

Mogućnosti primjene seizmičkih metoda u plićem podmorju

Padovan, Božo; Librić, Lovorka

Source / Izvornik: **7. simpozij doktorskog studija građevinarstva 2021. : zbornik radova, 2021, 193 - 202**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.5592/CO/PhDSym.2021.02>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:154955>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



Mogućnosti primjene seizmičkih metoda u plićem podmorju

Božo Padovan¹, doc.dr.sc. **Lovorka Librić²**

¹ Terra Compacta d.o.o., bpadovan@terra-compacta.hr

² Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, lovorka.libric@grad.unizg.hr

Sažetak

U sklopu geotehničkih istražnih radova za potrebe projektiranja nove ribarske luke u uvali Lamjana na otoku Ugljanu izvedena su i geofizička istraživanja. Nova ribarska luka Vela Lamjana bit će jedna od najvećih na Jadranu te, uz ostalih sedam koje se grade, najveći sustav ribarske infrastrukture na Mediteranu. Za potrebe izgradnje novih dokova te produblivanja uvale, primijenjena su geofizička istraživanja metodom seizmičke refrakcije pod morem, u kombinaciji s ručnim sondažnim bušenjem. Osnovni cilj istraživanja je bio definirati debljinu marinskih sedimenata i dubinu do osnovne stijene. Specifičnost izvođenja geofizičkih mjerenja je bila u potrebi da se profili postave djelomice na kopnu, a djelomice pod morem. Iz tog razloga mjerenja su izvođena kombiniranjem geofonskih i hidrofonskih rasporeda te korištenjem seizmičkih izvora za kopno i more.

Ključne riječi: seizmička refrakcija, geofizička istraživanja pod morem, debljina marinskih sedimenata

Possibilities of applying seismic methods in the shallower submarine

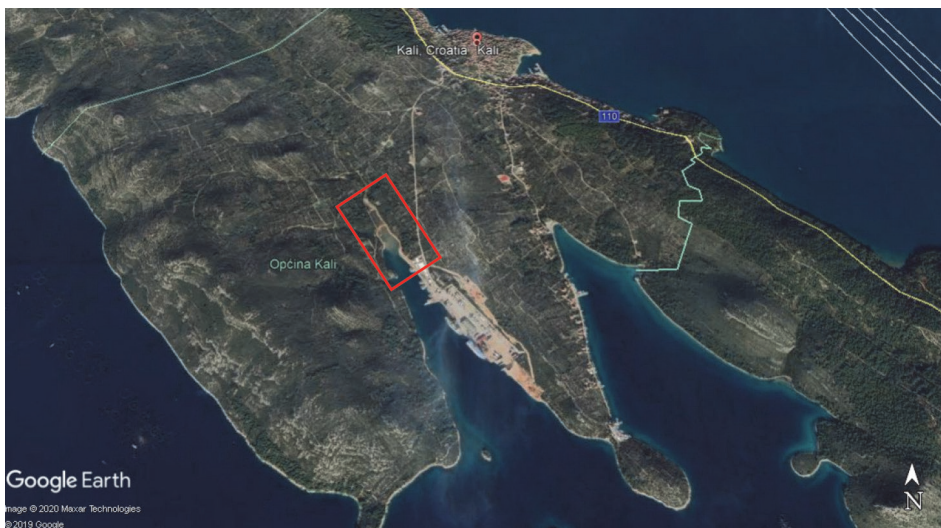
Abstract

As part of geotechnical research works for the needs of designing a new fishing port in the bay of Lamjana on the island of Ugljan, geophysical research was performed. The new fishing port of Vela Lamjana will be one of the largest in the Adriatic and, along with the other seven under construction, the largest fishing infrastructure system in the Mediterranean. For the purpose of building new docks and deepening the bay, geophysical surveys were applied by the method of seismic refraction under the sea, in combination with manual drilling. The main goal of the research was to define the thickness of marine sediments and the depth to the base rock. The specificity of performing geophysical measurements was the need to place the profiles partly on land and partly under the sea. For this reason, measurements were performed by combining geophonic and hydrophone layouts and using seismic sources for land and sea.

Key words: seismic refraction, geophysical research under the sea, thickness of marine sediments

1 Uvod

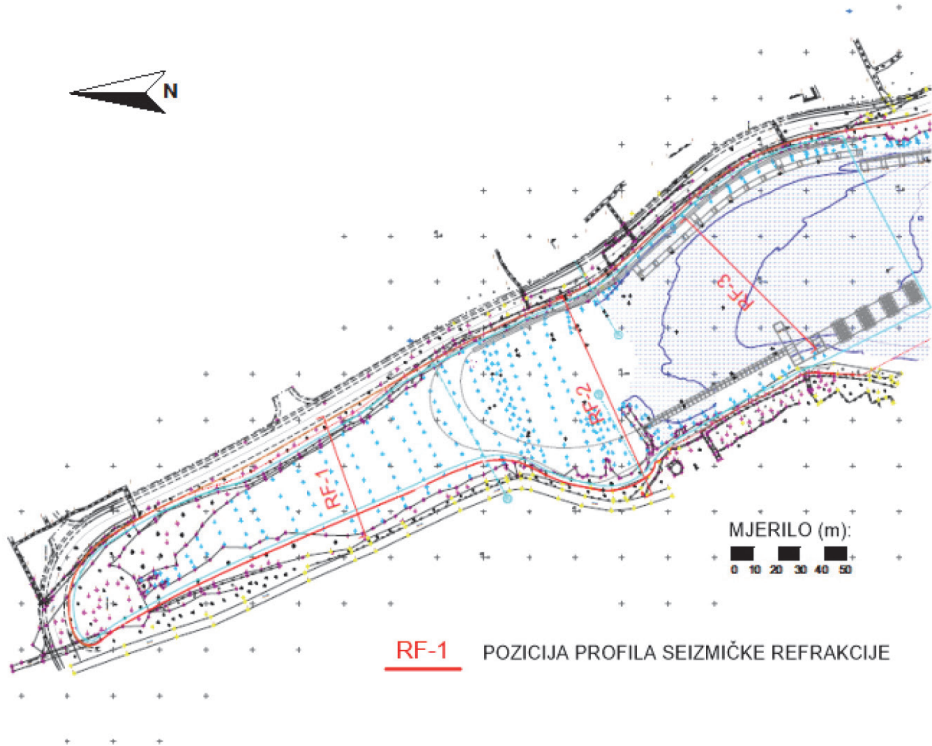
Primjenom geofizičkih metoda u sklopu geotehničkih istražnih radova upotpunjuje se njihova prostorna pouzdanost. Korelacijom geotehničkih istražnih bušotina kao 1D podataka i "in situ" mjerenjima u njima s rezultatima geofizičkih metoda koji su predstavljeni 2D i 3D prikazima dobiva se detaljan model podzemlja u istraživanom području [1]. U sklopu geotehničkih istraživanja za potrebe nove ribarske luke u uvali Lamjana na otoku Ugljanu (slika 1) izvedena su geofizička istraživanja i ručno sondiranje terena metalnom šipkom umjesto istražnog bušenja. Cilj istraživanja je bio što pouzdanije odrediti debljinu marinskih sedimenata i dubinu do karbonatne podloge. U ovom radu prikazani su rezultati geofizičkih istraživanja metodom seizmičke refrakcije pod morem i njihova korelacija s rezultatima sondiranja terena [2]. Geofizički profili postavljeni su poprečno na uvalu, približno paralelno jedni drugima (slika 3). Prvi profil je postavljen u najplićem dijelu uvale, a treći u najdubljem. Profili RF-1 i RF-2 su dijelom postavljeni i na obali dok je profil RF-3 cijeli snimljen po dnu mora. Profili su duljine 60 m (RF-1), 95 m (RF-2) i 90 m (RF-3) te su snimani na 12 aktivnih kanala, s pet metara razmaka među njima. Terenska mjerenja su izvođena uz upotrebu pomoćne brodice i uz asistenciju ronioca (slika 2). Klasifikacija tla učinjena je sukladno dobivenim brzinama P-valova, prema teoretskim [3] i iskustvenim vrijednostima, uz korelaciju s determinacijom ručnog sondiranja po profilima. Specifičnost ovog istraživanja je primjena geofizičkih metoda pod morem, i to zbog posebnih uvjeta samih terenskih mjerenja te načina obrade i interpretacije rezultata. Saturiranost sedimenata morem utječe na vrijednosti brzina širenja P-valova, što može dovesti do pogrešne klasifikacije vrste i stanja stijenske mase, pa stoga pouzdanosti konačnih rezultata pridonosi korelacija s istražnim bušenjem ili ručnim sondiranjem.



Slika 1. Lokacija istraživanja u Velj Lamjani



Slika 2. Izvođenje terenskih mjerenja



Slika 3. Položaj geofizičkih profila RF-1 do RF-3

2 Metoda seizmičke refrakcije

Na lokaciji istraživanja primijenjena je metoda seizmičke refrakcije P-valova po dnu mora. Metoda se temelji na očitanju prvih nailazaka dolaska elastičnih valova na geofone ili hidrofone postavljene duž profila na površini terena, odnosno dnu mora [4]. Iz poznatog geometrijskog rasporeda postavljenih prijemnika, točaka iniciranja vala i vremena nailazaka, metodama inverznog modeliranja izračunava se 2D model promjene brzine širenja P-valova u istraživanom podzemlju. Općenito, refrakcijska metoda temelji se na refrakciji elastičnog vala na granici dviju sredina čije brzine zadovoljavaju uvjet $V_1 < V_2$ (V_1 -brzina u gornjoj sredini, V_2 -brzina u donjoj sredini), pa je kao takva idealna za geološki model uvale Vela Lamjana u kojem se očekuje deblji pojas marinskih sedimenata manjih brzina (do nekoliko metara) te karbonatna stijena većih brzina ispod. Primjena novih metoda obrade podataka putem inverznog modeliranja omogućila je svladavanje ograničenja o prirastu brzina s dubinom te omogućila detektiranje zona inverzije brzina [5]. Za potrebe snimanja profila položenih i na kopnu i po dnu mora korišteni su geofoni rezonantne frekvencije 10 Hz, a profil po dnu mora je snimljen uporabom hidrofona iste rezonantne frekvencije. Kao izvor elastičnih valova primijenjena je puška na lovački metak s piezoelektričnim triggerom kao izvor u moru, a čekić mase 8 kg i čelična ploča kao izvor na kopnu.

3 Obrada seizmičkih podataka

Obrada rezultata seizmičkih refrakcijskih mjerenja učinjena je WET-tomografijom [6], u programu Rayfract 3.33, pri čemu je za ulazni model korištena Delta-t-v-metoda [7]. Za prikaz rezultata korištena je Kriging-metoda interpolacije. Rezultati obrade prikazani su u obliku interpretiranih dubinskih seizmičkih presjeka. Na interpretiranim 2-D profilima prikazana je promjena brzine P-vala po dubini. Klasifikacija stjenovite mase prema brzinama P-valova učinjena je sukladno očekivanim vrijednostima za vrstu i stanje stijene, činjenici da su sedimenti i stijena saturirani morskom vodom te korelacijom s podacima ručnog bušenja. S obzirom na to da su dva profila (RF-1 i RF-2) dijelom i na kopnu, kod klasifikacije je i to uzeto u obzir.

4 Analiza i interpretacija rezultata

Na slikama 5 do 7 prikazani su interpretirani 2D modeli promjene brzine širenja P-valova. Na refrakcijskim profilima naznačene su granice između četiri pojasa sukladno klasifikaciji prema brzinama iz tablice 1, a koja je izvedena korelacijom s rezultatima ručnog sondiranja. Podzemlje je klasificirano u četiri osnovne zone: pojas građen od marinskih nevezanih sedimenata, pretežito mulja (seizmičke brzine manje od 2000 m/s), prijelazna zona građena od marinskih nevezanih sedimenata

te mogućih odlomaka karbonatne stijene (seizmičke brzine između 2000 m/s i 2500 m/s), razlomljena karbonatna stijena unutar koje se lokalno može očekivati jača raspucanost (seizmičke brzine između 2500 m/s i 2800 m/s) i osnovna karbonatna stijena (seizmičke brzine veće od 2800 m/s). Razlomljenost stijene opada s povećanjem seizmičke brzine.

Na sva tri profila ucrtane su i pozicije izvedenih ručnih sondi te dubina njihovog maksimalnog prodiranja (slike 5 do 7). Dubina prodiranja sondi i brzina P-valova na toj dubini može se korelirati. Na sondama koje su bile na profilima, ili u njihovoj blizini, može se ustanoviti da se maksimalno prodiranje grupira oko brzine 2500 m/s što odgovara pojavi vrlo razlomljene stijene. Ručnim sondiranjem se može dosegnuti pojava stijene ako utiskivanje sonde nije prekinuto pojavom odlomka karbonatne stijene – samca ili neke druge prepreke.

Tablica 1. Klasifikacija tla i stjenovite mase prema brzinama P-valova

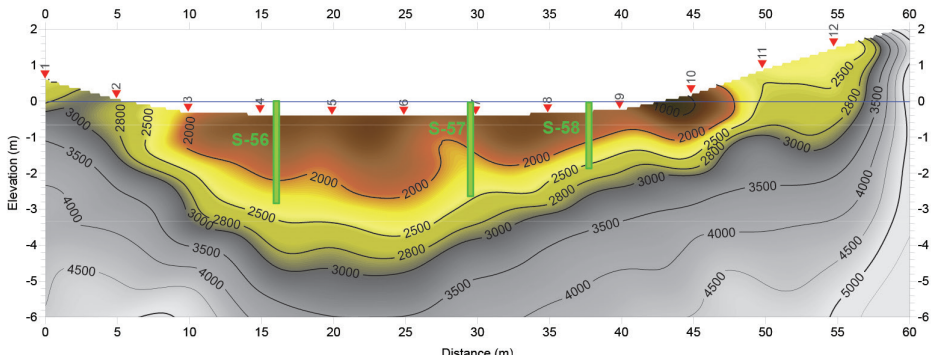
Brzina širenja P-valova [m/s]	VRSTA STIJENE
< 2000	Marinski nevezani sediment, glina, nasuti materijal
2000 - 2500	Izmjena marinskih nevezanih sedimenata i odlomaka karbonatne stijene
2500 - 2800	Razlomljena karbonatna stijena
> 2800	Osnovna karbonatna stijena



Slika 4. Legenda uz interpretirane seizmičke profile

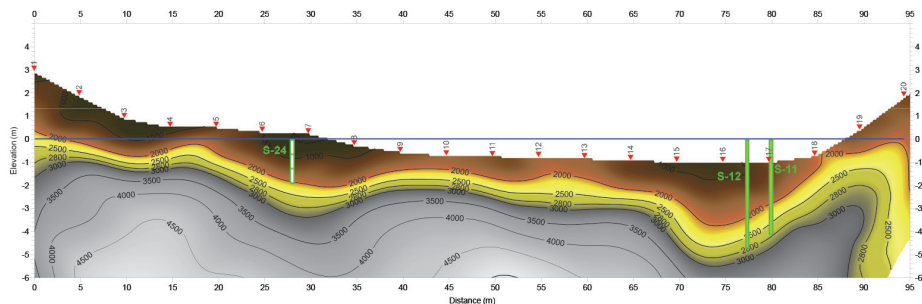
Seizmički profil RF-1 (slika 5) duljine je 60 m. Trasa profila je položena tako da je od petog do 43. metra profil pod morem, dok je početak i kraj profila na kopnu. Pojava pojasa građenog od marinskih nevezanih sedimenata (brzina seizmičkih valova manja od 2000 m/s) može se pratiti od sedmog do 46. metra profila. Maksimalna debljina mu je oko 2.3 m, između 20. i 25. metra profila. Ispod njega je pojas u kojem se pojavljuju marinski nevezani sedimenti s mogućnošću pojave odlomaka karbonatne stijene - samaca (seizmičke brzine između 2000 m/s i 2500 m/s). Debljine je do približno jedan metar. Dublje se pojavljuje karbonatna stijena. Brzine iznad 2500

m/s karakteriziraju pojavu karbonatne stijene, pri čemu je ona u intervalu 2500 do 2800 m/s razlomljena te joj s povećanjem brzine raste kompaktnost. U kopnenom dijelu profila (prvih pet te zadnjih 15 metara) stijena se pojavljuje praktički pri površini što je evidentirano i geološkim kartiranjem na terenu. Usporedbom s rezultatima ručnog sondiranja (sonde S-56, S-57 i S-58) može se uočiti da maksimalna dubina prodiranja sonde korelira približno s brzinom od 2500 m/s ili nešto manje (sonda S-56 – 2350 m/s).



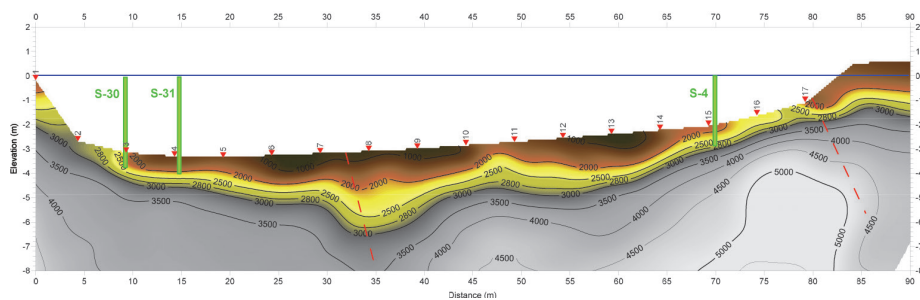
Slika 5. Interpretirani seizmički profil RF-1 s ucrtanim pozicijama i dubinama prodiranja ručnih sondi S-56, S-57 i S-58

Seizmički profil RF-2 (slika 6) duljine je 95 m. Prvih sedam te zadnja dva geofona položena su na kopnu (prvih 30 i zadnjih 7.5 metara profila), a središnji dio profila duljine 60 m je položen pod morem, na morskom dnu. Debljina pojasa građenog od marinskih nevezanih sedimenata (brzina seizmičkih valova manja od 2000 m/s), duž cijelog profila 0.5-2 m. Ispod njega je pojas u kojem se pojavljuju marinski nevezani sedimenti s mogućnošću pojave odlomaka karbonatne stijene - samaca (seizmičke brzine između 2000 m/s i 2500 m/s). Debljine je do približno pola metra. Dublje, s povećanjem brzine iznad 2500 m/s, pojavljuje se karbonatna stijena kojoj s povećanjem brzine raste kompaktnost. Na profilu su ucrtane pozicije tri ručne sonde, od kojih je pozicija sonde S-24 projekcija na profil jer je lateralno udaljena oko 10 metara.



Slika 6. Interpretirani seizmički profili RF-2 s ucrtanim pozicijama i dubinama prodiranja ručnih sondi S-24, S-12 i S-11

Seizmički profil RS-3 (slika 7) duljine je 90 m. Debljina pojasa građenog od marinskih nevezanih sedimenata (brzina seizmičkih valova manja od 2000 m/s) je do 1.2 metara. Ispod njega je pojas u kojem se pojavljuju marinski nevezani sedimenti s mogućnošću pojave odlomaka karbonatne stijene - samaca (seizmičke brzine između 2000 m/s i 2500 m/s). Debljine je približno pola metra, osim u dijelu profila između 30. i 40. metra gdje je oko jedan i po metar. Kao i na profilima RF-1 i RF-2, s porastom brzine iznad 2500 m/s dublje se pojavljuje karbonatna stijena. Na profilu su ucrtane pozicije tri ručne sonde S-30, S-31 i S-4.



Slika 7. Interpretirani seizmički profili RF-3 s ucrtanim pozicijama i dubinama prodiranja ručnih sondi S-30, S-31 i S-4

6 Zaključak

Primjenom geofizičke metode seizmičke refrakcije u sklopu geotehničkih istraživanja za potrebe izrade projektne dokumentacije proširenja obale u uvali Lamjana na otoku Ugljanu postignut je cilj pouzdanijeg i jasnijeg prostornog definiranja debljine marinskih sedimenata i dubine do osnovne stijene. Uzimajući u obzir distribuciju dobivenih brzina te rezultate prethodnog ručnog sondiranja metalnom šipkom, učinjena je klasifikacija tla prema seizmičkim brzinama. Ručnim sondiranjem je utvrđena dubina maksimalnog prodiranja metalne šipke na više pozicija unutar zaljeva, od kojih su one koje su izvedene na seizmičkim profilima iskorištene za kalibraciju brzina. Važno je napomenuti da maksimalna dubina prodiranja može korelirati s pojavom razlomljene karbonatne stijene, ali i lokalne pojave kao što su samci unutar marinskih sedimenata. Na taj način utvrđeno je da pojava osnovne karbonatne stijene korelira s povećanjem brzine P-valova iznad 2800 m/s. U intervalu brzina od 2500 do 2800 m/s očekuje se pojava razlomljene karbonatne stijene. Izmjena marinskih nevezanih sedimenata i odlomaka karbonatne stijene korelira s brzinama u intervalu 2000 do 2500 m/s, a marinski nevezani sedimenti s brzinom ispod 2000 m/s. Kako bi se mogla učiniti što pouzdanija geološka interpretacija dobivenih modela brzina širenja P-valova, važno je raspolagati podacima istražnog bušenja ili, kao u ovom radu, rezultata ručnog sondiranja. Također, s obzirom na to da na brzine širenja P-valova utječe saturiranost morem, a na brzine S-valova nema utjecaja, mogućnost primjene višekanalne analize površinskih valova, MASW-a (eng. Multichannel Analysis of Surface Waves) dodatno bi upotpunila izradu geološkog modela te dala procjenu dinamičkih modula. Pri tome je parametre snimanja seizmičkih podataka kao što su duljina snimke, vrijeme uzorkovanja, razmak među geofonima ili hidrofonima potrebno prethodno isplanirati kako bi se zadovoljila vremenska i prostorna rezolucija snimljenih podataka potrebnih za analizu površinskih, tzv. Scholte-ovih valova [8, 9].

Literatura

- [1] Witeley, B. (2002).: Integrating Geophysical and Geotechnical Technologies for Improved Site Assessment of Ports and Harbours, PIANC 2002, 30th INTERNATIONAL NAVIGATION CONGRESS S8D3 P127 SYDNEY-SEPTEMBER 2002
- [2] Padovan, B. (2020).: Izvješčaj o geofizičkim istraživanjima u uvali Lamjana
- [3] EAGE Publications bv (2014.): Application Manual of Geophysical Methods to Engineering Problems, EAGE Publications, PO Box 59, 3990 DB Houten, The Netherlands, p.p. 91
- [4] Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. (1990): Applied Geophysics, Cambridge University Press

- [5] Rohdenwald, S.R.C. (2006).: Rayfract Tutorial, Intelligent Resources
- [6] Schuster, G.T, Quintus-Bosz, A. (1993).: Wavepath eikonal traveltime inversion: Theory, Geophysics, Vol. 58., No.9
- [7] Gebrande, H.; Miller, H. Refraktionsseismik (in German) (1985). In Angewandte Geowissenschaften II; Ferdinand, E., Bender, F., Eds.; Enke: Stuttgart, Germany, 1985; pp. 226–260.
- [8] Park C.B., Miller R.D., Xia, J, Ivanov, J. (2005): Underwater MASW to evaluate stiffness of water-bottom sediments, The Leading Edge, July
- [9] Ivanov, J., Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., Hunter J.A., Good, R.L, Burns, R.A. (2000).: Joint analysis of surface-wave and refraction events from river-bottom sediments, SEG 2000 Expanded Abstracts