne geološke oblike površine, ki je dala ime posebni geološki formaciji Krasu, obdarjena s tremi zelo zanimivimi kraškimi oblikami kakršna so presihajoča jezera. V tem delu se nahajajo Cerknško jezero, Planinsko polje in Ljubljansko barje. Zanje je značilno, še zlasti za Cerknško jezero in v preteklosti Ljubljansko barje, da so obsežne površine pogosto pod vodo v obliki občasnega jezera. Domačini, ki so v preteklosti živeli v tem prostoru in jim je naravno okolje nudilo možnosti obvladovanja s transportom po vodi so v te namene uporabljali posebno obliko plovila sestavljeno iz dveh čolnic, ki sta hrati predstavljali tudi ladijske boke, ter široke (tudi do 60-70 cm) vmesne talne platice, ki je deblak - ti so lahko bili široki tudi do 1 m - razširil v do 1.4 m širok jezerski čoln (sl. 9).

Čoln je za proučevanje dediščinske tradicije plovbe, izrabe vodnih okolij v preteklosti na območju Notranjske in morebitne povezave večtisočletne konstrukcijske tradicije in ohranjanja nekaterih elementov gradnje še iz antičnih časov, zelo pomemben. Za potrebe primerjalnih analiz različnih digitalnih postopkov zajemanja 3D podatkov je bilo plovilo spomladi 2013 posneto z manjšim, visokoresolucijskim snemalnikom na belo svetlobo Artec MHT, ter z več seti fotografij za fotogrametrično postprocesiranje 3D modela s programskimi orodji (sl. 10). Izkušnje, pridobljene s proučevanjem in analizo razlik med različnimi postopki in pristopi bodo zagotovo s pridom uporabljene tudi pri podvodnih raziskavah.



Slika 9: “Drevak” na Cerknškem jezeru. Razglednica iz 1927 leta (Zbirka Aleksandra Zgonca, Foto: Stanko Ribnikar); Ribnikar 1927



Slika 10: 3D model plovila iz zbirke Tehniškega muzeja Slovenije v Bistri (Foto: Rok Kovačič, 3D model: Gregor Berginc, procesirano s programsko opremo PHOVmentify, 3D pogledi s programsko opremo Meshlab)



## 2.2 Dokumentiranje podvodne dediščine

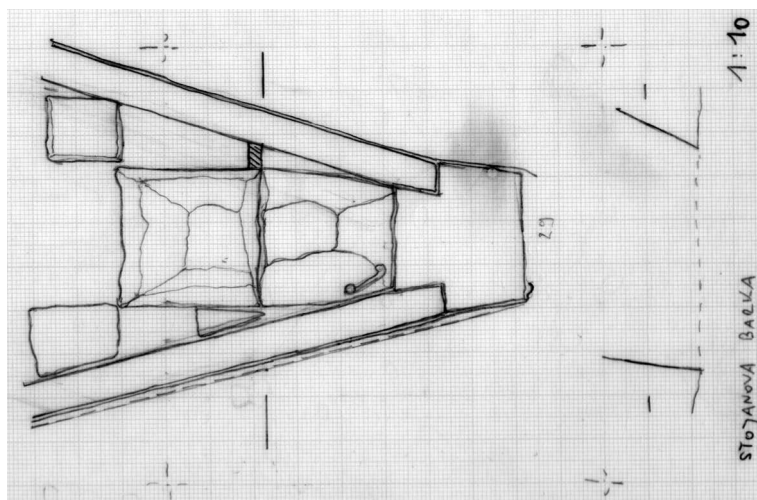
Torej, sklenemo lahko, da je skokovit razvoj strojne opreme in programskih rešitev, trend javne dostopnosti do skupnega znanja (skupnost, ki razvija odprtokodne sisteme) in fleksibilnost raziskovalne skupnosti na področju raziskovanja kulturne dediščine v samo dobrih 10 letih povsem spremenil metodologije dokumentiranja dediščine *in situ*. V treh korakih se je dokumentiranje iz povsem ročnega in v smislu natančnosti - napak pravzaprav niti ni bilo mogoče prepoznati in oceniti - negotovega rezultata (sl. 11) preko digitalnega snemanja najdišč prelevilo v povsem avtomatizirano strojno in programsko dokumentiranje najdišč, ki (bo) zagotavlja(lo) visokokvalitetno absolutno natančno ter znanstveno preverljivo dokumentacijo, ki jo bo mogoče proučevati tudi čez desetletja brez dvoma o korektnosti podatka.

### 2.2.1 Analogni dokumentacija v varstvu podvodne dediščine

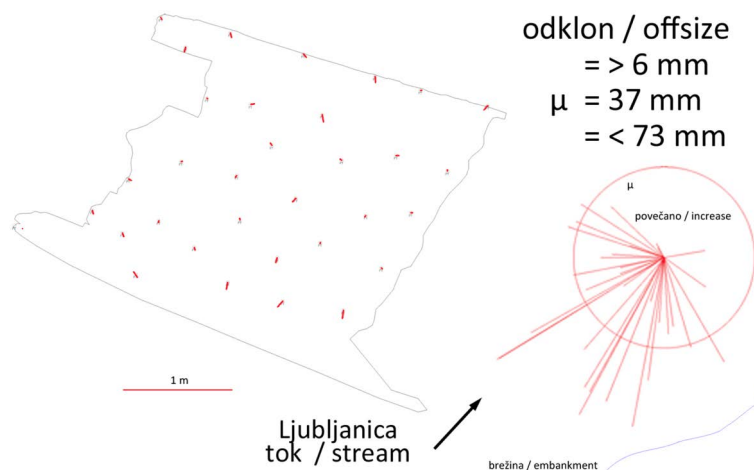
Ročni zajem podatkov je v preteklosti, kljub zavzetemu in visoko etičnemu, strokovno opravljenemu delu, predstavljal velike težave. Zamudno izvajanje meritev pod vodo, še zlasti v večjih globinah, kjer je operativni čas posameznega potapljača, kljub najsodobnejši potapljaški opremi, močno skrčen. V globinah pod 30 m celo na manj kot 30 minut. V tem času je, kljub izjemni natančnosti, skorajda nemogoče korektno opraviti vse postopke. Risbe in meritve sekundarno niso preverljive in tako njihov znanstveni potencial ni povsem korekten.

Kljub trudu in uporabi natančnih geodetskih merilnih naprav (tahimeter) je bila na primeru primerjalne analize 3D modela rimske ladje iz Sinje Gorice<sup>11</sup> z geodetskimi meritvami, ki so bile opravljene sočasno, dokazano, da je zanesljivost geodetskih meritev pri raziskavah podvodne dediščine šibka, predvsem pa sploh ne obstaja možnost preverjanja napake. Te bi morale biti dokaj precizne saj je globina na kateri se nahaja ladja zgolj 3 m. Ugotovljene so bile napake v meritvah s

<sup>11</sup>Erič 2012



Slika 11: Analogni dokumentacija: terenski načrt podrobnosti na 43 m dolgem brodolomu Barka iz 19. stol. (Risba: Andrej Gaspari).



Slika 12: Analogni dokumentacija: Med primerjalno analizo med 3D modelom in meritvami s tahimetrom so bile odkrite pomembne razlike in nenadzorovane napake nastale pri geodetskimi meritvah.

tahimetrom (sl. 12), ki so pokazale na dejstvo, da so bile povezane s tokom Ljubljane. Pomembnejše je grenko spoznanje, da je bilo doslej zaupanje v geodetske meritve popolno in je bila risana analogna dokumentacija vezana na meritve, ki jih ni mogoče preverjati, prav tako pa ostaja neznana tudi napaka.

### 2.2.2 Vpliv sodobne tehnologije na spremembe metodologij dokumentiranja podvodne dediščine

Zadnje desetletje v dokumentiranje podvodne kulturne dediščine vnaša pomembne spremembe, ki močno izboljšujejo naš vpogled in razumevanje dediščine, hkrati pa omogoča neprimerno boljše varstvo in zaščito le-te. V času pred splošno dostopnostjo vrhunske merilne tehnologije je bila stroka, v smislu obvladovanja in evidentiranja širših pojavnosti dediščine v prostoru, omejena zgolj na naključno odkrivanje najdišč. Po naključju odkrita najdišča pa so bila dokumentirana z merilnimi pripomočki (kompas, metri, naklonometri, svinčnice idr.), katerih rezultate po odhodu iz najdišča ni bilo več mogoče preverjati, napake znotraj dokumenta pa preprosto ni bilo mogoče nadzorovati. Tudi uporaba geodetskih inštrumentov v zadnjih desetletjih je dokumentacijo izboljšala zgolj kozmetično.

**Daljinsko zaznavanje dna vodnih teles** Za raziskovalne metodologije odkrivanja, prepoznavanja in evidentiranja podvodne kulturne dediščine v širših območjih, ki jih je s fizično prisotnostjo potapljačev le stežka nadzorovati in pregledovati, so pomembno vlogo odigrale naprave za daljinsko zaznavanje kakršne so sonarske, radarske in magnetometrične naprave, ki podobno kot v suhozemnih okoljih laserske in optične naprave prostorsko beležijo morfologijo tal ali dna. Slovensko teritorialno morje je morda res majhno, skoraj "laboratorijsko" in zaradi dokaj plitvega morja (najgloblje območje 34 m), lahko dostopno lokalnim in amaterskim potapljačem, ki so v desetletjih od odkritja avtonomne potapljaške opreme "odkrili" okoli 20 brodolomov. Kljub temu se je število odkritih brodolomov po batimetričnem dokumentiranju dna z večsnopnim sonarjem dobesedno podvojilo. Pomena za varovanje te dediščine v močno preobremenjenem okolju s preoceanskimi tovornimi ladjami najbrž ni potrebno posebej poudarjati.

**Orodja za dokumentiranje podvodnih najdišč** Podvodna najdišča dediščine so v globjih vodah v veliki večini brodolomi in drugi potopljeni objekti (letala, zelo redko še kaj drugega), v plitvih priobalnih delih pa zaradi geoloških sprememb kot sta erozija in tektonski premiki, tudi potopljena arhitektura in druga infrastruktura. Do nedavnega so bila najpomembnejša sredstva za zajem podatkov video in fotografski zapis ter 2D dokumentacija v obliki meritev in načrtov, od 80' let 20. stol. pa tudi izjemno kvalitetna programska oprema Site Recorder<sup>12</sup> za 3D CAD dokumentacijo, ki je z množičnimi navzkrižnimi meritvami in izjemno triangulacijo podatkov omogočala zelo natančna medsebojna razmerja na objektu dokumentiranja. Žal pa je šlo le za dokaj majhno število točk v 3D mreži, ki je sicer omogočala postprodukcijsko "rekonstrukcijo" objekta, ni pa bilo mogoče poustvariti merjeni objekt v celoti in z vsemi podrobnostmi, ki bi jih bilo mogoče proučevati in preverjati tudi v prihodnosti. Čedalje boljša dostopnost do naprav za 3D zajemanje podatkov (Structure Light and Laser Scanners) in izjemna kvaliteta prostodostopnih programov za 3D modeliranje s pomočjo fotogrametrije (PHOV Mementify, 123D Catch, Hypr3D idr.) povsem spreminja metodologije dokumentiranja podvodne dediščine.

### 2.2.3 Novosti pri dokumentiranju podvodne dediščine

Ta hip so za razvoj dokumentiranja podvodne kulturne dediščine najpomembnejše nove tehnologije za zajem 3D podatkov in odprtokodne rešitve za predelavo in modeliranje takih podatkov.

**Snemalniki na belo svetlobo** Zaradi tehničnih omejitev (vir energije, povezave z računalnikom itd.) 3D snemalniki zaenkrat niso najboljša rešitev za dokumentiranje podvodne dediščine. Njihova siceršnja nezahtevna uporaba in izjemna natančnost vendarle pomaga vzpostavljati pomembno vlogo v dokumentaciji suhozemnih območij kulturne dediščine. 3D snemalniki, ki uporabljajo belo svetlobo namesto laserja so tudi cenovno ugodnejši in varnejši pri njihovi rabi.

Bela svetloba je v 3D merilnih tehnologijah večinoma uporabljena za interferometrična<sup>13</sup> in/ali strukturirana svetlobna snemanja. Prva tehnologija je pogosteje uporabljena za mikroskopska snemanja, druga pa je zaradi cenovne ugodnosti lahko konkurenčna tudi triangulacijskim laserskim

<sup>12</sup>Site Recorder

<sup>13</sup>Sansoni et al. 2009



3D snemalnikom<sup>14</sup>. Temeljno načelo 3D snemalnikov na strukturirano svetlobo je projekcija vzorcev svetlobe na površine predmeta/ov ali površin. Obliko predmeta se pridobi z merjenji vzorcev deformacije. Za oblikovanje 3D modelov je mogoče uporabiti več različnih projekcij svetlobe, kot naprimer: svetlobne mreže, pike, različni vzorci, navpičnimi režami ter večbarvne projekcije vzorcev.

Pomembne prednosti 3D snemalnikov na strukturirano svetlobo so večstopenjski zajem podatkov z visoko ločljivostjo, sočasni izračuni prostorske umeščenosti in relativna neodvisnost od svetlobe v prostoru. Pomanjkljivosti so zahtevnost računskih operacij, izguba podatkov v obdelavi robnih in senčnih delov snemanih oblik in pogosto tudi stroški.

Bela svetloba prinaša še nekatere dodatne omejitve v nasprotju s koherentno svetlobo, ki zaradi prilagodljivosti ob uporabi omogoča lažje meritve. Enobarvna svetloba pri podvodnih snemanjih prinaša tudi določene prednosti<sup>15</sup>. V nasprotju z laserskimi snemalniki pa pri uporabi snemalnikov z nepovezано belo svetlobo ni nikakršnih varnostnih omejitev.

3D snemalniki na strukturirano svetlobo so bili uporabljeni tudi za snemanja pod vodo. Bruno et al.<sup>16</sup> poročajo o uporabi strukturirane laserske svetlobe v kombinaciji s stereo vizijskim *Field-Of-View* (FOV) optičnim senzorjem. Pridobljeni 3D modeli so bili sprejemljive kakovosti kljub prisotnosti močnih učinkov razpršenosti in vpijanja svetlobe. Poskusi so sicer bili opravljeni v nadzorovanem laboratorijskem okolju, avtorji pa kljub temu menijo, da je snemalnik mogoče namestiti na daljinsko vodeno podvodno plovilo (ROV), avtonomno podvodno plovilo (AUV) ali podmornico.

Tehnike zajemanja podatkov s strukturirano svetlobo je mogoče uporabiti tudi za usmerjene batimetrične meritve dna vodnih teles na območjih podvodne dediščine.<sup>17</sup>

**Fotogrametrija** Zaradi razvoja digitalne fotografije se je uporabnost naprave za zajemanje slikovnih podatkov popolnoma spremenila. Aparati so vedno manjši, kakovost slike pa vedno boljša. Fotogrametrija, ki se sicer pri dokumentiranju suhozemnih območij razvija že skoraj stoletje, je bila zaradi zahtevnosti in zamudnosti pri obdelavi podatkov pri dokumentiranju podvodne dediščine skorajda neuporabna. Za korektne 2D fotomozaike in ortofoto načrte, je bilo potrebno tehnično dovršeno fotografirati, pod pravim kotom, točno določeno oddaljenostjo med dvema posnetkoma ter v mreži z natančno oddaljenostjo od površine zajemanja. Za vpenjanje posnetkov pred ali po snemanju je bilo potrebno dokumentirati še posebne fototočke, ki so bile postavljene kot pripomoček za sestavljanje fotomozaika ali ortofoto načrta. Te točke so lahko bile v plitvi vodi dokumentirane s pomočjo geodetskega inštrumenta pri katerih ni bilo mogoče nadzorovati napake, ali pa točke medsebojno izmeriti z metri ter podatek triangulirati s pomočjo posebnih programov za triangulacijo podatkov. Kasneje je bilo potrebno ročno sestavljati fotografije na prepoznavnih točkah ter dokument vpeti v koordinatno mrežo. Za korektno dokumentiranje bilo potrebno opraviti veliko potapljaških ur, kar je povečalo varnostno tveganje, še zlasti na najdiščih globlje v vodnih telesih zaradi velikega tveganja raziskovalcev in možnosti, da pride do dekompresijske bolezni. Tudi postprocesiranje podatkov je bilo zaradi večslojnega manualnega dela pri sestavljanju različnih podatkovnih slojev, kar je dopuščalo več možnih napak, zelo zamudno in drago.

Uporaba zamudnega manualnega stereofotogrametričnega zajemanja podatkov na najdiščih podvodne kulturne dediščine je povsem razumljiva, saj je v primerjavi z metodologijo zajemanja podatkov v mreži, merjenjem z metri in risanjem na tablo, ki je bila v uporabi še pred tem, neprimerno natančnejša, na dokumentu pa je mogoče zaradi fotografije opazovati tudi podrobnosti. V zadnjih letih so raziskave zmožnosti fotogrametričnih postopkov in računalniške obdelave množice slik izjemno napredovala. Zaradi dostopnosti do odprtokodnih programov in prostega dostopa do programskih orodij - programska orodja prejšnje generacije so bila izjemno draga in zato nedostopna širšemu krogu raziskovalcev - so danes možnosti za absolutno natančno zajemanje podatkov in hitro izvedbo na terenu povsem odprte.

**Primerjava rezultatov dobljenih s snemalniki na belo svetlobo in fotogrametrijo** Za analizo so bili uporabljeni rezultati 3D snemalnika Artec MHT na strukturirano belo svetlobo ter rezultati zajeti s fotoaparatom in procesirani s programom za fotogrametrijo PHOV Mementify.

Uporabljeni 3D snemalnik je namenjen za zajemanje podatkov v intimnem prostoru velikosti človeka. Ob geometriji zajema tudi teksture. Uporaben je za srednje velike arheološke predmete. Celoten proces registracije podatkov je avtomatiziran. Zato je Artec MHT 3D snemalnik dober za hitro procesiranje in pripravo 3D modelov manjših objektov.

<sup>14</sup>Remondino 2011

<sup>15</sup>Wang et al. 2005

<sup>16</sup>2011

<sup>17</sup>Roman et al. 2010



Slika 13: Kip Apolona, na katerem so bili izvedeni testi snemanja: a. 3D model narejen s fotogrametričnim procesiranjem, b. 3D model posnet s snemalnikom Artec MHT. (Foto in 3D modeli: Rok Kovačič, procesiranje z Autodesk 123D, 3D ogled z Meshlab)

Izvedeni so bili obsežni primerjalni testi med rezultati snemalnika na belo svetlobo in fotogrametrično procesiranim 3D modelom (sl. 13). Primerjava je pokazala, da so v večini primerov 3D modeli dobljeni s fotografijo in procesirani s fotogrametrično programsko opremo bolj rezultirani v vseh elementih, predvsem pa v avtentični reprodukciji barv in teksturiranju predmeta. 3D snemalnik na strukturirano svetlobo (*napaka* < 0,1 mm) je bolj natančen pri morfoloških zazavah površine predmeta. V primeru zajema večjih površin, kjer je potrebno sestavljati več zaporednih snemalnih ciklusov se začne napaka nenadzorovano večati.

**Programska orodja za analizo in vizualizacijo** Programska oprema za 3D modeliranje fotogrametrično zajetih skupin posnetkov arheoloških najdišč mora združiti predvsem dva pomembna elementa: (1) skupino posnetkov za analizo najdišča in (2) skupino posnetkov za upodobitev 3D modela.

Analiza najdišča in njenih podrobnosti ima pomembno vlogo pri razumevanju vseh okoliščin nekega dogodka ali dogajanja v preteklosti. Postopki proučevanja so lahko povsem avtomatsko računalniško izvedeni ali pa računalniški programi ključne izbire in končne sodbe v proučevanju prepuščajo presoji raziskovalcem z možnostjo izbire najverjetnejših rezultatov: (1) segmentacijska analiza celovitih 3D modelov, (2) 2D merska vrednotenja ter volumenometrična analiza 3D modelov in njihovih elementov, (3) ortofotografska analiza in pretvorba 3D modela v 2D temeljne načrte (tloris, naris, preseki, aksionometrični pogledi) za podrobno analizo in standardizacijo značilnosti proučevanega najdišča/predmeta, (4) vpenjanje najdišča v geografske informacijske sisteme, in (5) samodejno klasificiranje z uporabo odprtih podatkovnih zbirk.

Trirazsežnostna upodobljena najdišča/predmeti so močno povezana s strukturno in segmentacijsko analizo modela. Ta ne vključujejo samo preprosta vendar atraktivna virtualna upodabljanja 3D modela, temveč tudi slikovno podatkovno bazo najmanjših podrobnosti in podatkov v zvezi z modelom najdišča/predmeta: multimedijški podatkovni sklopi (slikovno gradivo in video zapisi podrobnosti), GIS podatkovna baza, preglednice elementov, stratigrafskih enot, posebnih najdb, naravoslovnih rezultatov itd. Tako sestavljena celota (slikovno/podatkovna baza) je nujno potrebna in arheologu zagotavlja forenzično zbrano zbirko za temeljno razumevanje zatečenega stanja najdišča iz katerega sledi objektivna presoja in rekonstrukcija časovno/prostorskih sosledij ter razumevanje širšega konteksta v katerega je umeščeno najdišče.

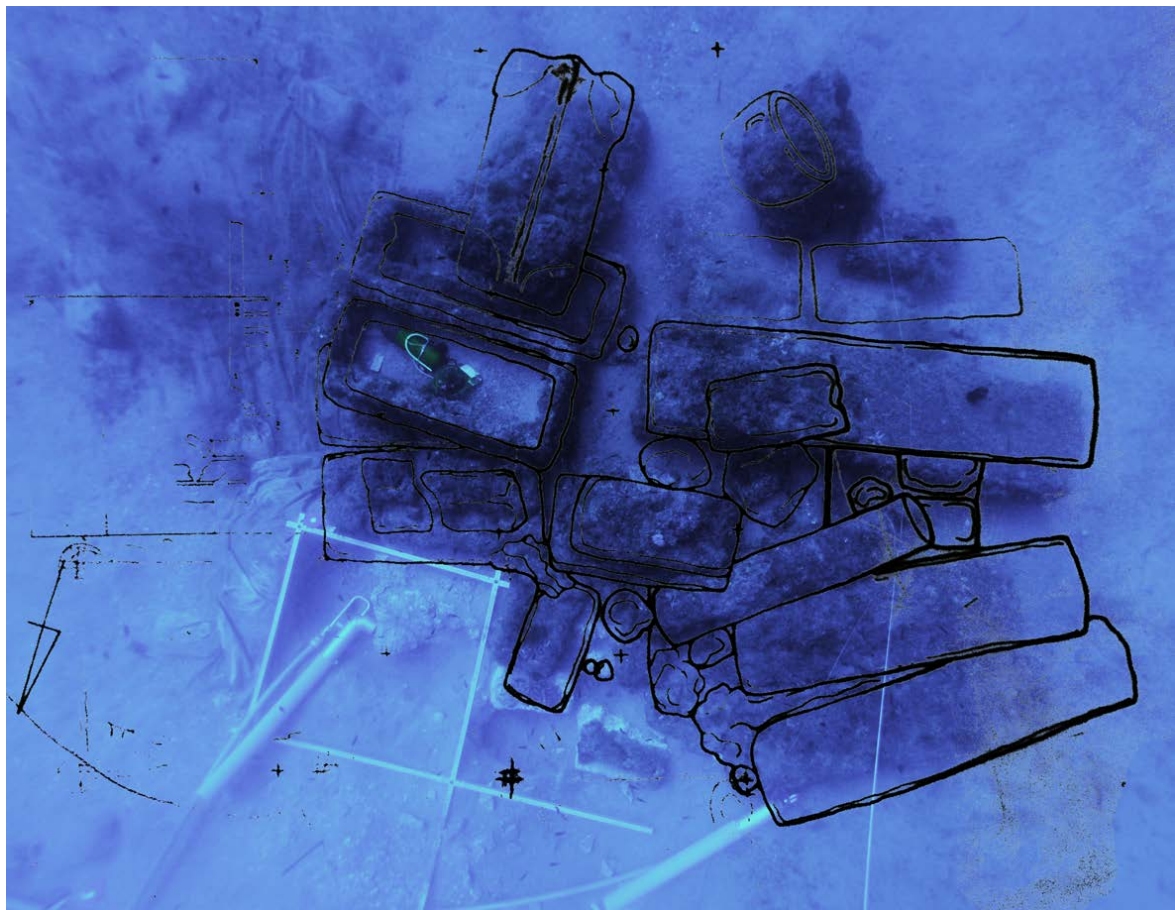
Nenazadnje pa tako pripravljena dokumentacija/arhiv pomembno vpliva na vpenjanje odkritja v širše družbene kontekste, omogoča korektno edukativne procese, multimedijško uporabo za muzeološke in promocijske dejavnosti ter trajnostno turistično uporabo namenjeno različnim skupinam uporabnikov. Allen et. Al so prepoznali potrebe in namen navidezne resničnosti, v kateri lahko uporabniki zelo hitro dostopajo do razvejanih medsebojno povezanih mrež "znanja".

## 2.3 Prednosti pri spremembah metodologije dokumentiranja podvodne dediščine

Prednosti pri uporabi sodobne tehnologije in najnovejših merilnih pripomočkov, ki dobivajo vse bolj dostopne cene in dobesedno vsakodnevno izboljševanju odprtokodne programske opreme so na dlani. Zaradi povsem novih možnosti dostopa do parametrov merjenja, ki prinašajo tudi nove nabore podatkov tudi težko, če ne celo povsem neprimerljive z možnostmi, ki so bile dostopne z analognim zajemom podatkov.

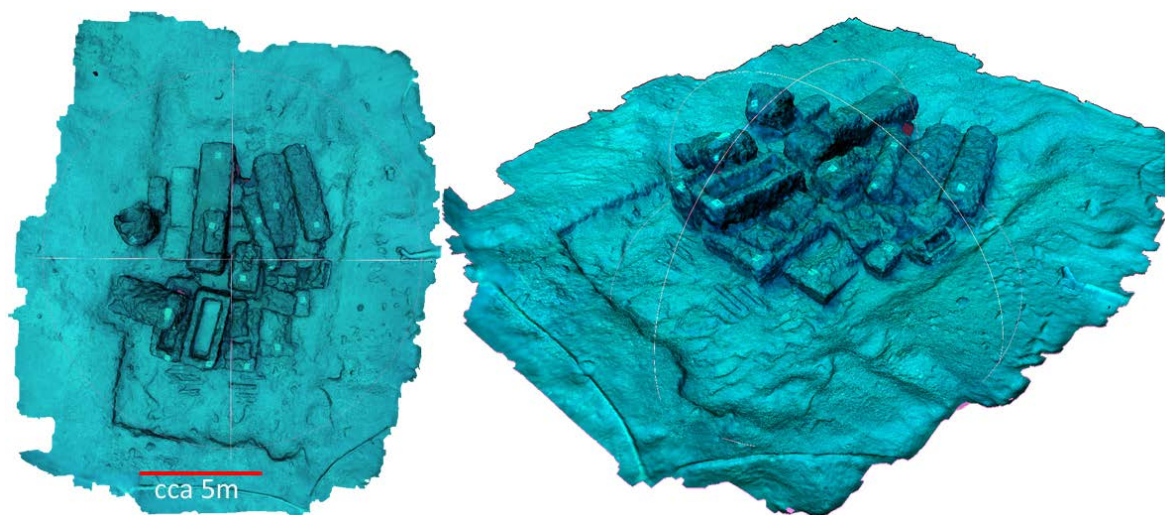
### 2.3.1 Popolna natančnost dokumentiranih najdišč

Natančnost meritev in nov nabor dostopnih podatkov je tista primerjava, ki je pravzaprav sploh ni mogoče izvesti. Analogna dokumentacija je bila pretežno 2D enkratno pridobljena z merilnimi pripomočki, naključnih ali sistematičnih napak v dokumentu pa v postprocesnih postopkih ni bilo mogoče naknadno preverjati. Pomanjkljivosti je metodologija dokumentiranja podvodne dediščine skušala odpravljati šele v zadnjih desetletjih s pomočjo novih merilnih postopkov - triangulacijo množičnih navzkrižnih meritev -, ki so omogočali tudi ustvarjanje 3D dokumentacije. V zadnjih desetletjih se je s pomočjo grobo merjenimi morfološkimi značilnostmi najdišča z geodetskimi merilniki in kombinacijo 2D fotografskih površin skušala poustvariti 3D oblika, ali pa vsaj korektni ortografski temeljni tlorisi. Dokumentacija je vendarle ostajala brez celovite baze podatkov o morfologiji površin in drugih podatkov za vsebinsko razumevanje predmeta raziskovanja. Najnovejše možnosti zajemanja podatkov omogočajo izjemno natančno - pod 1 mm - poustvarjanje oblike merjenega in zadovoljivo teksturo, še vedno pa se čuti pomanjkljivost pri globini zajema površine.



Slika 14: Antični brodolom s tovorom sarkofagov, Sutivan, Brač: pomembne razlike med ročnimi meritvami in skico, ki so bile izvedene ob odkritju in foto skico najdišča. (foto: Rok Kovačič)





Slika 15: Antični brodolom s tovorom sarkofagov, Sutivan, Brač: 3D model brodoloma. (foto: Rok Kovačič, 3D model: Gregor Berginc, procesirano z PHOV Mementify, 3D ogled z Meshlab)

### 2.3.2 Izjemno povečanje varnosti pri podvodnem delu

Varnost potapljačev je zagotovo na prvem mestu pri raziskavah podvodne dediščine. Zato bi morala biti pozornost organizatorjev močno usmerjena v organizacijo dela in izrabi vseh možnosti, da se čas izvedbe del na najdišču skrajša na najmanjšo možno mero. Najnovejše tehnološke in programske možnosti omogočajo izjemne časovne prihranke pri dokumentiranju, ki hkrati pomeni tudi tisti del raziskovalnih opravil, ki vzamejo veliko časa. Za primerjavo je mogoče uporabiti dokumentiranje rimske tovarne ladje v Sinji Gorici na globini 3 m. Za izdelavo analogne dokumentacije, ki bi obsegala 2D floris, 2 - 3 prečne preseke in 2 -3 vzdolžne preseke, naris in ortografski floris bi potrebovali 25 do 30 potapljaških ur. S pomočjo fotografskih nizov - vsak niz je obsegal preko 900 fotografij - za fotogrametrična 3D modeliranja 3 faz odkrivanja ladje po plasteh s pomočjo programske opreme PHOV Mementify smo potrebovali zgolj 3 - 4 potapljaške ure.

Omeniti velja še prvi test 3D dokumentiranja v vzhodnem delu Jadrana, ki je bil izveden med raziskavami antičnega brodoloma iz 3. stol. n. št. s tovorom sarkofagov pri Sutivanu na Braču v izvedbi Konservatorskog zavoda Hrvatske leta 2012.<sup>18</sup> Po primerjalni analizi 2D načrta, ki je bil kot skica pripravljen leta 2010 s 3D modelom, ki je bil narejen z nizom 800 fotografij in programsko opremo PHOV Mementify iz leta 2012 so se pokazale tudi več kot pol metra velike napake (sl. 14, sl. 15). Posebnost najdišča je da je na globini 32 m, tovor sarkofagov in ostanki tovarne ladje pa so na površini prib. 15 x 7 m, tovor sarkofagov se pne skoraj 2m nad dnom. Za dokumentiranje z analogno metodologijo zajemanja podatkov bi zagotovo potrebovali najmanj 30 potapljaških ur z velikim tveganjem, da bi težko pripravili dokument z manjšo napako od 10 cm. Niz fotografij iz katerega je bil pripravljen absolutno mersko natančen 3D model je bil pod vodo posnet v pičlih 35 minutah!

### 2.3.3 Povečana učinkovitost in nižja cena

Iz vsega naštetega je mogoče povsem logično razumeti in prepoznati, da gre pri uporabi najnovejših tehnologij 3D zajemanja podatkov bodisi z merilniki ali setifotografij zafotogrametrična vrednotenja, dostopnosti prostokodnih programskih orodij in razvoj novih orodij za segmentacijo in strojno obdelavo 3D zajetih podatkov za za izjemne in pri raziskavah podvodne dediščine, še nedosežene pridobitve pri natančnosti primarne dokumentacije, povečevanje varnosti pri podvodnem delu s skrajševanjem časa prebitega pod vodo in s tem povezan precej nižji strošek raziskav saj je vrednost potapljaške ure, vsaj na območju vzhodnega Jadrana in v večini držav Južne Evrope, precej višja kot postprocesno delo v projektih raziskav podvodne dediščine. Tako postajajo razmerja med kvaliteto podatkov in ceno za rezultate povsem neprimerljiva s tovrstnimi razmerji v preteklosti.

<sup>18</sup>Mihajlović 2012



## 3 Cilji

Pedagoške cilje Delavnice za študente "Zajem in obdelava 3D podatkov v podvodni arheologiji" lahko razdelimo na kratkoročne in dolgoročne.

### 3.1 Kratkoročni:

- I. usposobiti študente za sistematično opazovanje podvodne kulturne dediščine,
- II. usposobiti študente za sistematično opazovanje pouka učiteljev, izkušenih praktikov ter študentov kolegic in kolegov,
- III. prikazati študentom postopke dokumentiranja podvodne kulturne dediščine pred tehnološko-računalniškim razvojem merilne opreme in programskih orodij, osmisliti prehod in uporabo najnovejših orodij,
- IV. razviti zavest o potrebi po treh pomembnih prednostih pri raziskavi podvodne kulturne dediščine; (1) visoka natančnost dokumentiranega, kar zagotavlja kvalitetnejšo podlago za interpretativne študije podvodne dediščine, (2) izjemno povečana varnost pri raziskovanju podvodne dediščine zaradi skrajševanja časa potrebnega za dokumentiranje in (3) implementacija kvalitativno povečanega razmerje med zniževanjem vrednosti podvodnega dela ob sočasnem povečevanju kvalitete rezultatov,
- V. razviti zavest študentov o nujnosti stalne refleksije lastne prakse, prilagajanja načrtovanja in izvedbe učnih procesov pri dokumentiranju podvodne dediščine ter stalnega strokovnega izpopolnjevanja in s tem profesionalne rasti, ter
- VI. usposabljanje za samostojno izvajanje raziskovalnega dela na terenu.

### 3.2 Dolgoročni:

- I. vzpodbuditi študente različnih študijskih programov k interdisciplinarnem sodelovanju na področjih raziskovanja podvodne kulturne dediščine, še zlasti študente arheologije s programi, ki lahko pri raziskavah podvodne dediščine ključno pripomorejo k kvalitetnim in popolnim rezultatom,
- II. vzpodbuditi zanimanje za širše zastavljene multidisciplinarne raziskave kulturne dediščine, ki omogočajo induktivna in deduktivna sklepanja in razumevanja podvodne dediščinske problematike,
- III. vzpodbuditi evalvacijske dejavnosti in v okviru letnih pristopanje k mednarodnim raziskavam podvodne kulturne dediščine,
- IV. vzpodbuditi diseminacijo raziskovalnih rezultatov strokovni in širši laični javnosti,
- V. vzpodbuditi in razvijati poglobljen odnos in razumevanje pomena podvodne kulturne dediščine za skupno zgodovino človeštva in
- VI. vzpodbuditi aktivnosti prijavljanja na nove razpise in pridobivanja sredstev za znanstveno-raziskovalne in razvojno-raziskovalne naloge.

## 4 Program delavnice

2013		<b>Zajem in obdelava 3D podatkov v podvodni arheologiji</b>	
1.-5. julij		9:00 - 15:00	16:00 - 19:00
<b>ponedeljek</b>			
11:00 - 15:00	Terensko delo na "grobišču" Maon; <b>Tehnike ročnega zajemanja podatkov:</b> dokumentacija, merjenje, postavljanje okvirjev		
16:00-16:20		Uvodni nagovor <b>Franc Solina, Miran Erič:</b> Pomen dokumentiranja podvodne dediščine, metodologija in tehnike ter razvoj 3D orodij in programske opreme.	
16:20-18:00		<b>Darja Grosman:</b> Arheološka metodologija, pomen, daljinski zajemi podatkov in perspektive	
18:15-20:30		<b>Darja Grosman:</b> 2D > 3D > 4D	
<b>torek</b>			
9:30-15:30	Terensko delo na "grobišču" Maon; <b>Tehnike ročnega zajemanja podatkov:</b> merjenje, postavljanje okvirjev.		
16:10-17:20		<b>Smiljan Gluščević:</b> Apoksiomen. Od odkritja do razstave	
17:30-19:00		<b>Žiga Stopinjšek:</b> 3D snemanje, snemalniki, programska orodja in perspektive; predavanje, delavnica in vaje	
19:10-19:20		<b>Franco Juri:</b> Predstavitev Pomorskega muzeja "Sergej Mašera" Piran	
19:20-20:30		<b>Uroš Hribar in Davide Filipas:</b> Predstavitev oddelka o ladjedelništvu Pomorskega muzeja "Sergej Mašera" Piran	
<b>Sreda</b>			
9:00-15:45	Terensko delo na "grobišču" Maon; <b>Tehnike 3D digitalnega zajemanja podatkov:</b> 3D dokumentiranje; priprava terena in dokumentacije.		
16:30-18:00		<b>Rok Kovačič:</b> Digitalna fotografija in fotoaparati, Posebnosti podvodne fotografije; predavanje, delavnica in vaje.	
18:00-18:50		<b>Sebastijan Govorčin:</b> Terminologija v ladjedelništvu in delov ladijske konstrukcije	
19:00-21:30		<b>Rok Kovačič:</b> DELAVNICA IN VAJE: <i>Digitalna fotografija</i>	
19:00-21:30		<b>Žiga Stopinjšek:</b> DELAVNICA IN VAJE: <i>3D snemanje, 3D modeliranje</i>	
<b>četrtek</b>			
9:00-15:30	Terensko delo na "grobišču" Maon; <b>Tehnike 3D digitalnega zajemanja podatkov:</b> 3D dokumentiranje; merjenje, skice, fotografija		
16:15-18:00		<b>Gregor Berginc:</b> Programska orodja za fotogrametrijo; predavanje, delavnica in vaje.	
18:10-19:50		<b>Marko Perkovič:</b> Navtični simulator FPP in njegov pomen za varstvo podvodne kulturne dediščine. Predstavitev in demonstracija	
<b>Petek</b>			
10:20-10:30	<b>Pomorski muzej "Sergej Mašera", Piran</b> <b>Franco Juri:</b> Predstavitev razstave "Večen Piran"		
10:30-11:30	<b>Snježana Karinja:</b> Avtorica razstave "Večen Piran": vodstvo po razstavi in ogled muzeja		
11:30-12:00	<b>Elica Boltin Tome:</b> upokojena arheologinja pomorskega muzeja; Začetki raziskav priobalnega morja v Sloveniji		
12:20-13:00	<b>Muzej podvodnih dejavnosti Piran</b> <b>Dorls Delglusto:</b> Kustosinja muzeja: Predstavitev muzeja in vodstvo po razstavi		
14:20-15:20	<b>Krajinski park Sečoveljske soline</b> Zaključek delavnice		



Slika 16: Udeleženci delavnice pred plovilom, ki ga proučujejo in popravljajo študentje fakultete za pomorstvo in promet. Na sliki od leve proti desni: Franc Solina, Lara Prusnik, Žiga Stopinjšek, Sandi Gec, Sara Čorković, Stojan Plešnar, Rok Kovačič, Hrvoje Manenica, Dušanka Romanović, Janez Udovič, Saša Koren, Matej Školc, Sebastijan Govorčin, Nataša Hribar, Dino Taras, Črt Lorber, Gregor Berginc, Miran Erič in Smiljan Gluščević. Manjkata: Darja Grosman in Marko Perkovič. (foto: Marko Perkovič)

## 5 Izvedba delavnice

### 5.1 Dnevnik terenskega dela: Žiga Stopinjšek

Prvi teden v juliju 2013 je potekala arheološko-računalniška delavnica za vse simpatizerje računalništva, arheologije in potapljanja (sl. 16). Namen delavnice je bil predstaviti problematiko zajema podatkov v podvodni arheologiji in vzpostaviti interdisciplinarno zvez med arheologi, inženirji računalništva in informatike ter drugimi strokovnjaki, da bi skupaj prediskutirali sodobne oblike zajema in obdelave 3D podatkov in poiskali najboljše aplikativne rešitve. Osnovni pogoj je bil le opravljen začetni potapljaški izpit.

Arheologija, tako kot tudi nekatere druge vede, je vstopila v neko novo obdobje, kjer brez računalniške podpore ne more več obvladovati in interpretirati ogromnih količin podatkov, ki nastajajo skozi različne faze arheološke dokumentacije. Predvsem podvodna arheologija, kjer je stik z najdiščem prostorsko in časovno omejen, išče nove sodobne načine, kako bi optimizirala čas potapljača v vodi, količino zajetih podatkov in natančnost samega rezultata.

Delavnico sta organizirala mag. Miran Erič (Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije) in prof. dr. Franc Solina (Fakulteta za računalništvo in informatiko, UL), omogočili pa so jo Fakulteta za računalništvo in informatiko, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije ter Fakulteta za pomorstvo in promet. Sponzor delavnice sta bila Golden Light Photography in Morska biološka postaja Piran Nacionalnega inštituta za biologijo.

Program delavnice je bil okvirno razdeljen na dopoldansko terensko arheološko delo na grobišču potopljenih lesenih tovornih ladij (maon) pred skladišči soli v Portorožu ter na popoldanska predavanja in delavnice o arheološki metodologiji in terminologiji, podvodni arheologiji, zajemu 3D podatkov, fotografiji, fotogrametriji in obdelavi 3D podatkov, ki so potekale v prostorih Fakultete za pomorstvo in promet. Udeleženci so vsak dan dobili domačo nalogo, da pripravijo izčrpno pisno poročilo dogajanja pod vodo in ga oddati naslednji dan zjutraj.

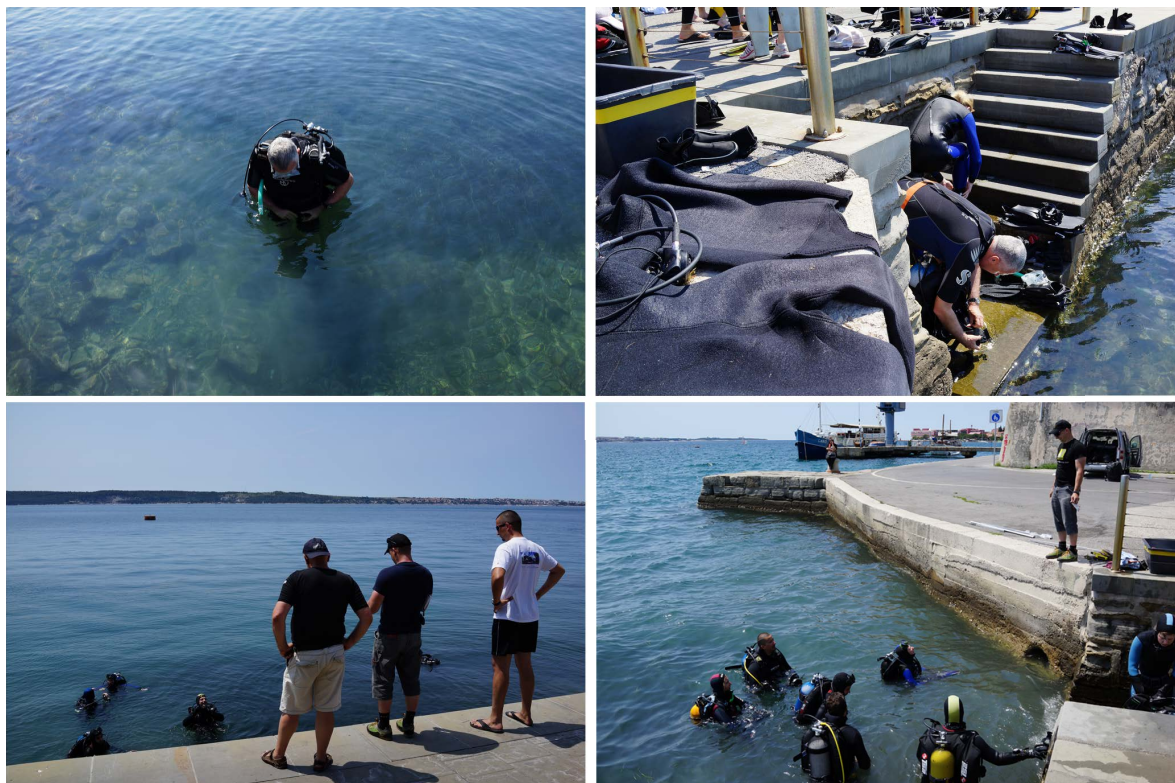
Delavnice so se udeležili štirje študentje računalništva in informatike iz FRI, novinar, pet študentov arheologije iz Oddelka za arheologijo Filozofske fakultete, UL, študent arheologije iz Zadra in trije podvodni arheologi iz Arheološkega muzeja Zadar. Ekipa je bivala v bližnjem hostlu Korotan, sosednjih kampih in celo kar v naravi. Organizatorji delavnice so krili vse stroške v zvezi s strokovnim delom delavnice, polnjenjem jeklenk z zrakom in opoldansko malico. Udeleženci so sami morali nositi le stroške bivanja.





Slika 17: Udeleženci so vsak dan dobili domačo nalogo, da pripravijo izčrpno pisno poročilo dogajanja pod vodo in ga oddati naslednji dan zjutraj. (foto: Franc Solina)

**Ponedeljek** Udeleženci so že prvi dan dobili nekaj podvodnih nalog. Najprej so se morali razdeliti v pare (najti potapljaškega "budy"-a) ali skupine po tri, s katerim bodo skupaj opravljali naloge. Prva, zelo pomembna naloga, je bila ogled terena in iskanje potopljenih maon. Udeleženci so našli različno število maon, od ene do dveh, nihče pa vse tri zaradi slabe vidljivosti in naravnega prikritja ene od maon. Z zadnjo nalogo so pa organizatorji poskušali pokazati, kaj pomeni doživeti kaos med delom pod vodo. Potrebno je bilo postaviti okvir okoli maone, naloga pa je bila dodeljena celotni ekipi. Ker je bilo zelo malo navodil, so se potapljači poskušali podrobno dogovarjati sproti, vendar z bolj malo uspeha. Čisto na koncu je bilo potrebno še postaviti 29 referenčnih točk po najdišču (sl. 17).



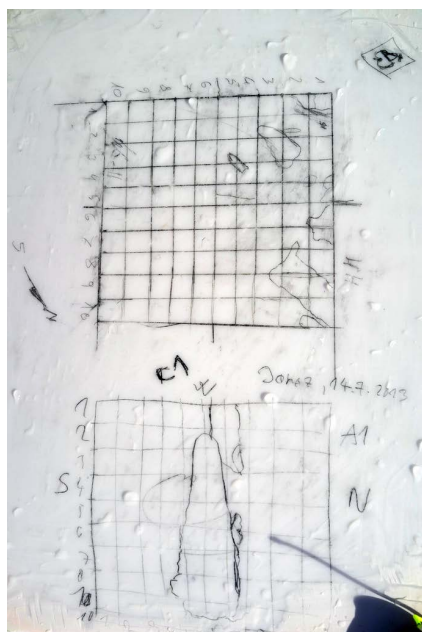
Slika 18: Priprava udeležencev na podvodno delo in napotki vodje potopov Roka Kovačiča o delu in varnosti pod vodo. (foto: Žiga Stopinjšek, Franc Solina)





Slika 19: Vaje iz analognega zajema podatkov na arheološkem najdišču. (video: udeleženci delavnice)

Serijo popoldanskih predavanj je začela pred. Darja Grosman iz Oddelka za arheologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Predavala je o arheološki metodologiji, pomenu 2D, 3D in 4D podatkov in o aerofotografiji.



Slika 20: Med nalogami, ki so jih morali opraviti udeleženci delavnice je bila tudi uporaba metra in tablice za dokumentiranje. Za celovito dokumentiranje najdišč v bodočnosti, tovrstni zajem podatkov seveda ne bo potreben, pogosto pa se zapis pod vodo še vedno uporablja v izogib pozabi med in po delu. (foto: Franc Solina)

tradicionalnem ladjedelstvu v bivših skladiščih soli v Portorožu. Tradicionalne postopke gradnje ter poimenovanja delov ladje sta predstavljala gospod Davide Filipas in kustos muzeja Uroš Hribar (sl. 21).

**Sreda** V sredo so bili udeleženci že veliko bolj organizirani. Razdeljeni so bili v štiri skupine, vse skupine pa so opravljale bolj ali manj iste naloge: postavitve boe, postavitve mreže, totalno risanje, fotodokumentacija najdišča za izvedbo fotogrametrije, videodokumentacija dela potapljačev, merjenje absolutne in relativne globine referenčnih točk, merjenje razdalj med referenčnimi točkami in čiščenje mulja iz najdišča. Pod vodo se je zvrstilo kar nekaj zanimivih dogodkov. V bližini je mimo plula ladja, ki je pod vodo dvignila ogromno mulja, tako da je bila vidljivost manj kot en meter, kar je povzročilo nekaj zmede in nekoliko spremenilo način dela. Čiščenje mulja in merjenje globine so opravljali z improvizacijskimi tehnikami, ki jih je v izjemnih okoliščinah dobro poznati.

Popoldan sta predavala Rok Kovačič (Golden Light Photography) o osnovah fotografije pod vodo ter Sebastjan Govorčin (Sveučilište u Zadru, Odjel za arheologiju) o terminologiji delov ladij. Prvo predavanje je bilo nujno tudi za opravljanje nekaterih nalog pod vodo, drugo pa za normalno komunikacijo med udeleženci o samem objektu opazovanja.

**Torek** Naslednji dan je bilo potrebno za normalno opravljanje arheološkega dela popraviti okvir. Med potapljaškim sestankom (t. i. »briefing«) so vsi udeleženci poročali o izkušnji in vtisih iz prejšnjega dne. Nato so bili razdeljeni v skupine, ki so dobile različne naloge (sl. 18). V 1. skupini so popravili okvir, v 2. in 3. skupini pa so udeleženci merili razdalje med včeraj postavljenimi točkami. Četrta in peta skupina sta že pričeli z ročnim skiciranjem najdišča, košček po košček s pomočjo mreže velikosti kvadratnega metra (sl. 19, 20).

Popoldansko predavanje je začel dr. Smiljan Glušević, direktor Arheološkega muzeja Zadar. Predstavil je izjemno odkritje Apoksiomena, antične grške bronaste skulpture atleta v nadnaravni velikosti, pri Malem Lošinjju. Na podlagi prijave belgijskega potapljača, ki ga je odkril, so opravili raziskave in dvig iz vode. Desalinizacija in restavriranje je potekala zelo dolgo. Nato je o 3D zaznavanju in 3D merilnikih predaval Žiga Stopinšek, študent računalništva in informatike na FRI. Udeležencem je predstavil osnovne pojme in procese pri zaznavanju globine, vrste merilnikov in aplikativne rabe.

Po predavanjih so si udeleženci ogledali izpostavo Pomorskega muzeja »Sergej Mašera« o

Po predavanjih sta sledili delavnici, ki sta jih vodila Rok Kovačič (fotografiranje za namene fotogrametrije) in Žiga Stopinšek (3D snemanje s 3D merilnikom Artec MHT). Udeleženci so se razdelili v dve skupini, tako da je lahko bilo delo bolj individualno. Delavnice so potekale vse do 10. ure zvečer.

**Četrtek** Četrtek je bil zadnji dan, namenjen podvodnemu delu. Poleg včerajšnjih nalog dokumentiranja so udeleženci morali še pospraviti najdišče. Razdeljeni so bili v pet skupin, prve štiri so določale absolutne in relativne globine referenčnih točk, izvajali meritve razdalj med referenčnimi točkami in poskrbeli so za fotodokumentacijo in videodokumentacijo celotnega najdišča ter dela potapljačev. Zadnja skupina je morala pospraviti mrežo, pobrati postavljene referenčne točke, razstaviti okvir in vse dele varno prinesiti nazaj na obalo. Ključna naloga zadnjega dne je bilo upoštevanje dodeljenega časa pod vodo, saj so prejšnje dni potapljači pogosto zamujali s prihodom v vodo in vračanjem iz nje.

Popoldan sta sledili dve računalniško obarvani predavanji. Gregor Berginc (3dimenzija, Xlab) je predaval o fotogrametrični metodi PHOV Mementify in 3D modeliranju, Marko Perkovič (Fakulteta za pomorstvo in promet, Univerza v Ljubljani) pa je predstavil fakultetni navtični simulator. Udeleženci so lahko sami poskusili parkirati ladjo v Luko Koper v različnih vremenskih pogojih (sl. 22). Po predavanjih je sledil zaključni piknik, ki ga je gostila Fakulteta za pomorstvo in promet.



Slika 21: Legendarni, najstarejši še živeči ladjedelec na slovenski obali Davide Filipas je udeležencem pripovedoval zgodbe iz ladjedelništva, kustos pomorskega muzeja Uroš Hribar pa je predstavil zbirko o tradicionalnem ladjedelništvu pomorskega muzeja Sergej Mašera iz Pirana. (foto: Franc Solina)



Slika 22: Udeležence delavnice je pričakal izjemno zanimiv ogled navtičnega simulatorja, ki ga vodi mag. Marko Perkovič iz Fakultete za pomorstvo in promet Univerze v Ljubljani. Dostop do simulatorja ima le malo ljudi v Sloveniji, zato je bilo navdušenje med udeleženci izjemno veliko. (foto: Franc Solina)



**Petek** V petek so si udeleženci ogledali dva zanimiva muzeja v Piranu, povezana s podvodno arheologijo ter potapljanjem. V Pomorskem muzeju »Sergej Mašera« nas je pozdravil direktor Franko Juri, predstavitev pa je vodila kustosinja za arheologijo Snježana Karinja. Udeleženci so prav tako imeli priložnost poslušati arheologinjo Elico Boltin Tome, ki je prva v Sloveniji v 60. letih 20. stoletja začela z raziskavami priobalnega morja (sl. 23). Sledil je še ogled Muzeja podvodnih dejavnosti, nato pa še zadnji »briefing« v Sečovljjskih solinah.



*Slika 23:* Srečanje s pionirko slovenske podvodne arheologije Elico Boltin Tome v Pomorskem muzeju Sergej Mašera v Piranu je bilo ganljivo, kustosinja Snježana Karinja pa je udeležence vodila po razstavah v hiši. Za udeležence je bil zelo zanimiv tudi muzej podvodnih dejavnosti, ki ga je naredil zbiralec opreme in velik ljubitelj potapljanja Žarko Sajič. (foto: Franc Solina)



*Slika 24:* Sprehod med muzeji. (foto: Sara Čorković)





*Slika 25:* Vsa predavanja, demonstracije in vaje so se v popoldanskem času odvijale v predavalnicah Fakultete za pomorstvo in promet Univerze v Ljubljani. Kljub utrujajočemu dopoldanskemu delu na terenu, potapljanje in vročina v času od 8 ure zjutraj do približno 15 ure popoldne vsekakor nista neutrudljiva, so udeleženci zbrano spremljali predavanja, ki so se začela že po polurnem odmoru in večji del trajala najmanj do pol devete zvečer, in le redko kdo je zakinkal za kratek hip. (foto: Franc Solina)

## 5.2 Predavanja

Predavanja so bila po programu izvedena v predavalnici na Fakulteti za pomorstvo in promet Univerze v Ljubljani in so trajala od 16 do, najpogosteje, 20:30 ure (sl. 25).



*Slika 26:* Darja Grosman (foto: Franc Solina)

### 5.2.1 Darja Grosman

#### Arheološka metodologija, pomen, daljinski zajemi podatkov in perspektive.

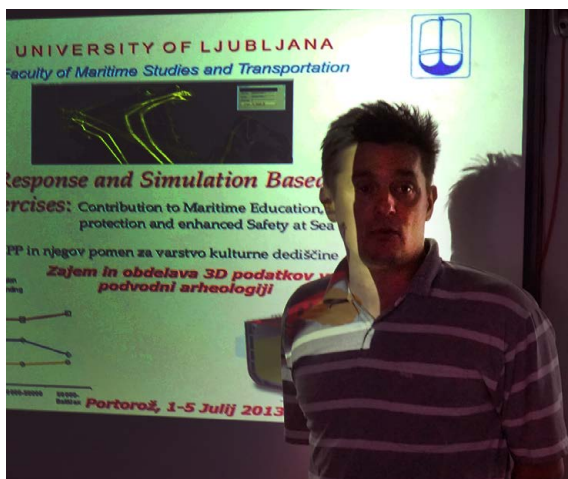
##### 2D > 3D > 4D.

Informacijski potencial arheološkega terenskega zapisa in artefaktnih ostankov, metode identifikacije, definicije in dokumentiranja materialnih ostankov v terenskem in laboratorijskem delu. Praktične in druge aktivne oblike dela in učenje dokumentiranja arheoloških podatkov in najdb ter njih hranjenje. Načela arheološke stratigrafije in arheoloških izkopavanj (priprava, izvedba, interpretacija) skupaj z osnovnimi dokumentacijskimi postopki izkopavanj. Analize artefaktov (surovina, tehnologija izdelave, oblike rabe in obrabe, interpretacija). Pregled prostorskih in krajinskih vidikov v arheoloških interpretacijah. Temeljni koncepti in metode lokacijskih analiz, teorije centralnih krajev, analize prostorskih distribucij in druge statistične in formalne metode za ugotavljanje pravilnosti v korpusih prostorskih in drugih arheoloških podatkov.

Oblike arheološke dokumentacije (terenske in artefaktne): baze podatkov, načrti, grafična dokumentacija predmetov, delo s papirnimi in digitalnimi oblikami dokumentacije. Standardi arheološke dokumentacije; upravljanje z arheološko dokumentacijo in priprava arheološke dokumentacije. Kaj je identifikacija in analiza elementov arheološkega plastenja, geološka in arheološka stratifikacija. Analize izbranih študijskih primerov arheološkega izkopavanja, problemi podepozitnih dogajanj in meddisciplinarna obravnavo arheološke stratigrafije. Poudarek na evalvaciji zajema podatkov in stratigrafski analizi, ki sta predpogoj za obravnavo najdb in ostankov, ter vzpostavitvi interne tipologije najdb. Problematika zajema prostorskih podatkov in dokumentiranje v analogni in digitalni obliki, strukturiranju najdiščnega arhiva v povezavi z rezultati ostalih terenskih raziskav. Natančne analize stavbnih ostankov: arhitekturno-stratigrafske metode, metode in postopki drugih tehničnih, naravoslovnih, humanističnih in družboslovnih ved v analizi stavbne dediščine.

Tehnike daljinskega zaznavanja s poudarkom na aerofotografiji, načela splošne aerofotografije in specialne arheološke aerofotografije, delo z gradivom iz historičnih arhivov, načrtovanje tematskih rekognosciranj iz zraka, analiza okoljskih in prostorskih podatkov. Praktični del je namenjen seznanjanju z različnimi oblikami posnetkov (vertikalnimi, poševnimi, stereo pari), nosilci (filmi, kontakti, digitalnimi formati), z osnovami digitalne obdelave slik ter s problemi lociranja, rektifikacije in kartiranja posameznih vsebinskih in tematskih sklopov v digitalnem okolju geografskih informacijskih sistemov (GIS). Osnove in filozofija GIS, praktično delo z GIS (zajemanje in primarna obdelava kartografskih podatkov, osnovne manipulacije s podatkovnimi sloji: reklasifikacija, izdelava digitalnega modela reliefa, izdelava drugih tematskih podatkovnih slojev, georeferenciranje, pretvorba vektorskih v rasterske zapise in obratno...), glavne analitične tehnike (binarne karte, algebra kart, izdelava kart pogleda iz lokacije, iskanje optimalnih poti v prostoru, izdelava kart trendov, kombiniranje kartografskih podatkovnih slojev z bazami podatkov).

### 5.2.2 Marko Perkovič



Slika 27: Marko Perkovič (foto: Franc Solina)

**Navtični simulator FPP in njegov pomen za varstvo podvodne kulturne dediščine.** Severni del jadranskega morja je bil od nekdaj pomorsko aktiven, tako je tudi danes, kjer poleg večjih pristanišč Benetke, Trst, Koper in Reka (NAPA pristanišča – North Adriatic Ports Association) raznolike ladje s »Svetom« povezujejo tudi nekaj manjših pristanišč kot so Pula, Novigrad, Monfalcone, Grado, Chioggia, ... Predel severnega jadrana je tudi ribolovno področje, v sezonskem času pa turistično popularna destinacija z več marinami in veliko plovili za šport in razvedrilo. Pomorski promet je v nenehnem porastu, vsled tega se širijo pristanišča in terminali, podaljšujejo se pomoli v morje in gradijo skladišča v zaledju, tovrstni posegi pa velikokrat posegajo v zaščitene predele kulturne in tehnične dediščine. Poleg tega, da ima intenziven pomorski promet znane stranske učinke

na okolje, kot so najprej »operativni« vplivi: onesnaževanje s izpušnimi plini, balastnimi vodami, zaoljenimi vodami, odpadki in hrupom. Naslednji, bolj znani so vplivi iz aspekta nesreč na morju, to so predvsem večja oljna onesnaženja, ki nastanejo predvsem zaradi nasedanja, trčenja, strukturnega loma ladje ali nesreče pri prekladanju tovora. Tovrstna tveganja je možno minimizirati z aktivnim nadzorom pomorskega prometa, uredbami in pripravljenostjo deležnikov. Za področje zaščite podvodne dediščine pa so lahko zelo pomembni tudi vplivi iz vidika sidrenja ladij, kjer velika ladijska sidra in verige uničujejo podvodna najdišča, ravno tako v plitvinah močni ladijski vijaki spirajo morsko dno. Posebno velik vpliv imajo tudi ribiške ladje, kjer se s kočarjenjem oz. vleko ribiške mreže po morskem dnu degradira okolje in uničuje dediščino.

### 5.2.3 Smiljan Gluščević



Slika 28: Smiljan Gluščević (foto: Franc Solina)

**Apoksiomen. Od odkritja do razstave.** Kip je le eden od osmih znanih primerkov na svetu upodobitve atleta po boju s strgalom v rokah. Apoksiomen izstopa kot najbolj verodostojna slika prototipa. Med najbolj znanimi je Lizipov Apoksiomen, katerega kopijo je danes v drugačni pozi mogoče videti v galeriji Uffizi. Hrvaški se od Lizipovega Apoksiomena razlikuje po drži rok, ki jih ima v višini boka in ne v višini podlaktnice. Kip je bil najverjetneje namenjen na Brione ali v katero drugo severno večje mesto ob morju, a so ga zaradi težav s plovbo in posledičnim lažjim tovorom mornarji odvrkli v morje, kjer je bil leta 1998 naključno odkrit jugovzhodno od otoka Lošinja.

Kopijo dela poznoklasičnega ali zgodnjega helenističnega grškega kiparstva je stoletja varovala peščena gladina jadranskega morja. Bronast kip atleta, morda rokoborca, ki si po vadbi z majhnim ukrivljenim strgalom čisti plast olja, peska in potu s telesa, so na Hrvaškem poimenovali kar Hrvaški Apoksiomen. Hrvaški Apoksiomen predstavlja atleta, ki je pravkar končal tekmovalje ali vadbo in je upodobljen v trenutku sproščanja, popolnoma predan čiščenju svojega

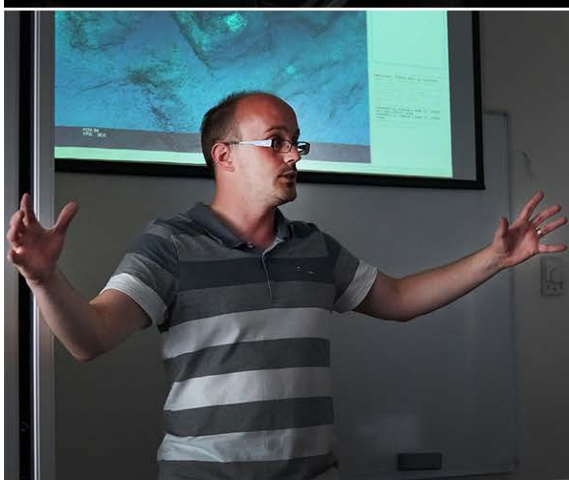
telesa. Ni znano, ali je upodobljen mladenič zmagovalca boja ali poraženec. Za grško umetnost, še posebej za helenistični umetnostni slog, je značilno, da so pri motivu upodobitve izbirali ne le pomembnih oseb in poz tedanjega časa, ampak tudi otroke, starce, bolečino, dramatičnost. Po vsej verjetnosti gre po fizični postavi sodeč za rokoborca, saj atlet ni določen z nobenim atributom, za kar bi mu lahko pripisali določeno športno disciplino.

Grki so kipe izdelovali iz različnih kiparskih materialov, a so bili večinoma izdelani iz takrat dragocenega, krhkega reciklažnega bronu. Prav zaradi te talilne zmožnosti in ponovne uporabe materiala so vrednosti bronastih antičnih kipov neprecenljive. Hrvaški Apoksiomen je bil odlit v bron s posrednim postopkom izgubljanja voska. Zaradi svoje velikosti, v višino meri kar 192 centimetrov, ni bil vlit iz enega kosa, ampak je sestavljen iz glave, trupa, nog in rok ter spolovila. Šlo naj bi za konkretno osebo, ki je preživela boj in iz poze ni mogoče razbrati, ali gre za upodobitev zmagovalca ali poraženca. Posebnost kipa ni le visoka livarska tehnologija oziroma modelirana površina telesa, ampak predvsem mladeničeva frizura, prameni mokrih in zamaščenih las, ki se formalno lahko približa tudi na drugih kipih, ustvarjenih okrog leta 350 pred našim štetjem. Zanimiva je tudi želja po čim večjem vtisu resničnega telesa, očitna v izdelanih očesnih vstavkih, ki niso bili najdeni, ustnic in prsnih bradavic, ki so izdelane iz rdečkaste bakrene pločevine.<sup>19</sup>

<sup>19</sup>Beja 2011



#### 5.2.4 Rok Kovačič, Gregor Berginc in Žiga Stopinšek



**Digitalna fotografija in fotoaparati, posebnosti podvodne fotografije.**

**Programska orodja za fotogrametrijo.**

**3D snemanje, snemalniki, programska orodja in perspektive.**

Fotogrametrija ima v podvodni arheologiji sicer že dolgo zgodovino, tudi na vzhodni obali Jadrana, vendar so za njene začetke veljale podobne omejitve kot za fotogrametrijo na suhem. To je bil zelo zamuden postopek fotografiranja pod vodo, da bi bile fotografije čimbolj poravnane in nato iskanje korespondenčnih točk med stereo pari fotografij v laboratoriju. Zato so bili fotogrametrični zajemi podatkov pod vodo v preteklosti dražji od ročnega, oziroma klasičnega dokumentiranja, tako zaradi obsežnega dela pod vodo, kot tudi zaradi zelo zamudnega laboratorijskega dela.

Zaradi potrebnega časa in stroškov meritve niso bile nikoli tako goste oziroma številne, da bi lahko bila že na osnovi meritev ustvarjena terenska dokumentacija in risbe predmetov, ki bi nadomestila klasične postopke dokumentiranja. Računalniško zasnovane metode dajejo tako goste podatke, da je mogoče govoriti o globinski ali 3D sliki, ki je sestavljena iz gostega oblaka točk, vsaka od teh točk pa ima vse tri prostorske koordinate. Iz skupin namensko posnetih slik iz različnih zornih kotov je tako mogoče sestaviti več ali manj popolne 3D modele. Pri fotografiranju odpadejo omejitve glede nameščanja kamer, zato je mogoče snemati iz roke brez dodatne opreme. Posneti je potrebno le dovolj veliko množico slik, ki se paroma prekrivajo med seboj za okoli 75 %. Danes pa se že uveljavljajo programska orodja, ki omogočajo sestavljanje 3D modelov kar iz video zapisov. Enostavna uporaba v primerjavi s klasičnimi pristopi k nekaterim postopkom dokumentiranja, so odlike, ki odločajo, da se tak pristop vedno bolj pogosto uporablja tudi pri arheoloških raziskavah.

Danes je fotogrametrični zajem podatkov pod vodo ne le bolj natančen in hitrejši od klasičnega dokumentiranja, ampak zaradi močno skrajšanega časa, potrebnega za zajem podatkov, hitrejši, cenejši in s tem varnejši. Ta trenutek je med vsemi metodami 3D dokumentiranja najdišč pod vodo praktično najbolj uporabna fotogrametrija.

Potencial dobljenih podatkov je, ob atraktivnih možnostih ogleda virtualnega 3D modela, širše uporaben. V nasprotju z 2D fotografijo, ki nespremenljivo določa smer in kot pogleda ter

Slika 29: Foto: Franc Solina

interpretirano 2D tlorisno dokumentacijo, omogoča 3D model simuliran virtualen pogled v dokumentirane površine ali predmete, ki jih je mogoče zelo natančno proučevati. Pomembnejše je, da so zaradi morfoloških značilnosti 3D oblakov prostorsko umeščenih točk, ki so absolutni posnetek trenutnega stanja, povsem odprte možnosti nadaljnjih analiz 3D modela. To je še zlasti pomembno zato, ker je proučevanje arheološkega najdišča časovno omejeno na čas terenskih raziskav, kasneje pa je, ali zavarovano in situ in teško dostopno, najpogosteje pa uničeno. Sistematično in načrtno je mogoče proučevati, segmentirati ali klasificirati izbrane površine na 3D modelu. Z avtomatiziranim iskanjem in analiziranjem površin je mogoče na modelu poiskati značilne elemente, ki bi sicer lahko bili zaradi omejenega časa v naravnem okolju spregledani. Pomembna pa je tudi verjetna arhivska trajnost digitalnega arheološkega dokumentarnega gradiva kot podlaga za proučevanje, interpretacijo in promocijo.

Fotogrametrija je popostopek, ki omogoča pridobivanje zanesljivih informacij o tri razsežnostni strukturi objektov zgolj na podlagi analize in interpretacije fotografskih posnetkov. Glavne prednosti fotogrametrije so enostavnost izdelave 3D modela, natančnost, hitrost ter uporabnost tudi na težko dostopnih mestih, zaradi česar se pogosto uporablja v znanstvenih in strokovnih panogah, med drugim v kartografiji, medicini, forenziki ter arheologiji.

Storitev Mementify/PHOV temelji na samodejni večplastni analizi digitalnih fotografij, ki obsega identifikacijo diskriminativnih slikovnih značilnic na posameznih fotografijah, iskanje stabilnih ujemanj med značilnicami na različnih posnetkih, samodejno kalibracijo sistema fotografij, izdelavo gostega oblaka točk, ki najbolje opisuje vso informacijo, razpoložljivo v vhodnih slikah, ter izdelavo regularne teksturirane trikotniške mreže.

Prvi korak postopka je zajem množice fotografskih posnetkov. Način zajema je odvisen od večih dejavnikov, med katerimi so najpomembnejši naslednji:

1. geometrična struktura predmeta obravnave (velikost, oblika, odprtine, ...),
2. obarvanost oz. teksturiranost predmeta ter
3. nivo podrobnosti, ki ga s postopkom želimo pridobiti (nivo se lahko spreminja v odvisnosti od interesa uporabnika 3D modela)

V splošnem velja pravilo, da je potrebno zagotoviti dovolj velik delež prekrivanja (okvirno 75 odstotkov med sosednjimi slikami). Ob tem je potrebno upoštevati tehnične omejitve samodejnega fotogrametričnega postopka, ki ne deluje v primeru monotonih, prozornih ali reflektivnih površin.

Kot smo že omenili postopek v zajetih fotografijah identifikacija značilnic in poišče ujemanja med njimi. V primeru storitve Mementify/PHOV se uporabljajo značilnice SIFT (ang. Scale Invariant Feature Transform), ki ponujajo zelo visoko stopnjo odpornosti na prostorske transformacije, saj je tako postopek pridobivanja značilnic kot tudi sam opisnik posamezne značilnice izjemno stabilen. Na podlagi pridobljenih ujemanj, postopek oceni parametre kamer (pozicija, orientacija, goriščno razdaljo ter parametre popačenja) v metričnem 3D prostoru, kar se v naslednjem koraku uporabi kot ogrodje parametrizacije fotografskih posnetkov za izdelavo gostega oblaka točk.

Za omenjeni metrični prostor velja, da je natančen do merila, kar pomeni, da je za umeritev potrebna le ena absolutna mera. Za umestitev v realni prostor je potrebno zagotoviti še geografsko lokacijo ter orientacijo pridobljenega modela.

Računalniški vid je sicer veda, ki se ukvarja z analizo in interpretacijo slik. Cilj računalniškega vida je z vizualnimi informacijami reševati probleme, ki jih lahko človek z vidom. Proces, s katerim računalnik pridobi informacijo o globini, se imenuje 3D zaznavanje. Prvi sistemi, ki so to omogočali, so bili sistemi stereo kamer, kasneje pa so se pojavili tudi prvi laserski aktivni merilniki. Zaradi visokih cen se je razvoj usmeril bolj v programske rešitve (pridobitev globine iz ene ali večih 2D slik –fotogrametrija). V zadnjem času pa so se ponovno pojavili cenejši 3D merilniki. Metode zaznavanja lahko delimo na tri načine: glede na princip delovanja (triangulacija, odboj, interferometrija), glede na svetlobni vir (laser ali bela svetloba) in glede na oddajanje lastne svetlobe (aktivni ali pasivni). Preden se odločamo za nakup, moramo razmisliti o večih dejavnikih (cena, natančnost ...). Obstaja tudi veliko ovir pri zaznavanju z aktivnimi 3D merilniki, npr. svetleče površine ... Kljub temu obstaja ogromno aplikacij v dizajnu in medijih, industriji, medicini, kriminologiji in seveda pri zaščiti kulturne dediščine. Danes poznamo računalniške rešitve za pridobitev 3D modela iz serije fotografij (Mementify/PHOV, 123D Catch), še več rešitev pa za 3D modeliranje (AutoCAD, Maya, Blender, Meshlab). Programskega orodja, ki bi v celoti pokrivalo analizo in informiranje 3D modela, žal še ni.

### 5.2.5 Sebastijan Govorčin



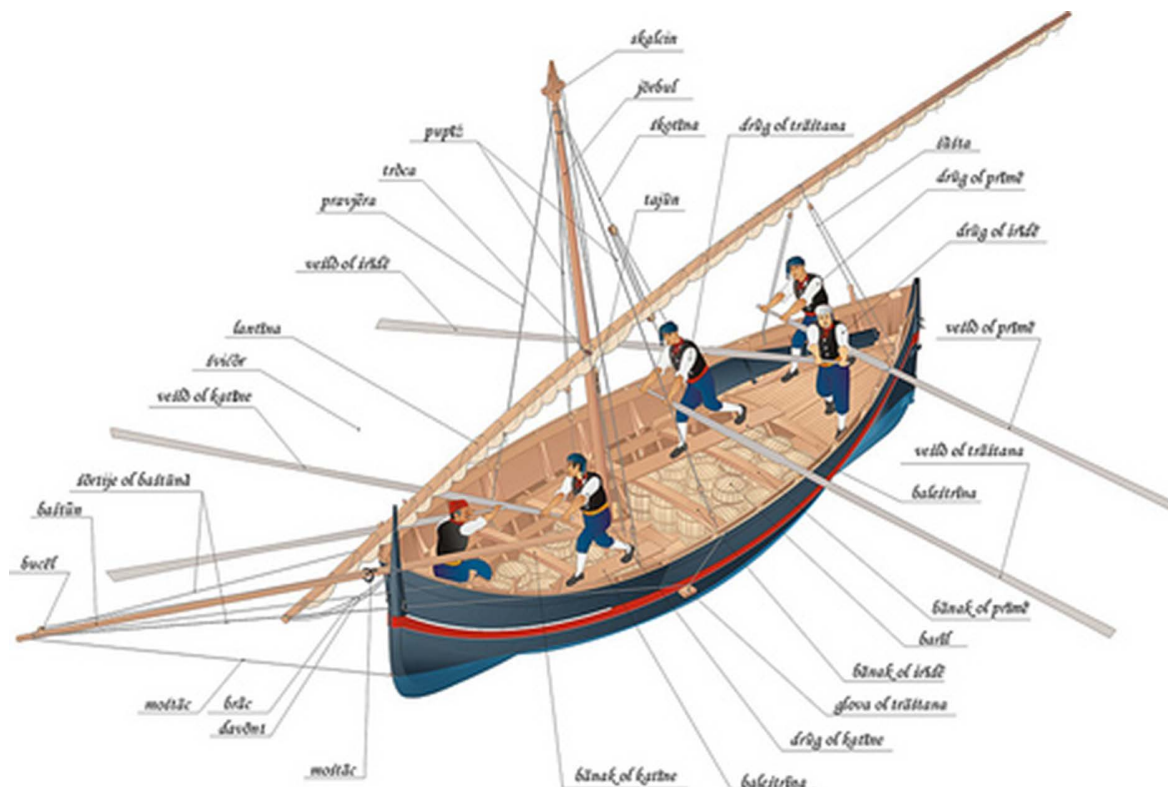
Slika 30: Sebastijan Govorčin (foto: Franc Solina)

**Terminologija v ladjedelništvu in delov ladijske konstrukcije.** Na području današnje Hrvatske, prvi nacrt broda pronađen u Grapčevoj špilji na otoku Hvaru star oko 4700 godina. U VII stoljeću prije Krista, dobre brodove zvane SERILIA LIBURNICA gradili su Liburni, koji su živjeli od područja rijeke Krke u Dalmaciji pa sve do Raše u Istri. Ostaci potonulog broda u blizini otoka Mljeta iz I st. Poslije Krista svjedoče o trgovačkom putovanju iz Grčke i Južne Italije. Ostaci tog broda govore o gradnji brodova, dužine oko 20 m i nosivosti oko 100 t. Prvi hrvatski brod potječe iz 11 stoljeća, sačuvan je u gradu Ninu blizu Zadra, a zove se CONDURA CROATICA i bio je izvanrednih plovnih sposobnosti (izdužen + 1 latinskog oblika jedro + kormilo)

Dolaskom Hrvata u VII stoljeću na obale Jadranskog mora plovidba i brodogradnja postaju profesionalnim zanimanjem. Nešto kasnije grade se brodovi sa 2 – 3 jarbola, koji su se s malim preinakama lako i brzo pretvarali u ratne brodove. Tek u XII stoljeću su brodovi dobili kormilo na krmi u svrhu lakšeg upravljanja. Već su tada postojale različite forme za različite namjene, ali se najdulje zadržala forma uskog, niskog i dugog broda na vesla, s dodatkom jedra,

preuzetog od Liburna, od IX sve do XVI stoljeća. Tek tada se forma broda mijenja i prelazi u široku, oblu i visoku, sa više jarbola i jedara, koju je zahtijevala oceanska plovidba.

U XV i XVI stoljeću veliki napredak u brodogradnji na ovim prostorima bilježi Dubrovačka republika gradnjom brodova trgovačke mornarice, za plovidbu na širem prostoru Mediterana te Dalekog istoka.



Slika 31: Načrt delov ladje in njihova imena (<http://www.alternatura.hr/hr/o-gajeti/>)



U XVI i XVII stoljeću, iz razloga ratova (Venecija, Turci) usporen je rast gospodarstva. Brodogradnja na ovim prostorima i dalje su bili glavni sadržaj života i rada. U tom periodu Hrvati su razvili kvalitetnu mornaricu ( Senjski uskoci i Neretvanski gusari ) i bili su najbolji borci na moru.

Poseban tip gajete, falkuša koji se gradio se u Komiži Galija je bila jedan od najzanimljivijih brodova u Srednjem vijeku na obalama Sredozemlja, pokretana je veslima i jedrima, a duljina joj je dosegala i do 50 m. Vesla su se kod takovih postavljala i do tri reda, a na svakom veslu je bilo i do 5 veslača. Od njezine prvobitne forme razvila se kasnije, u XIX stoljeću, forma manjeg broda, nazvana Gajeta i Leut.

Početakom XVIII stoljeća, na ovim prostorima nastupa mir, a Austrougarska monarhija potiče gospodarstvo, a u XIX stoljeću ponovo oživljava brodogradnja (Lošinj, Cres, Silba, Korčula, Pelješac, Dubrovnik, Boka Kotorska). Grade se veliki jedrenjaci, koji su dugo godina bili konkurencija željeznim parnim brodovima

### 5.2.6 Miran Erič



Slika 32: Krožno z leve proti desni in spodaj nazaj: Miran Erič, Smiljan Gluščević, Janez Udovič, Nataša Hribar, Sara Čorković, Sandi Gec, Lara Prusnik, Saša Koren, Črt Lorber, Matej Školc in Sebastijan Govorčin. (foto: Franc Solina)

#### Metode in tehnike podvodne dokumentacije.

**Na začetku: pred izkopavanji.** Dokumentiranje podvodne kulturne dediščine je izjemno zahtevno opravilo. Vodna okolja niso človekov naravni habitat, vsled česar je izumil orodja in naprave, da bi lahko proučeval tudi ta okolja. Desetletja raziskovanja v teh okoljih so z veliko žrtvami prispevala spoznanja o pomenu dediščine pod vodo in njenem varstvu.

Prva raziskovanja podvodne dediščine so se v Sloveniji začele že leta 1884, ko je kustos deželnega muzeja v Ljubljani Karel Dežman povabil dva profesionalna potapljača iz vojaške baze v Puli, da bi raziskala skrivnosti Ljubljanice. Že leta 1890 pa je Alfons Müllner dokumentiral 30 m dolgo rimsko tovorno ladjo, ki je plula med današnje Vrhniko in Ljubljano. Sodobna raziskovanja podvodne dediščine so se pričela že v zgodnjih 60' letih prejšnjega stoletja in se še posebej utrdila v zadnjih 20 letih. Možnosti korektnega dokumentiranja pod vodo so izjemno omejene in zahtevne, posegi pa zaradi dodatne tehnične opreme zelo dragi. Razvoj sodobne 3D

tehnologije in programskih orodij za obdelavo podatkov je za dokumentiranje in varstvo podvodne kulturne dediščine izjemnega pomena, saj v te procese vnaša pomembne koristi. To so, v primerjavi z analognimi zajemi podatkov, izjemno in neprimerljivo povečanje natančnosti podvodne dokumentacije, močno skrajša človekovo bivanje pod vodo in s tem povečuje varnost pri delu, posledično pa se cena potrebnega podvodnega terenskega dela močno zniža.

Potencial dobljenih podatkov je, mimo atraktivnega ogleda virtualnega 3D modela, širše uporaben. V nasprotju z 2D fotografijo, ki nespremenljivo določa smer in kot pogleda ter interpretirano 2D tlorisno dokumentacijo, omogoča 3D model simuliran virtualen pogled v dokumentirane površine ali predmete, ki jih je mogoče proučevati skoraj povsem tako kot insitu. Pomembnejše je, da so zaradi morfoloških značilnosti 3D oblakov prostorsko umeščenih točk, absolutni posnetek trenutnega stanja, povsem odprte možnosti nadaljnjih analiz 3D modela, ki jih ne bi mogli opraviti niti realno na originalnih površinah arheoloških najdišč. Sistematično in načrtno je mogoče proučevati, segmentirati ali klasificirati izbrane površine na 3D modelu. Z avtomatiziranim iskanjem in analiziranjem površin je mogoče na modelu poiskati značilne elemente, ki bi sicer bili zaradi omejenega časa v naravnem okolju spregledani. Pomembna pa je tudi verjetna arhivska trajnost digitalnega arheološkega dokumentarnega gradiva kot podlaga za proučevanje, interpretacijo, promocijo in trajnostno turistično rabo.

*Predavanje zaradi pomanjkanja časa ni bilo izvedeno, večji, vsebinski del predavanja pa je bil podan med terenskim delom in pogovori z udeleženci delavnice pred zadanimi nalogami.*

## 6 Evalvacija

### 6.1 Namen in pedagogi

Ideja o izobraževanju o spremembah pri dokumentiranju podvodne kulturne dediščine so se pojavile zaradi potreb po povečanju kvalitete podatkov in ponovljivosti pri rekonstrukciji najdiščnih okoliščin med raziskavami in po njih. Na podlagi dolgoletnega sodelovanja sodelavcev Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije in Fakultete za računalništvo in informatiko se je izoblikovala vsebina in preverile možnosti realizacije pri terenskem delu. Tako je v zadnjem desetletju po nekaj testnih raziskovanjih (Silba 2001 in 2002, Ljubljana v Bevkah 2004 in 2005, v Sinji Gorici 2008 in 2012, Sutivan na Braču 2010, 2011 in 2012, ter nekatera druga najdišča) ugotovila uporabnost 3D zajemov podatkov s pomočjo različnih metodologij. Pri pripravi delavnice je bilo zaradi izrazite interdisciplinarne narave delavnice odločeno, da bo delavnica prostor za sodelovanje študentov arheologije, računalništva, biologije in drugih naravoslovnih fakultet. Ideja pa vsekakor je, da bi sodelovali tisti bodoči raziskovalci, ki se pri svojem delu zaradi specifičnih znanj lahko zelo dopolnjujejo.

Izrazito so se pokazale najpomembnejše prednosti:

- izjemno natančni 3D modeli podvodne dediščine, ki prinašajo dokumentarno gradivo, kakršne doslej še ni bilo mogoče ustvariti,
- močno skrajšano - in zaradi tega neprimerno bolj varno - delo pod vodo,
- posledično je terensko delo zaradi krajšega časa zajemanja podatkov neprimerno ceneje kot doslej.

Pri realizaciji programa so pomembno prispevali univerzitetni učitelji:

Darja Grosman, univ. dipl. arheol., višja predavateljica za področje arheološke metodologije in daljinskih zaznav; Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani;

prof. dr. Franc Solina, univ. dipl. inž. rač., predava Metode komuniciranja, Koncepti za modeliranje vizualnih informacij, Znanstveno komuniciranje in Interaktivnost in oblikovanje informacij; Laboratorij za računalniški vid, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani;

Mag. Marko Perkovič, univ. dipl. inž. tehnol. prom., višji predavatelj za področja Diagnostika in vzdrževanje, Hladilni in pomožni stroji, Kogeneracija ladijskega postrojenja, Ladijska propulzija, Ladijski pomožni sistemi, Ladijski pomožni stroji, Nauk o ladji, Pomorski informacijski sistemi, Projektiranje plovil in plovnih poti, Sistemi integrirane propulzije, Tankerji, Usposabljanje na strojnih simulatorjih, Vodenje strojne straže, Vzdrževanje ladje; Katedra za ladijsko strojništvo, Fakulteta za pomorstvo in promet, Univerza v Ljubljani.

### 6.2 Terensko delo in predavanja

Pet dnevni program delavnice *Zajem in obdelava 3D podatkov v podvodni arheologiji* je potekal od ponedeljka 1. julija do petka 5. julija 2014. V posebno pomoč pri terenskemu delu je bila Morska biološka postaja Nacionalnega inštituta za biologijo, ki je delavnici brezplačno nudila vso tehnično potapljaško podporo.

Razdeljen je bil na dopoldansko terensko delo na najdišču *Tovorne ladje Grobišče Maon* (EŠD 800024), kjer se nahaja skupina štirih plovil *Maon*, za katere domačini pravijo, da so bile opuščene že pred II. svetovno vojno, kmalu po vojni pa so se ob hudem neurju potopile. Maone so potopljene tik ob obali v Fizinah pri skladiščih soli Monforte na vzhodni strani. Izbira najdišča je primerna zaradi varnosti pri izvedbi terenskih del, saj se razbitine nahajajo zgolj 50 m oddaljene od obale na globini do 6 m, ter nizke historične vrednosti plovil, ki v postopkih vrednotenja ne pomenijo prvorazredne dediščine. Tako med izvedbo pedagoškega dela tudi ne bi moglo priti do kakšne škode.

Drugi del delavnice je potekal v popoldanskem času v predavalnicah Fakultete za pomorstvo in promet Univerze v Ljubljani, kjer so se zvrstila predavanja o metodologijah arheološke metodologije, 3D zajemanju podatkov, posebnostih podvodnega terenskega dela in nekaterih izpeljanih projektih, obdelavi podatkov ter praktične delavnice 3D modeliranja in procesiranja podatkov.

**Terensko delo:** Za terensko delo na delavnici, torej potapljanje na arheološkem najdišču, niso bile zahtevane izkušnje na področju metodoloških postopkov pri podvodni arheologiji, temveč zaradi splošne varnosti, zgolj osnovni potapljaški tečaj za avtonomno potapljanje (npr. CMAS\*; PADI OWD in primerljive kategorije drugih potapljaških šol)

Med terenskim delom naj bi se udeleženci delavnice seznanili \*s pripravo potapljaške opreme in opreme za delo pod vodo, \* z varnostjo pri delu posameznika in skupine, \* posebnih tehnikah plavanja s katerim ne poškodujejo najdišča, \* tehnikami ročnih merenj, \* delu z rigidnimi mrežami s katerimi je pri ročnem dokumentiranju mogoče izdelati spodoben 2D načrt najdišča, \* pripravi in uporabi tablice za risanje in beleženje meritev, \* posebnostih pri opisovanju najdišča, \* s fotografskim dokumentiranjem celovitega najdišča in detailov, \* s tehnično opremo, ki je potrebna za ročno dokumentiranje in fotografsko dokumentiranje najdišča, \* s posebnimi tehnikami fotografskega zajemanja podatkov za 3D modeliranje, \* s fotografskim dokumentiranjem terenskih zapiskov ter \* postopkih po zaključenemu terenskemu dnevju.

Udeleženci delavnice so spoznali najdišče, kar je predpogoj za uspešno sodelovanje in načrtovanje del. Na jutranjih delovnih sestankih pa so bili seznaneni z delovnimi nalogami, ki naj bi jih opravili v tistem dnevju. Ker so bili na delavnici študentke in študentje z zelo različnimi izkušnjami (od tistih, ki so se na arheološkem najdišču potapljali prvič do tistih, ki imajo že večletne delovne izkušnje), so bili razdeljeni v mešane skupine po tri potapljače, sestavljene iz neizkušenih in izkušenih. Skupinam so bile dodeljene različne naloge, ki so jih morali opraviti med potopi, vsaka od skupin oz. posamezni udeleženci pa so v štirih delovnih dneh opravili vse načrtovane naloge.

**Predavanja, vaje in študijski pogovori v muzejih:** V popoldanskem času so potekala predavanja, vaje in obiski študijskih pogovorov, ki so bili organizirani v bližnjih muzejih in v Navtičnem simulatorju na Fakulteti za pomorstvo in promet.

Udeleženci naj bi se seznanili z \* obsegom podvodne dediščine v svetu in doma, \* s metodologijami podvodne arheologije, \* o daljinskem zaznavanju v arheologiji in različnih metodah zajemanja podatkov, \* o možnostih daljinskega zajemanja podatkov pod vodo, \* s fotogrametrijo in stereofotogrametrijo, \* z analizo dobljenih podatkov, \* z načrtovanjem ladijskega prometa in ogroženostjo dediščine v slovenskem teritorialnem morju oz Tržaškem zalivu, \* s fotografsko opremo za zajem slikovnega gradiva za 3D fotogrametrijo, \* s principi in tehnikami zajemanja podatkov in posebnostih, \* s pripravo slikovnega gradiva za 3D modeliranje, \* z principi in metodologijami zajemanja 3D podatkov, ki jih je mogoče, poleg fotogrametričnih postopkov zajemati tudi s pomočjo naprav za snemanje z belo svetlobo in napravami za snemanje z laserskimo svetlobo, \* z uporabo 3D snemalnika na belo svetlobo, ter \* s programskimi orodji za uporabo 3D podatkov.

V času delavnice je bilo izvedenih 13 predavanj ter trije seminarji, med katerimi so podrobneje spoznali namensko fotografsko snemanje za fotogrametrično modeliranje, zajemanje podatkov s snemalnikom na belo svetlobo, delu s programom za fotogrametrično 3D modeliranje ter uporabo programskih orodij za delo s 3D modeli. Udeleženci pa so ob obiskih Pomorskega muzeja Šerzej Mašera"v Piranu in Muzeja podvodnih dejavnosti v Piranu spoznali pionirko priobalne podvodne arheologije v Sloveniji arheologinjo Elico Boltin Tome, ki je zelo čustveno predstavila svoje začetke v 60' letih prejšnjega stoletja, direktorja muzeja Franca Jurija in arheologinjo Snježano Karinjo, ki sta predstavila delo pomorskega muzeja, kustosa Uroša Hribarja, ki je predstavil poseben oddelek za ladjedelništvo pomorskega muzeja, navdušil pa je najstarejši živeči mojster ladjedelec na slovenski obali gospod Davide Filipas. Kustosinja muzeja podvodnih dejavnosti Piran, Doris Delgiusto pa je predstavila zbirko najstarejše potapljaške opreme. Zelo posebno pa je bilo predavanje mag. Marka Perkoviča iz FPP in predstavitev Navtičnega simulatorja in nadzorno točko za slovensko teritorialno morje, ki ga upravlja FPP.

### 6.3 Ocena in sklep

Ena najpomembnejših pridobitev delavnice je zagotovo ta, da je bila setava udeležencev zelo heterogena in iz različnih študijskih programov, kar je pomembno prispevalo k interdisciplinarnemu sodelovanju na področjih raziskovanja podvodne kulturne dediščine. Delavnice so se namreč udeležili arheologi, računalničarji, filozofi, biologi in celo novinar. Širina različnih študijskih izkušenj zagotovo ustvarja nove poglede in možnosti za sistematično opazovanje podvodne kulturne dediščine.

Osvojeni, ali vsaj prikazani, so bili postopki ročnega dokumentiranja podvodne kulturne dediščine, kakršni so potekali pred tehnološko - računalniškim razvojem merilne opreme in programskih orodij, s primerjavo pa je bil osmišljen prehod na uporabo najnovejših strojnih in programskih orodij.

Delavnica je v nadaljevanju omogočila razumevanje daljinskega zaznavanja v morju, površinskega in podpovršinskega zaznavanja iz zraka, spoznali pa so tudi možnosti in učinkovitost daljinskega zaznavanja morskega dna. Seznanili so se o zgodovini razvoja in uporabnosti stereofotografskega snemanja in o razvoju sodobne 3D tehnologije in programskih orodij za dokumentiranje in fotogrametrično obdelavo podatkov podvodne kulturne dediščine.



Zagotovo se je udeležencev dotaknil tudi razlog za spremembe v metodoloških pristopih. To je zavest o potrebi po treh pomembnih prednostih pri raziskavi podvodne kulturne dediščine:

(1) visoka natančnost dokumentiranega, kar zagotavlja kvalitetnejšo podlago za interpretativne študije podvodne dediščine,

(2) izjemno povečana varnost pri raziskovanju podvodne dediščine zaradi skrajševanja časa potrebnega za dokumentiranje in

(3) implementacija kvalitativno povečanega razmerja med zniževanjem vrednosti podvodnega dela ob sočasnem povečevanju kvalitete rezultatov.

Udeleženci so pridobili večjo samostojnost pri izvajanju raziskovalnega dela na terenu ter ojačali zavest o nujnosti stalne refleksije lastne prakse, prilagajanja načrtovanja in izvedbe učnih procesov pri dokumentiranju podvodne dediščine ter stalnega strokovnega izpopolnjevanja in s tem profesionalne rasti.

Povečali so zanimanje za širše zastavljene multidisciplinarne raziskave kulturne dediščine, ki omogočajo induktivna in deduktivna sklepanja in razumevanja podvodne dediščinske problematike. Razvijali so evalvacijske dejavnosti, ozavestili sodelovanja v mednarodnih raziskavah podvodne kulturne dediščine ter promoviranje raziskovalnih rezultatov strokovni in širši laični javnosti.

Ideja in program delavnice, z raznolikostjo vsebin in multidisciplinarnostjo skupine - tako z vidika udeležencev kot tudi predavateljev, ob skupni ljubezni do potapljanja in dediščine – se je pričakovano uspešno zaključila in bo zagotovo imela multiplikativne učinke v nadaljnjem delu posameznikov ali skupine. Izražena pa je bila želja o nadaljevanju programa, kjer bi se podvodno dokumentiranje nadaljevalo tudi z dvigom plovila in nadaljevalo z dokumentiranjem, izmero, restavriranjem.

## 7 Zahvala

Avtorji bi se radi zahvalili Fakulteti za računalništvo in informatiko, ki je delavnico sprejela v svoj pedagoški program delovanja in jo tudi finančno podprla. Fakulteta za pomorstvo in promet je prispevala celotedensko namestitev v njihovih prostorih in s tem omogočila nemoteno delovanje delavnice.

Posebej pa bi se radi zahvalili vsem predavateljem in gostoljubnosti sodelavcev Pomorskega muzeja "Sergej Mašera" in Muzeja podvodnih dejavnosti iz Pirana.

## Literatura

- BASS, F. G. 1966 *Archaeology Under Water*. Praeger, New York.
- BAČIĆ, B., and ŠTIRN, J. 1963 *Antični brodolom v Savudriji*. – Arheološki muzej Istre in Center za podvodna raziskovanja SRS, 1963.
- BEJA, B. 2011 *Hrvaški apoksiomen*. [Online] Available from: [http://www.siol.net/scena/druzabna\\_kronika/2011/05/beja\\_antika\\_hrvaska.aspx](http://www.siol.net/scena/druzabna_kronika/2011/05/beja_antika_hrvaska.aspx) [Accessed 11<sup>th</sup> April 2014]
- BOLTIN TOME, E. 1975 *Pregled dosedanjih hidroarheoloških raziskav ob slovenski istrski obali*. – V: Pitanja istraživanja i zaštite hidroarheoloških spomenika u podmorju istočne obale Jadrana. Prvo medjurepubličko savjetovanje, 123-132.
- BRUNO, F., BIANCO, G., MUZZUPAPPA, M., BARONE, S., in RAZIONALE, A. 2011 Experimentation of structured light and stereo vision for underwater 3D reconstruction. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66/4, 508–518.
- ERIČ, M. 2012 Documenting a Roman vessel at Sinja Gorica. – V: L. BEKIĆ, (ur.). *Submerged Heritage Yearbook of the International Centre for Underwater Archaeology in Zadar* 2, 58-65.
- ERIČ, M., POGLAJEN, S., in GASPARI, A. 2012 *Registering cultural heritage in the territorial sea of the Republic of Slovenia and the perspectives on its management*. – V: GASPARI A. in ERIČ M. (ur.) *Submerged Past: archaeology of the aquatic environments and underwater cultural heritage exploring in Slovenia*. Didakta, Radovljica, 167–176.
- GASPARI, A. 2001 Divers of the royal and imperial navy in Vrhnika in 1884. – *Argo* 44/2, 48–52.
- GASPARI, A. in ERIČ, M. 2010 *Minimalni standardi podvodnih arheoloških raziskav: izhodišča in smernice*. – Ministrstvo za kulturo R Slovenije, Ljubljana.
- GLUŠČEVIĆ, S. 2009 The Roman shipwreck from the 1st century AD at Grebeni by the island of Silba (preliminary results). – *Adriatica maritima mediterranea* 6, 69–87.
- MIHAJLOVIĆ, I. 2012 Antique shipwreck with sarcophagi near Sutivan on the island of Brač. – *Histria Antiqua* 21, 649–655.
- POGLAJEN, S., in SLAVEC, P. 2012 *Underwater cultural heritage and palaeoenvironment from the Slovenian sea as revealed by hydrographic and geophysical data*. – V: GASPARI A. in ERIČ M. (ur.) *Submerged Past: archaeology of the aquatic environments and underwater cultural heritage exploring in Slovenia*. Didakta, Radovljica, 81–90.
- REMONDINO, F. 2011 Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3d scanning. – *Remote Sensing* 3/6, 1104–1138.
- RIBNIKAR, S. 1927 *Znamenitosti slovenske zemlje: Cerknjsko jezero in njega okolica*. – Ilustrirani Slovenec III, 34, 281. Tedenska priloga Slovenca z dne 21. avgusta 1927, številka 187.
- ROMAN, C., INGLIS, G. in RUTTER, J. 2010 Application of structured light imaging for high resolution mapping of underwater archaeological sites. – V: *OCEANS 2010 Proceedings of IEEE-Sydney*, IEEE, 1–9.
- SANSONI, G., TREBESCHI, M. in DOCCHIO, F. 2009 State-of-the-art and applications of 3D imaging sensors in industry, cultural heritage, medicine, and criminal investigation. – *Sensors* 9/1, 568– 601.
- SITE Recorder 4, data management software. 2013 [Online] Available from: [www.3hconsulting.com](http://www.3hconsulting.com), [Accessed 10<sup>th</sup> June 2014].
- TROCKMORTON, P. 1962 Oldest known shipwreck yields bronze age cargo. – *National Geographic* 121/5, 696–671.
- TROCKMORTON, P. 1977 *Diving for Treasure*. Thames and Hudson, London.
- VRŠALOVIĆ, D. 1979 *Arheološka istraživanja u podmorju istočnog Jadrana: prilog poznavanju trgovačkih plovnih putova i privrednih prilika na Jadranu u antici*. – PhD thesis, University of Zagreb.

WANG, Z, LI, D. in SHAN, Y. 2005 Image distortion analysis for underwater laser scanning system. – V: *OCEANS, 2005. Proceedings of MTS/IEEE, IEEE, 2200–2203.*