

INOVATIVNI 3D PREGLED OBALNIH ZIDOVA

PRIPREMIO:
Josip Rukavina

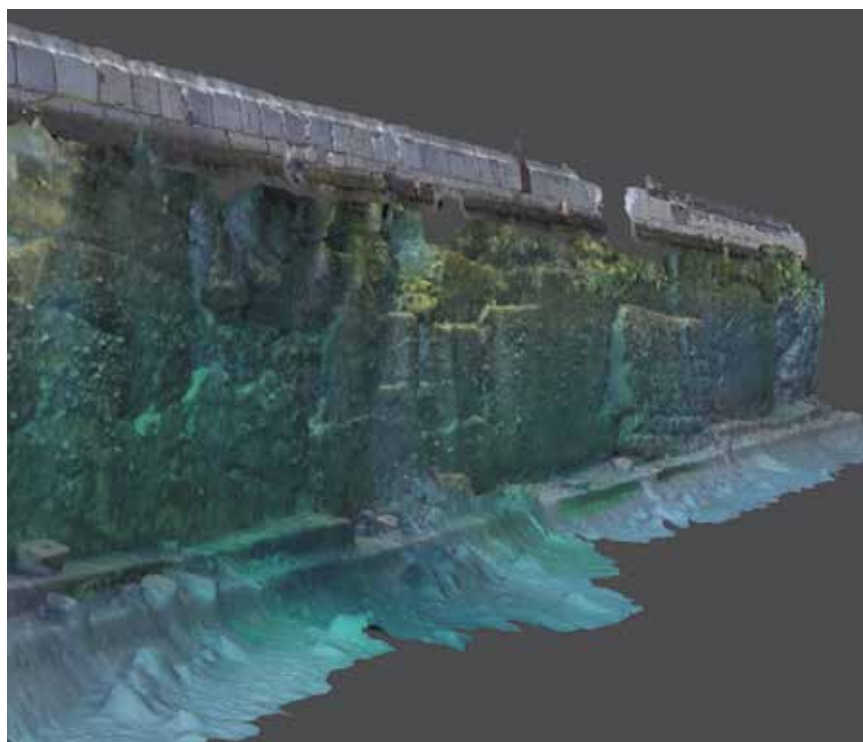
Nove tehnologije za pregled podvodnih konstrukcija

Hrvatski tim inženjera okupljen u Internacionalnom centru za monitoring podvodnih konstrukcija (engl. International Center for Underwater Construction Monitoring – ICUCM) razvio je jednostavnu metodu prikupljanja i obrade podataka koja se pokazala višestruko primjenjivom za pregled obalnih zidova

Uvodne napomene

Pregled građevina vrlo je složen i skup posao, a njegova cijena eksponencijalno raste ako se on obavlja ispod vodene površine. Ronioci, boce, kamere, kompresori, brodice, brodovi i dizalice uobičajeni su alati za pregled podmorske infrastrukture. Inženjeri koji se bave pregledom podvodnih građevina osuđeni su na bezbrojne sate ronjenja ili loše inspekcije najčešće tehnički nedovoljno pismenih ronioca. Odluka

o tome da se inženjeri sami smrzavaju u dubokoj vodi i brinu o vlastitome životu tijekom zarona, dok pokušavaju zapisati stvarno stanje građevine ispod linije vode, ili da posao povjere licenciranome ronioncu izgleda vrlo jednostavno iz perspektive ureda u kojemu je donesena. Neovisno o načinu prikupljanja tih podataka, trenutak kada u toplini vlastitoga ureda shvate da im nedostaje taj jedan podatak koji čini razliku u projektiranju frustrirajući je jednako koliko i poražavajući.



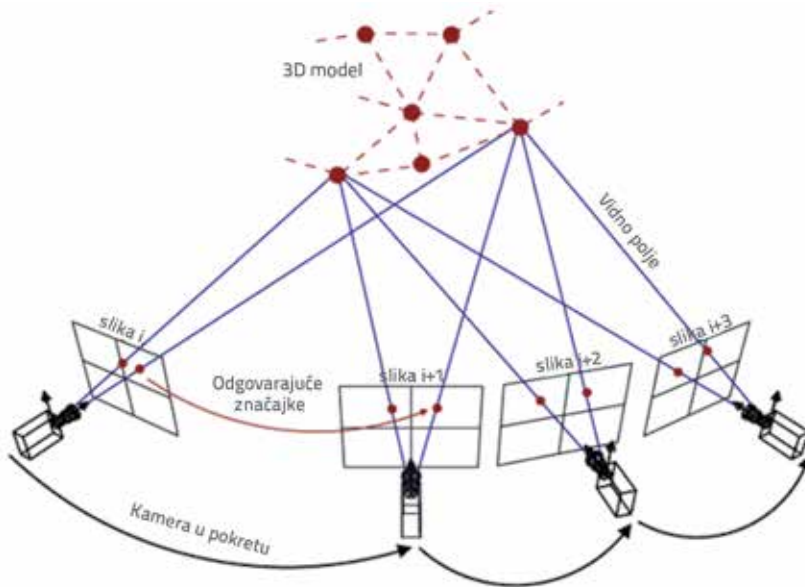
Trodimenzionalni model Adamićeva gata u Rijeci, snimljeno 2020. (izvor: Vectrino d.o.o.)

Najčešće nema vremena ni novca za ponovne zarone, investitori pritišću s rokovima, a projektanti najčešće moraju donijeti odluke koje više ovise o njihovoj dobroj praksi i iskustvu, a manje o provjerenim podacima ispod vodene površine. Zbog toga inženjeri već godinama traže način kako jeftino prikupiti sve podatke u mutnim vodama sjevernog Jadrana ili beskrajno čistome plavetnilu Dalmacije. Tijekom promišljanja o mogućim rješenjima inženjeri opterećuju uvijek iste nedoumice: može li jedan tehničar prikupiti "jeftin, vrlo pouzdan, velik set podataka" (engl. *big data*) i može li na temelju tih podataka donijeti pravovaljane odluke.

Pritom se nameće pitanje zašto uopće spominjati tehničara kada živimo u svijetu autonomnih ronilica ili plovila, strojnoga učenja i umjetne inteligencije. Iako su navedeni termini mnogima dobro poznati, još uvijek nije došlo vrijeme za širu primjenu takvih naprednih tehnologija.

Fotogrametrija

S druge strane nastupilo je vrijeme fotogrametrije i daljinskih istraživanja, novih vještina, razvitka znanosti i tehnologije zahvaljujući kojima je moguće dobiti pouzdane kvantitativne informacije o fizičkim objektima na Zemlji i u okolišu, i to procesom zabilježbe, mjerenja, analiziranja i interpretacije fotografskih snimaka i scena elektromagnetskoga zračenja dobivenih senzorskim sustavima. Fotogrametrija je stara koliko i moderna fotografija, a datira još od sredine 19. stoljeća. Ona se primjenjuje u različitim poslovima: u topografskome kartiranju, arhitekturi, inženjerstvu, konzerviranju, restauriranju, policiji, geodeziji, ekologiji, medicini, rudarstvu, građevinarstvu i sličnome.



Fotogrametrijski princip SfM modela (izvor: Theia-sfm.org)

Tehnologija Structure From Motion

Napredna, nešto sofisticiranija tehnologija nazvana je *Structure From Motion* (SfM). Budući da u Hrvatskoj još ne postoji prikladan prijevod toga termina, u nastavku teksta koristit će se skraćeni naziv SfM tehnologija. Ona omogućava procjenjivanje 3D koordinata (x, y, z) različitih objekta. Ti su podaci prikupljeni sa snimki dobivenih iz dvaju ili više položaja. Princip primjene SfM tehnologije vrlo je jednostavan. Unese se niz fotografija, odredi objekt koji se želi snimiti, fotografije se usklade tako da prepoznaju željeni objekt, rekonstruira se trodimenzionalni model iz fotografije, a nakon toga obavlja se kalibracija. Taj jednostavan princip građevinari, geodeti ili drugi inženjeri primjenjuju već godinama, najčešće koristeći bespilotne letjelice (dronove). Iako su se tim tehnologijama počeli baviti mlađe kolegice i kolege, može se slobodno reći



SfM model (izvor: Theia-sfm.org)

to da su u Republici Hrvatskoj danas rijetki projektantski uredi koji se nisu susreli sa SfM-om.

Teorijski gledano, isti principi SfM tehnologije iz zraka trebali bi vrijediti i u morskim dubinama, a u skladu s time bi i pregled obalnih zidova trebao biti automatiziran, jeftin i pouzdan. Kada bi se to pokušalo opisati primjerom iz

prakse, to bi značilo da se operativna obala duga 600 metara i uronjena 15 metara ispod vodene površine može opisati samo jednom fotografijom koja mora sadržavati sve detalje potrebne za održavanje ili projektiranje.

Tehnologija prikupljanja i obrade podataka

Hrvatski tim inženjera okupljen u Internacionalnom centru za monitoring podvodnih konstrukcija (engl. *International Center for Underwater Construction Monitoring- ICUCM*) razvio je jednostavnu metodu prikupljanja i obrade podataka koja se pokazala višestruko primjenjivom za pregled obalnih zidova. Neovisno o tome prikupljaju li se podaci s obale ili iz brodice, važno je

svim fotografijama pridružiti prostornu informaciju o tome gdje je pojedina fotografija nastala. Svakako treba napomenuti to da ni klasični tzv. GPS ni GPS-RTK uređaji ne funkcioniraju pod vodenom površinom. Zato je za potrebe fotogrametrije neophodno postavljanje lokalnog LBL sustava (engl. LBL – *long baseline acoustic positioning*).



Fotogrametrija zida Adamićeva gata u Rijeci dužine 50 metara i dubine sedam metara (izvor: Vectrino d.o.o.)

Takav se sustav ponaša kao GPS sustav i translata točnu poziciju ispod vodene površine, neovisno o dubini na kojoj se nalazi kamera. Točnost LBL sustava iskazuje se na centimetarskoj razini.



LBL sustav instaliran na ispitnoj brodići (izvor: ICUCM)

Preporučljivo je to da svaka fotografija ima prikladan format, tzv. *pitch/roll/yaw* zapis, kako bi računalo poslije u obradi što jednostavnije odredilo orijentaciju fotografije, čime se skraćuje vrijeme izrade trodimenzionalnoga modela. Iskustvo je pokazalo to da je uporaba inspeksijske, daljinski upravljane ronilice (engl. *Remotely Operated Vehicle – ROV*) idealno rješenje za prikupljanje podataka o obalnim zidovi-



Fotogrametrijski ROV opremljen s četiri visokorazlučive kamere i 360° sonarom (izvor: Vectrino d.o.o.)

ma. Ti mali uređaji vrlo su manevarbilni te ih je moguće automatizirati kako bi provodili inspekcije po zadanim vertikalnim i horizontalnim transektima. Prilikom prikupljanja podataka ispod vodene površine osim opreme važno je razumijevati rad kamere (ravne leče vodootpornih kućišta smanjuju kut snimanja), širenje svjetlosti pod morskom površinom i ponajprije ispravan tijek rada. Dobro optimiziran način rada na operativnoj obali duljine 600 metara i dubine 15 metara znači da je prikupljeno više od 160.000 fotografija. Iako se taj broj na prvu čini vrlo velik, sistematiziranjem i pravilnim preklapom susjednih fotografija moguće je znatno skratiti vrijeme računalne obrade.

Rezultati računalnoga modeliranja

Rezultati računalnoga modeliranja mogu se podijeliti u tri skupine:

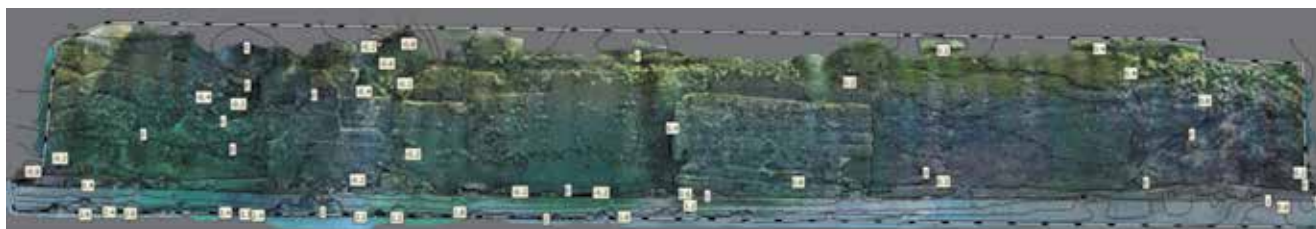
- prostorno mjerljiv 3D oblak točkica
- kontinuirana fotografija

- vertikalni digitalni elevacijski model oštećenja – DEM.

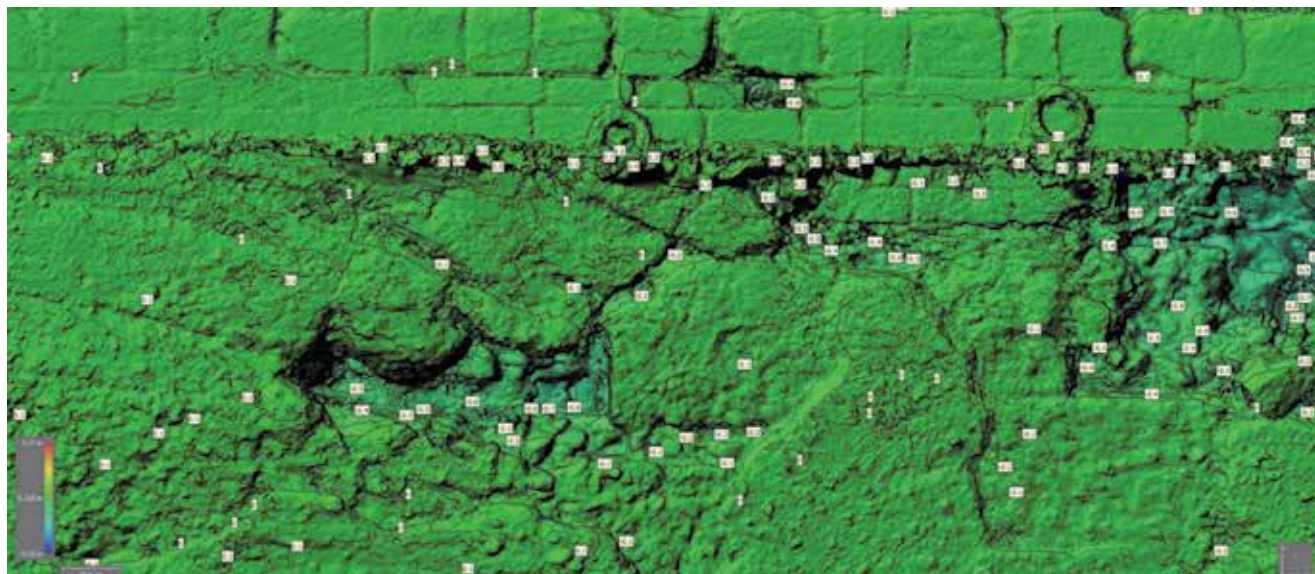
Svaki od rezultata primjenjiv je u određenim situacijama, no najdojmljivija je kontinuirana fotografija jer ona zapravo u cijelosti eliminira vodeni stupac u ukupnoj duljini zida. Na toj fotografiji zadržana su svojstva ortogonalnosti i omjeri pa ona dočarava stvarno stanje stvari ispod vodene površine.

S druge strane vertikalni DEM jednostavno približava sve pukotine, dilatacije, oštećenja i volumene. Na temelju toga modela moguće je pratiti oštećenja kroz proteklo vrijeme i savršen je alat za implementaciju programske podrške (tzv. *asset management*). S obzirom na to da su takvi modeli kalibrirani, moguće je i vremensko preklapanje i statističko previđanje toga što bi se s obalom moglo dogoditi u bliskoj ili dalekoj budućnosti.

Inženjeru se na slobodnu volju ostavlja to koje će rezultate koristiti prilikom projektiranja ili koji će način interpre-



Kontinuirana fotografija (izvor: Vectrino d.o.o.)



Detalj obalnoga zida s konturama dubine oštećenja (izvor: Vectrino d.o.o.)

tacije rezultata odabrati za potrebe projektiranja ili održavanja, no ostaje činjenica da konačno postoji jeftin, brzo primjenjiv i mjerljiv način prijenosa informacija iz podmorja na projektantska računala. Uspjeh je to veći što su u razradi tih alata sudjelovali isti hrvatski inženjeri koji u Internacionalnom centru

za monitoring podvodnih konstrukcija ICUCM razvijaju prvi dokument za koordiniranje stanja pod vodenom površinom pod naslovom *Condition of underwater constructions – Inspection coding system*, za koji se vjeruje da će u budućnosti postati standard podvodnih inspekcija u plitkim vodama.

Izvori:

- <http://gofile.me/4GzMx/qepyi71V9>
- http://theia-sfm.org/_images/incremental_sfm.png
- http://theia-sfm.org/_images/global_sfm.png
- <http://gofile.me/4GzMx/2893amCyo>
- <http://gofile.me/4GzMx/JaiRRv4k8>
- <http://gofile.me/4GzMx/7YiOZPYnb>
- <http://gofile.me/4GzMx/E4ymK9Gek>