

**OpusGEO d.o.o.**  
10 000 Zagreb,  
Poljana Zdenka Mikine 4  
OIB: 09645373033

INVESTITOR:

**ŽUPANIJSKA LUČKA UPRAVA KRK**

51 500 Krk, Trg bana J. Jelačića 5

OIB: 89919564697

NAZIV GRADEVINE:

**REKONSTRUKCIJA LUKE KRK**

**UPORABNA CJELINA 2 – SEKUNDARNI LUKOBRAN**

VRSTA PROJEKTA:

GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI

RAZINA RAZRADE:

GLAVNI PROJEKT

MAPA:

**GEOTEHNIČKI ELABORAT ZA GLAVNI PROJEKT**

BROJ ELABORATA:

OG-23-04-IZ-01

IZRADA ELABORATA:

Nikola POPOVIĆ, dipl. ing. građ.

HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA  
**Nikola Popović**  
dipl. ing. građ.  
Ovlašteni inženjer građevinarstva

G 3919

*Popović N.*

DIREKTOR:

dr. sc. Bogdan STANIĆ, dipl. ing. građ.

MJESTO I DATUM:

Zagreb, travanj 2023.

*Stanić*  
 **OpusGEO**  
ZA GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA,  
PROJEKTIRANJE, GRAĐENJE I NADZOR  
ZAGREB

## SADRŽAJ IZVJEŠTAJA

Naslovnica	1-1
Sadržaj izvještaja	2-2
Popis suradnika	3-3
Popis licenciranih računalnih programa (software)	4-4
	STR.
1. UVOD	5-5
2. TEHNIČKI OPIS	6-8
3. GEOTEHNIČKA KATEGORIZACIJA	9-10
4. GEOLOŠKE ZNAČAJKE TERENA	11-14
5. PROJEKTNi SEIZMIČKI PARAMETRI	15-17
6. ISTRAŽNI RADOVI	18-24
7. ODABIR GEOTEHNIČKIH PARAMETARA	25-27
8. ZAKLJUCNO	28-28
GRAFIČKI DIO:	
	MJERILO
01 SITUACIJA	1:1 000
02 PROGNOZNI GEOTEHNIČKI UZDUŽNI PROFIL A-A	1:200
03 PROGNOZNI GEOTEHNIČKI UZDUŽNI PROFIL B-B	1:200
PRILOZI:	
	BR. STR.
I-01 IZVJEŠTAJ GEOFIZIČKIM ISPITIVANJIMA	12

## POPIS SURADNIKA

na izradi mape

GEOTEHNIČKI ELABORAT ZA POTREBE GLAVNOG PROJEKTA

u sklopu građevine

REKONSTRUKCIJA LUKE KRK  
UPORABNA CJELINA 2 - SEKUNDARNI LUKOBRAN

Izrada elaborata:

Nikola POPOVIĆ, dipl. ing. građ.

Darko ŠTEFANAC, dipl.ing.građ.

Viktor ŠIMANOVIĆ, bacc.ing. aedif.

*OpusGEO d.o.o.*

Geofizička ispitivanja:

*Razvoj i geotehnička istraživanja d.o.o.*

## POPIS LICENCIRANIH RAČUNALNIH PROGRAMA (SOFTWARE)

- *AutoCAD Civil 3D (Autodesk)*

The screenshot shows the 'Product License Information' dialog box for Autodesk AutoCAD Civil 3D 2015. The dialog is organized into two columns of text boxes with corresponding labels. At the bottom, there are four buttons: 'License Agreement', 'Activate...', 'Save As...', and 'Close'.

Field	Value
License name:	Autodesk AutoCAD Civil 3D 2015
Computer host name:	Opusgeo12
Serial number:	395-25434790
Product key:	237G1
License type:	Standalone - Locked
License usage type:	Commercial
License behavior:	Permanent
License expiration date:	None
License ID:	CIV3D_F_S
License Model:	Standard

## 1. UVOD

Temeljem Ugovora između Naručitelja: Županijska Lučka Uprava Krk, i Izrađivača: OpusGEO d.o.o. pristupilo se izradi ovog izvještaja.

Ovaj geotehnički elaborat izrađen je na temelju:

- Provedenih istražnih radova: geofizička ispitivanja na moru - dva geofizička profila - refrakcijska seizmika, duljine 2x115 m
- Reinterpretacija postojećih istražnih radova - za potrebe izrade elaborata za glavni projekt potrebna je reinterpretacija rezultata postojećih istražnih radova i uklapanje rezultata novih istražnih radova;

Za potrebe reinterpretacije postojećih istražnih radova korištena je sljedeća dokumentacija:

- Osnovna geološka karta republike Hrvatske M 1:100 000, list Crikvenica i pripadni tumač;
- Studija utjecaja na okoliš ciljanog sadržaja REKONSTRUKCIJA - DOGRADNJA LUKOBRANA U LUCI KRK, Rijekaprojekt d.o.o.;
- GEOTEHNIČKI ELABORAT za glavni projekt, RIBARSKA LUKA PRODUŽENJE POSTOJEĆEG LUKOBRANA U LUCI KRK, br. elab.: OG-IZ-15-11, OpusGEO d.o.o., Zagreb, rujan 2015.

Cilj ovog geotehničkog izvještaja je utvrđivanja sastava i uslojenosti (rasprostiranja slojeva izdvojenih materijala) temeljnog tla, te određivanja osnovnih geotehničkih karakteristika temeljnog tla za potrebe izgradnje sekundarnog lukobrana u luci Krk.

U elaboratu su prikazani inženjerskogeološki, geotehnički i seizmološki podaci potrebni za izradu glavnog projekta.

Uvažavajući rezultate svih provedenih istražnih radova i ustanovljenih geotehničkih uvjeta u tlu definirani su rasponi karakterističnih vrijednosti parametara čvrstoće materijala te su u konačnici dani geotehnički uvjeti temeljenja za potrebe izrade glavnog projekta.

Na širem području predmetne lokacije provedeno je istražno bušenje, laboratorijska ispitivanja i ispitivanja debljine pokrivača utiskivanjem šipke, a dokumentirana su u gore navedenom izvještaju (OpusGEO d.o.o., Zagreb, rujan 2015.)

Grafički prilozi, situacije i geotehnički prognozni profil, dani su prilogima 01-03 ovog dokumenta.

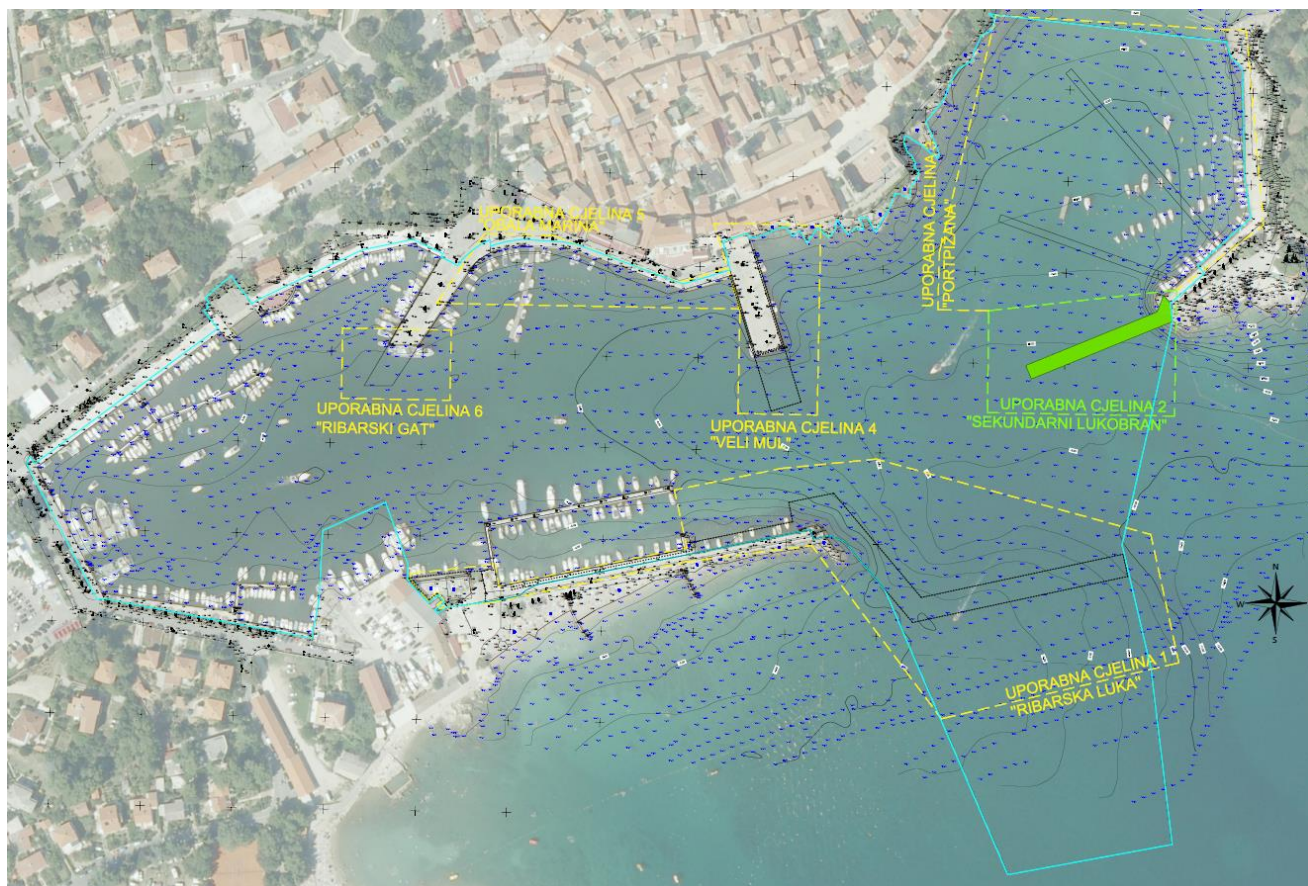
Rezultati provedenih geofizičkih istraživanja prikazani su u sklopu izvještaja I-01 u ovom dokumentu.

Ovaj geotehnički izvještaj je izrađen na podlogama dostavljenim od projektanta građevinskog dijela projekta, Rijekaprojekt d.o.o., Rijeka, Moše Albaharija 10a.

## 2. TEHNIČKI OPIS

### OPĆENITO

Luka Krk smještena je u samom središtu grada i na nju se naslanja zaštićena gradska povijesna cjelina opasana zidinama, a koja je glavna turistička destinacija ovog dijela otoka. Pored vrlo brojnih spomenika kulture, druga glavna turistička atrakcija je luka, koja je danas više turistička nego putnička ili teretna. Uz sjevernu obalu luke je široka pješačka šetnica koju prati i pojas parkovno uređenog zelenila s visokim stablašicama. Šetnica se proteže samo do zapadnog dijela luke, gdje se prekida benzinskom postajom i u nastavku servisnim brodogradilištem. Istočno od luke je uvala Portapižana u kojoj je uređena gradska plaža.

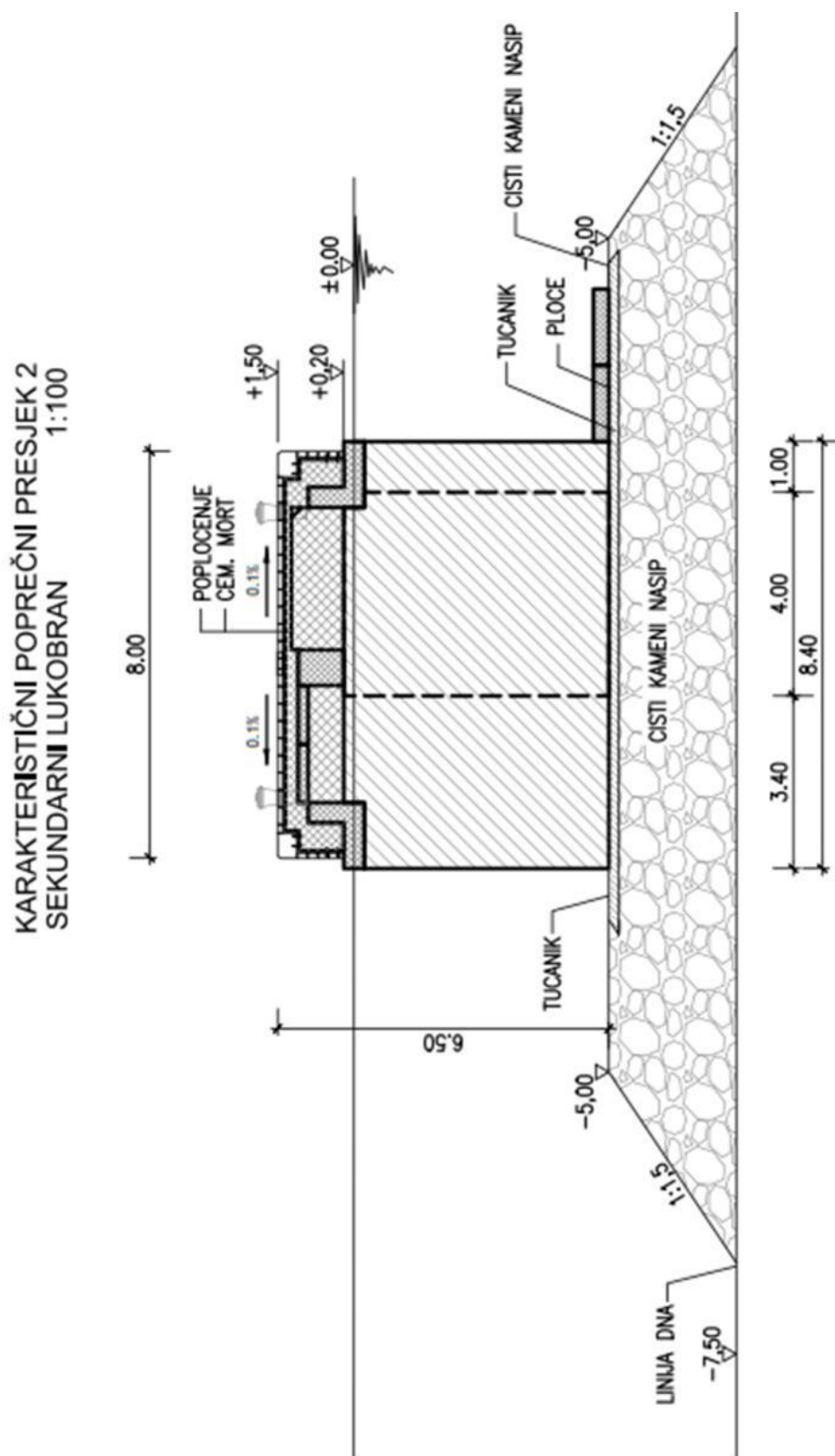


Slika 1. Položaj Luke Krk U Gradu Krku

### OPIS UPORABNE CJELINE 2 - "SEKUNDARNI LUKOBRAN"

Na ulazu u uvalu Portapižana nalazi se sekundarni lukobran. Konstrukcija lukobrana sastoji se od betonskog obalnog zida sa serklažom. Lukobran je dužine cca 83,00 m sa vanjske strane te cca 77,00 m sa unutarnje strane, širine 8,00 m, kota partera iznosi +1,50 m n.m. Lukobran je opremljen sa mornarskim stepenicama, bitvama, anelima, mornarskim ormarićima i rasvjetnim stupovima. Lukobran se oblaže sa kamenim poklopnicama te čeonim i parternim obložnicama. Kameno popločenje spada u opremu građevine i nije uvjet za dobivanje uporabne dozvole. Za potrebe temeljne infrastrukture radi se energetska kanal koji je opremljen sa rezervnim cjevima za provlačenje instalacija (dovod vode, hidrantska mreža, dovodstruje i ostalo). Za lukobran

definirana je projektna dubina od -5,00 m. Građevina se nalazi u akvatoriju u kojem dubina mora seže od -5,50 do -9,00 m. Projektom lukobran se temelji na općem kamenom nasipu. Kameni nasip se radi do kote -5,00 m n.m. sa bermama širine 4,00 m.



Slika 2. Karakteristični poprečni presjek “SEKUNDARNI LUKOBRAN”

### TEMELJNO TLO

Na temelju provedenih geotehničkih istražnih radova određeni su prognozni geotehnički profili i fizičko-mehaničke karakteristike temeljnog tla.

Temeljno tlo u pogledu geotehničkih cjelina možemo podijeliti na sljedeće:

- Kameni nasip (postojeći kameni nasip)
- Pokrivač - marinski nanos
- Stijena podloge - vapnenačka breča

Rasprostiranje slojeva prikazano je na geotehničkim profilima u sklopu grafičkog dijela projekta. Jedino na samom početku (korijenu) lukobrana - gdje je sada obala, nalazi se postojeći kameni nasip ispod kojeg je stijena podloge. Na preostalom dijelu lukobrana na morskom dnu je marinski nanos: krupni rahli pijesak, debljine 1-3m ispod kojeg je stijena podloge- vapnena breča.

Temeljenje obalnih zidova sekundarnog lukobrana biti će većinom na općem kamenom podmorskom nasipu, te eventualno na postojećem nasipu ili direktno na stijeni podloge.



### 3. GEOTEHNIČKA KATEGORIZACIJA

Geotehnička kategorizacija provedena je prema: HRN EN 1997-1:2012, Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 1. dio: Opća pravila.

Proračuni i kontrole građenja te složenost svakog geotehničkog projekta, zajedno s odgovarajućim rizicima, moraju se utvrditi za određivanje najmanjih zahtjeva na opseg i sadržaj geotehničkih istraživanja.

Posebno se moraju razlikovati:

- lagane i jednostavne konstrukcije te manje zemljane građevine za koje je moguće osigurati ispunjenje najmanjih zahtjeva s pomoću iskustva i kvalitativnih geotehničkih istraživanja uz zanemariv rizik.
- ostale geotehničke konstrukcije.

Za uspostavljanje geotehničkih proračunskih zahtjeva, smiju se uvesti tri geotehničke kategorije, 1, 2 i 3. Preliminarnu razredbu konstrukcije prema geotehničkoj kategoriji obično treba provesti prije geotehničkog istraživanja. U svakoj fazi projektiranja i procesa građenja treba kontrolirati kategoriju i prema potrebi je promijeniti.

**Geotehnička kategorija 1** uključuje samo male i relativno jednostavne konstrukcije za koje je moguće osigurati ispunjenje osnovnih zahtjeva iz iskustva i kvalitativnih geotehničkih istraživanja sa zanemarivim rizikom.

Postupke geotehničke kategorije 1 treba upotrebljavati samo ako postoji zanemariv rizik u pogledu sveukupne stabilnosti ili pomaka temeljnoga tla te za uvjete u temeljnome tlu za koje se iz usporedivog iskustva zna da su dovoljno jednostavni. U ovim je slučajevima dopušteno da se postupci sastoje od rutinskih metoda za projektiranje i građenje temelja.

Postupke geotehničke kategorije 1 treba upotrebljavati samo ako nema iskopa ispod razine podzemne vode ili ako usporedivo lokalno iskustvo ukazuje na to da će predviđeni iskop ispod razine podzemene vode biti jednostavan.

**Geotehnička kategorija 2** uključuje uobičajene tipove konstrukcija i temelja bez velikog rizika ili neuobičajenih ili izuzetno teških uvjeta u temeljnom tlu ili uvjeta opterećenja.

Projektiranje konstrukcija geotehničke kategorije 2 obično treba uključivati kvantitativne geotehničke podatke i proračune kako bi se osiguralo ispunjenje osnovnih zahtjeva.

Za projektiranje u geotehničkoj kategoriji 2 smiju se upotrebljavati rutinski postupci za terensko i laboratorijsko ispitivanje te za proračun i izvedbu.

Primjeri konstrukcija ili dijelova konstrukcija koji pripadaju geotehničkoj kategoriji 2 su sljedeći uobičajeni tipovi:

- plitkih temelja
- temeljnih ploča
- temelji na pilotima
- zidova ili drugih potpornih konstrukcija (za tlo i vodu)

- iskopa
- stupova i upornjaka mostova
- nasipa i zemljanih radova
- geotehničkih sidara i drugih sustava zatega
- tunela u tvrdim, nerazlomljenim stijenama bez posebnih zahtjeva vodonepropusnošću ili drugih zahtjeva.

**Geotehnička kategorija 3** treba uključivati konstrukcije ili dijelove konstrukcije koji su izvan granica geotehničkih kategorija 1 i 2.

Geotehnička kategorija 3 sadrži sljedeće primjere:

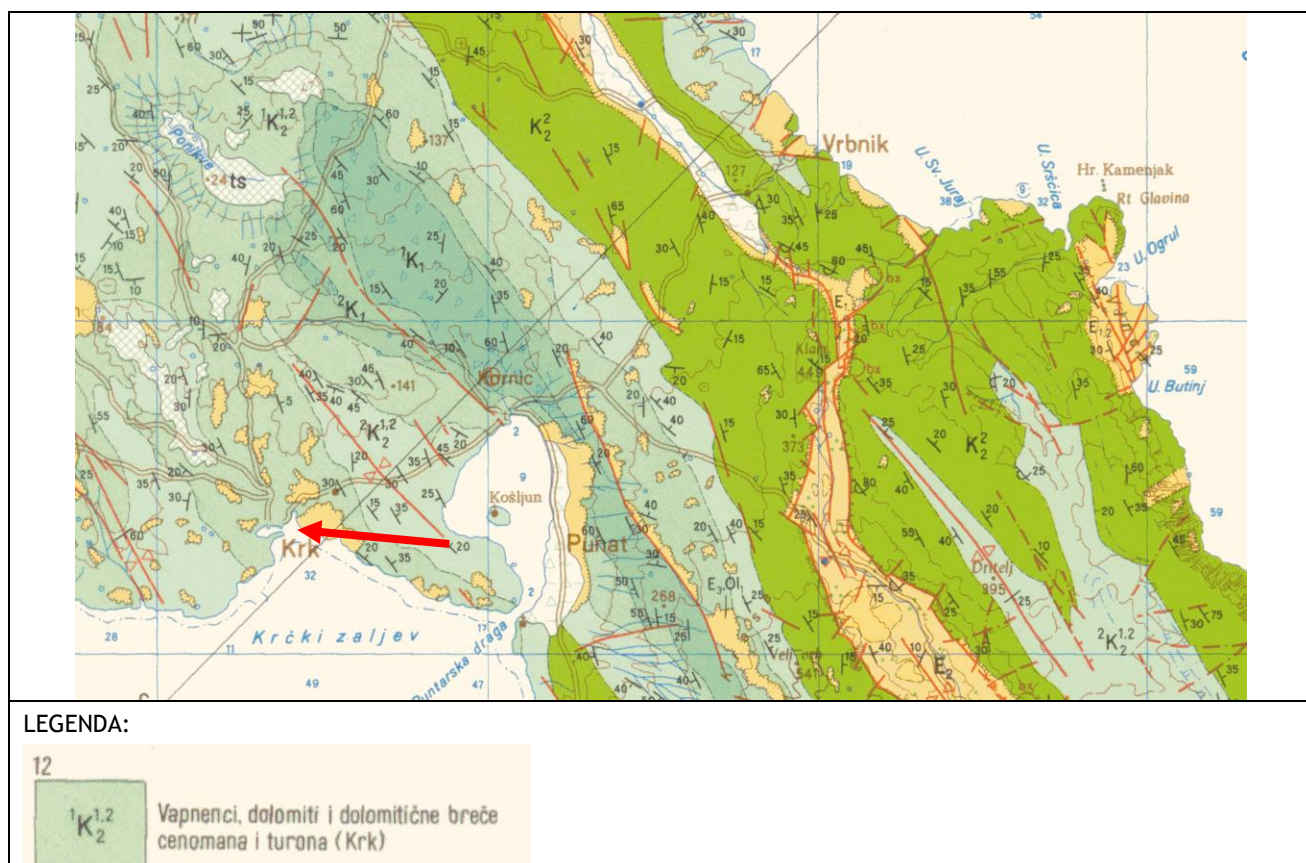
- vrlo velike i neuobičajane konstrukcije
- konstrukcije koje uključuju izvanredne rizike, ili neuobičajene ili izuzetno teške uvjete u temeljnome tlu ili opterećenja
- konstrukcije u područjima velike seizmičnosti
- konstrukcije u područjima s vjerojatnim nestabilnostima lokacije ili stalnim pomacima temeljnog tla koji zahtijevaju zasebna istraživanja ili posebne mjere.

Predmetna građevina svrstana je u **geotehničku kategoriju 2**.

## 4. GEOLOŠKE ZNAČAJKE TERENA

### Geologija šireg područja

Grad Krk nalazi se na zaravnjenom prostoru građeno od debelo uslojenih vapnenaca, dolomita i dolomitičnih breča s proslojcima vapnenaca gornje krede (cenoman). Slojevi su blago položeni u pravcu jugozapada pod kutem od  $15^\circ$  do  $25^\circ$ . Debljina krednih vapnenaca prelazi više stotina metara. Na širem području javljaju se "krpice" vapnenih breča koji leže transgresivno na starijim naslagama vapnenaca i dolomita gornje krede. Vapnene breče stratigrafski pripadaju klastičnim naslagama gornjeg eocena i donjeg oligocena. Debljina sedimenata breča prelazi više desetaka metara. U vapnenim brečama nije uočena slojevitost, veličine valutica variraju od 1 cm do 15cm. Vezivo im je limonitno-karbonatno i ponegdje glinovito. Vapnene breče gornjeg eocena i donjeg oligocena sapadaju u srednje čvrste stijene. One čine podlogu osnovnu stijena na području gdje su planirani novi građevinski zahvati lučke infrastrukture. Na mjestu ispitivanja marinski sedimenti pijeska i šljunka su po svom značenju zanemarivi.



Slika 3. Isječak iz Osnovne geološke karate (OGK) s pripadajućom legendom i označenom pozicijom predmetnog objekta

### Tektonika

Predmetna građevina prema Osnovnoj geološkoj karti (OGK - M 1:100 000), list Crikvenica i Tumaču za navedeni list projektirana je na području koje pripada litološko-tektonskoj jedinici Krk.

Tektonsko područje Krk zauzima središnji i zapadni dio otoka. Prema sjeveroistoku se kontinuirano nastavlja na borani sklop jedinice Omišalj - Vinodol. Plitki nabori ovoj tektonskoj jedinici daju izgled antiklinorija.

Teren je izgrađen od naslaga donje i gornje krede i eocena, na kojima transgresivno leže eocensko-oligocenske breče.

Kao izrazitije strukture ističu se antiklinale Njivice, Kornić i Vrh. Slabije su izražene sinklinale Sv. Vid, Košljun i Sv. Nikola. Česti su uzdužni rasjedi.

### Morfologija

Teren na predmetnoj lokaciji u blagom je padu prema jugozapadu.

### Inženjerskogeološke vrste stijena i naslaga

Na području sekundarnog lukobrana utvrđene su i izdvojene naslage pokrivača i stijena podloge.

#### **Pokrivač**

Nasip(n), je umjetna tvorevina nastala nasipavanjem, a sastoji se od većih kamenih blokova. Nalazi se na mjestu gdje je sada obala, odnosno u korijenu budućeg sekundarnog lukobrana. Debljina je promjenjiva, a prema ocjeni je 7-8m.

Poroznost je međuzrnska a vodopropusnost dobra;

Starost: Recentno

Marinski nanos (m) registriran je na cijelom područja budućeg lukobrana. Marinski sediment po sastavu je krupnozrnasti pijesak rahle konzistencije do šljunak, eventualno glina.

Debljina prema rezultatima istražnih radova iznosi od cca 1 do cca 3m.

Poroznost je međuzrnska, a vodopropusnost promjenjiva ovisno o zastupljenosti gline. Starost: Kvartar;Q

#### **Stijena podloge**

Vapnenačka breča (E2,OI) registrirana je istražnim bušenjem na obje bušotine. Na kopnu je osnovna stijena vidljiva na površini na uzvišenjima (uz obalni rub oko uvale Portopižana, odnosno u korijenu sekundarnog lukobrana, kao i južno od postojećeg lukobrana), uključivši i područje stare gradske jegre Krka. Osnovna stijena u podmorju je djelomično pokrivena marinskim sedimentima i nasipom.

To je vapnenačka breča s kalcitno-limonitnim i glineno-limonitnim vezivom, čvrsta i kompaktna, bijele boje, (E2,OI), RQD 80%.

Grad Krk nalazi se na zaravnjenom prostoru građenom od debelo uslojenih vapnenaca, dolomita i dolomitičnih breča s proslojcima vapnenaca gornje krede (cenoman). Slojevi su blago položeni u pravcu jugozapada pod kutem od 15 do 25. Debljina krednih vapnenaca prelazi više stotina metara. Na širem području javljaju se "krpice" vapnenih breča koji leže transgresivno na

starijim naslagama vapnenaca i dolomita gornje krede, te čine osnovnu stijenu na predmetnom području.

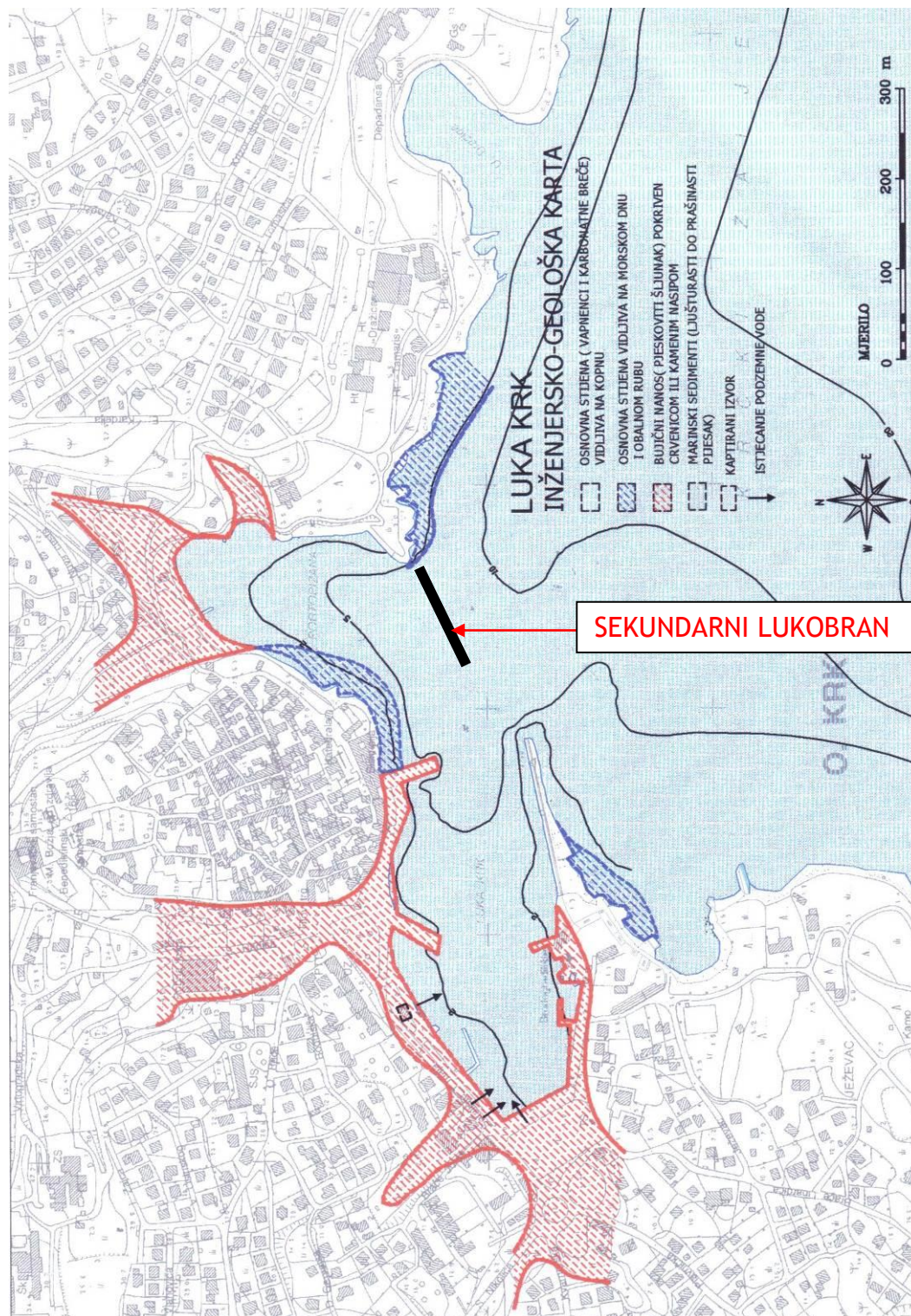
Vapnene breče stratigrafski pripadaju klastičnim naslagama gornjeg eocena i donjeg oligocena. To su dva litološka tipa breča. Prvi tip sastoji se od uglastih odlomaka podrijetlom vapnenačkog, rijede pješčenjačkog podrijetla i kalčitichnog do kalčitično-glinovitog veziva. Drugi tip čine također uglasti odlmci do blokovi vapnenačkog do dolomitnog podrijetla i kalčitično-dolomitično vezivo. Stijenska masa nema izraženu slojevitost. Mjestimično je jako raspucana do zdrobljena i jako okršena.

Debljina sedimenata breča prelazi više desetak metara.

Poroznost je pukotinska, a vodopropusnost dobra.

Starost: Gornji eocen - donji oligocen





Slika 4. Inženjersko-geološka karta iz Studije utjecaja na okoliš



## 5. PROJEKTNI SEIZMIČKI PARAMETRI

Kao projektni seizmički parametar definirana je vrijednost horizontalnog vršnog ubrzanja tla tipa A u jedinicama gravitacijskog ubrzanja ( $1\text{ g} = 9.81\text{ m/s}^2$ ).

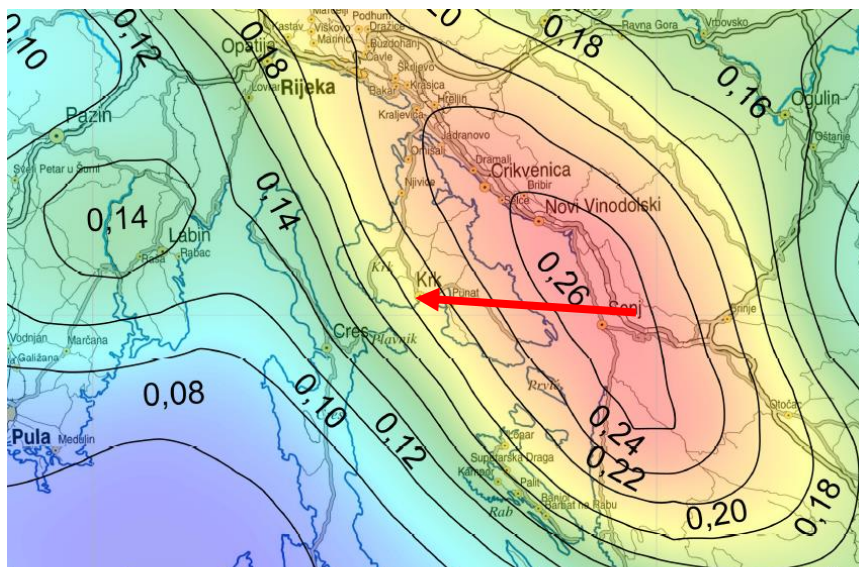
Vršna horizontalna akceleracija tipa tla A određena je za povratni period od 475 godina s vjerojatnosti premašaja 10% u 10, odnosno 50 godina.

Seizmološki podaci potrebni za određivanje projektnih seizmičkih parametara definiraju se na temelju sljedećeg dokumenata:

- karta potresnih područja republike Hrvatske - Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, autor: prof.dr.sc. Marijan Herak i suradnici, koja je sastavni dio norme HRN EN 1998-1:2011/NA:2011 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade - Nacionalni dodatak.



Slika 5. Prikaz lokacije na karti i maksimalnih horizontalnih akceleracija potresa za povratni period od 95 i 475 godina



Slika 6. Isječak iz karte potresnih područja - poredbeno vršno ubrzanje tla tipa A (povrtano razdoblje 475 godina)

Prema gore navedenom dokumentu predmetna prometnica prolazi područjem s vršnom horizontalnom akceleracijom za tip tla A (izraženo u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, g):

$a_{hmax} = 0,2 \text{ g}$  - povratno razdoblje 475 godina

$a_{hmax} = 0,1 \text{ g}$  - povratno razdoblje 95 godina

Prema

- HRN EN 1998-1:2011 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004+AC:2009) i

- HRN EN 1998-1:2011/NA:2011 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade - Nacionalni dodatak

temeljno tlo na području luke Krk, sekundarnog lukobrana pripada Razredu tla A.



Tablica 1. Tip temeljnog tla za proračun konstrukcija u potresnim uvjetima

Tip tla	Opis tla	Parametri		
		$V_{s,30}$ [m/s]	$N_{SPT}$ (udar./30cm)	$C_u$ [kPa]
<b>A</b>	<b>Stijena ili stijenski materijal, uključujući najviše 5m trošne zone od površine terena</b>	<b>&gt; 800</b>	-	-
<b>B</b>	Depozit vrlo zbijenog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline debljine najmanje nekoliko desetaka metara, karakteriziran povećanjem mehaničkih svojstava po dubini	360 – 800	> 50	> 250
<b>C</b>	Depoziti dobro zbijenog ili srednje zbijenog pijeska, šljunka ili krute gline, debljine sloja od nekoliko desetaka do nekoliko stotina	180 – 360	15 – 50	70 – 250
<b>D</b>	Nekoherentni depoziti, slabe do srednje zbijenosti (sa ili bez prisutnosti mehaničkih koherentnih slojeva), ili pretežno meko do kruto kohezivno tlo.	< 180	< 15	< 70
<b>E</b>	Profil tla čini aluvij sa vrijednostima " $V_s$ " brzina posmičnih valova od tipa tla C i D kojemu debljina sloja varira od 5 – 20m, ispod kojeg leži krući materijal sa minimalno brzinom posmičnih valova od $V_s > 800$ m/s.	–	–	–
$S_1$	Depozit koji se sastoji ili sadrži sloj gline ili praha, minimalne debljine 10m, sa visokim indeksom plastičnosti ( $PI > 40$ ) i visokim sadržajem vode	< 100	–	10 – 20
$S_2$	Depozit likvefabilnog tla, osjetljivih glina ili bilo koji drugi profil tla koji nije uključen u tipove A, B, C, D, E ili $S_1$			

## 6. ISTRAŽNI RADOVI

U sklopu istražnih radova provedeno je:

- geofizička ispitivanja metodom refrakcijske seizmike (u sklopu ovog elaborata, provela tvrtka Razvoj i geofizička istraživanja d.o.o.).

Na širem području sekundarnog lukobrana, a za potrebe produženja postojećeg lukobrana provedeni su sljedeći istražni radovi:

- istražno bušenje (Elaborat za produženje postojećeg lukobrana, br. elab.: OG-IZ-15-11, OpusGEO d.o.o., Zagreb, rujan 2015.);
- pregled morskog dna od strane ronioca s utiskivanjem šipke radi utvrđivanja debljine pokrivača (Elaborat za produženje postojećeg lukobrana, br. elab.: OG-IZ-15-11, OpusGEO d.o.o., Zagreb, rujan 2015.);

### 6.1. GEOFIZIČKI ISTRAŽNI RADOVI

U okviru geotehničkih istraživanja za potrebe izrade glavnog projekta rekonstrukcije luke Krk provedeni su geofizički istražni radovi na dijelu građevine Uporabna cjelina 2 - sekundarni lukobran. Geofizičkim metodama na istraživanom području dobiven je uvid u stanje naslaga na lokacijama budućeg objekta. U tu svrhu korištena je metoda plitke refrakcijske seizmike.

Terenske radove i obradu podataka izveli su djelatnici Razvoja i geotehničkih istraživanja d.o.o. u ožujku 2023. godine., a prema programu izrađenom od strane tvrtke OpusGEO.

Iz rezultata geofizičkih istraživanja, a na temelju izmjerenih brzina longitudinalnih valova, kao i njihovog prostornog rasporeda u podlozi, moguće je za potrebe izrade projekta odrediti i ocijeniti:

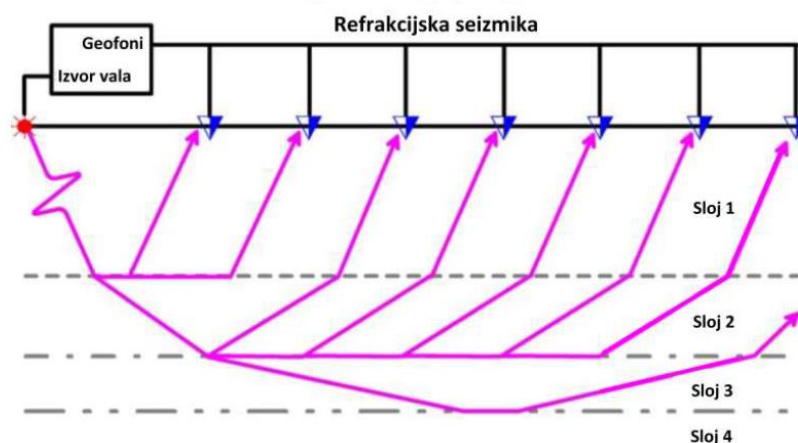
- vrstu tla ili stijena te debljinu pojedinog geološkog člana ispod površine terena
- lateralne kontakte u temeljnom tlu, kao posljedice izmjene vrste ili kvalitete litoloških članova u temeljnom tlu,
- položaje rasjednih i pukotinskih zona

U cilju utvrđivanja geološke građe terena na lokaciji istraživanja kontinuirano je praćen prostorni raspored brzina P-valova duž refrakcijskih profila. Težište istraživanja bilo je na utvrđivanju sastava tla, utvrđivanju njihovog prostornog rasporeda na zadanoj mikrolokaciji proširenja i dogradnje, lociranju zona znatnijih deformacija te elastičnih fizičko-mehaničkih karakteristika tla u podlozi. U tu svrhu korištena je geofizička metoda istraživanja i to plitka seizmička refrakcija po dnu mora.

#### *Generalno o metodi*

Refrakcijska seizmika zasniva se na određivanju brzina seizmičkih valova i lociranju značajnijih elastičnih diskontinuiteta, a primjenjuje se u svrhu kontinuiranog praćenja prostornog rasporeda i promjena u fizičkomehaničkim karakteristikama stjenovite mase i materijala u podlozi.

Refrakcijska metoda temelji se na refrakciji elastičnih valova na granici dviju sredina čije brzine zadovoljavaju uvjet porasta sa dubinom. Elastični valovi pobuđeni na površini počinju se širiti brzinom prve sredine. Za ovu metodu je najvažniji val koji na granicu sredina dolazi pod kritičnim kutom ili kutom totalne refrakcije. On se dalje širi duž granice brzinom donjeg medija i vraća na površinu (prema Hygensovom načelu), gdje pobuđuje postavljene geofone. Iz geometrije rasporeda geofona i točaka paljenja na površini terena, te registriranih vremena prvih nailazaka elastičnog vala formiraju se s-t dijagrami (s-udaljenost, tvrijeme), tzv. dromokrone. Primjenom direktnih metoda i metoda inverznog modeliranja iz dromokrona se određuju dubine i prostorni rasporedi elastičnih diskontinuiteta.



Slika 7. Postupak mjerenja metodom refrakcijske seizike

### *Uvjeti i ograničenja*

Za uspješnu primjenu direktnih i inverznih metoda interpretacije seizmičke refrakcije (plus-minus metoda, metoda valne fronte, CMP-metoda, GRM-metoda i sl.), pri određivanju granica različitih sredina po dubini treba postojati tzv. normalan slijed brzina, što znači da se materijali veće brzine elastičnih valova trebaju nalaziti ispod onih s manjom brzinom. U obrnutom slučaju ne može doći do totalne refrakcije valova duž plohe diskontinuiteta.

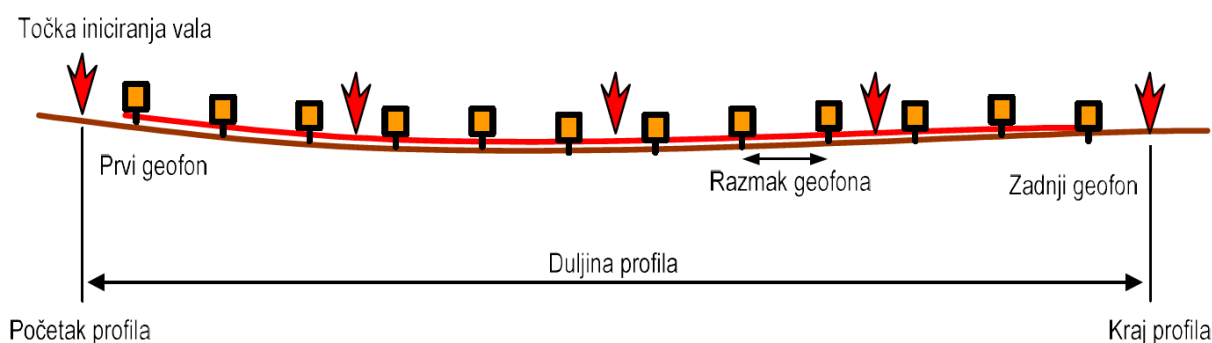
Inverzija brzina je sasvim normalna pojava, npr. u kršu kod pojave kaverni, zatim raspucanih vapnenaca ispod kompaktnih, fliških lapora ispod vapnenaca, kod različite zbijenosti i saturiranosti sedimentnih serija i sl., pa u takvim slučajevima metoda ne daje točne rezultate po dubini, no njezina primjena je ipak opravdana jer se dobro može izdvojiti debljina prve, redovito prisutne, trošne zone materijala najmanje brzine.

Uvođenjem metoda inverznog modeliranja u obradu rezultata seizmičkih istraživanja ova su ograničenja uklonjena i povećana je primjena refrakcijske seizmičke metode u rješavanju kompleksnih geoloških problema. Pri obradi rezultata refrakcijskih seizmičkih istraživanja koristi se inverzna Delta-t-V metoda (Gebrande, Miller, 1985). Delta-t-V metoda daje kontinuirani raspored brzina sa dubinom u seizmičkom profilu, a uključuje vertikalne gradijente brzina, linearni porast brzine sa dubinom i inverzne rasporede brzina.

Plići se dijelovi seizmičkih profila podvrgavaju kontroli WET (Wavepath Eikonal Traveltime; Schuster 1993; Watanabe 1999.), tomografskom obradom, čime se dodatno poboljšavaju rezultati dobiveni Delta-t-V metodom na manjim dubinama.

### *Obim terenskih radova, obrada i prikaz refrakcijskih rezultata*

Seizmička refrakcijska ispitivanja izvedena su na lokaciji sekundarnog lukobrana. Izmjerena su dva seizmička profil svaki pojedinačne duljine 115 metara po dnu moru. Položaj i duljina profila dan je programom istražnih radova. Snimljene su brzine valova s kontinuiranom pokrivenošću hidrofonskih mjesta ekvidistantnog razmaka svaka 5 metra. Snimanje je izvršeno digitalnim 24 kanalnim seizmografom ABEM Terraloc PRO2. Broj točaka paljenja bio je 11 duž profila, nakon svakog trećeg hidrofona i dva offset paljenja, a prilagođen je duljinama seizmičkih dispozitiva i rasporedu primjerenom Delta-t-V metoda i WET tomografiji.



Slika 8. Prikaz rasporeda točaka "paljenja" i hidrofona

Tri osnovna parametra pri mjerenju bila su:

- A. Udaljenost izvora i prvog hidrofona, offset: 2.5, 15 m
- B. Razmak hidrofona: 5 m
- C. Duljina dispozitiva, razmak između prvog i zadnjeg geofona u profilu: 115 m

### *Interpretacija refrakcijskih seizmičkih ispitivanja*

Rezultat refrakcijskih istraživanja predložen su u formi refrakcijskog presjeka. Za prikaz rezultata korišten je 2D presjek dobiven WET tomografijom. Na dubinskom presjeku refrakcijskog profila izolirane brzine longitudinalnih valova prikazane su u intervalu od 0 - 4000 m/s, s inkrementom 100 i 500 m/s. Prikazi su upotpunjeni litološkim opisom uz legendu na predmetnoj lokaciji. Intervali brzina svakih 500 m/s, naglašeni su zadebljanim izotahama, radi lakšeg praćenja izmjene stijena u podlozi. Jače izraženi seizmički diskontinuiteti vezani uz intenzivnije lateralne pomake u podlozi označeni su crtkanim linijama.

Dubinski seizmički presjeci prikazuju raspodjele brzina širenja P-valova duž profila. Na temelju njihovog prostornog rasporeda može se zaključivati o vrsti i kvaliteti materijala u plićem podzemlju te u temeljnom refraktoru.

Karakteristični dubinski presjek predstavlja kategorizaciju urađenu na osnovi poznavanja brzina prostiranja P valova, granica seizmičkih diskontinuiteta i litoloških podataka preuzetih iz determinacije nabušene jezgre u istraživačkim bušotinama. Njime se prognoziraju tri sredine različitih fizičko mehaničkih karakteristika:

Brzina širenja P vala (m/s)	Prognozna litološka determinacija
< 1000	Nanos, marinski sediment, krupni rahli pijesak i šljunak, debljina do 3 m
1000 - 3000	Gornja zona trošenja, karbonatne breče, raspucana i okršena stijenska masa
> 3000	Osnovna stijena, karbonatne breče, kompaktna, mjestimično slabije raspucana i okršena stijenska masa,

Provedena geofizička ispitivanja prikazana su u zasebnom izvješčaju pod naslovom *Izvješčaj o geofizičkim istraživanjima, Rekonstrukcija luke Krk, Uporabna cjelina 2 - sekundarni lukobran, Oznaka evidencije: 2/23, Popovača, ožujak 2023. (Razvoj i geotehnička istraživanja d.o.o., Voloder).*

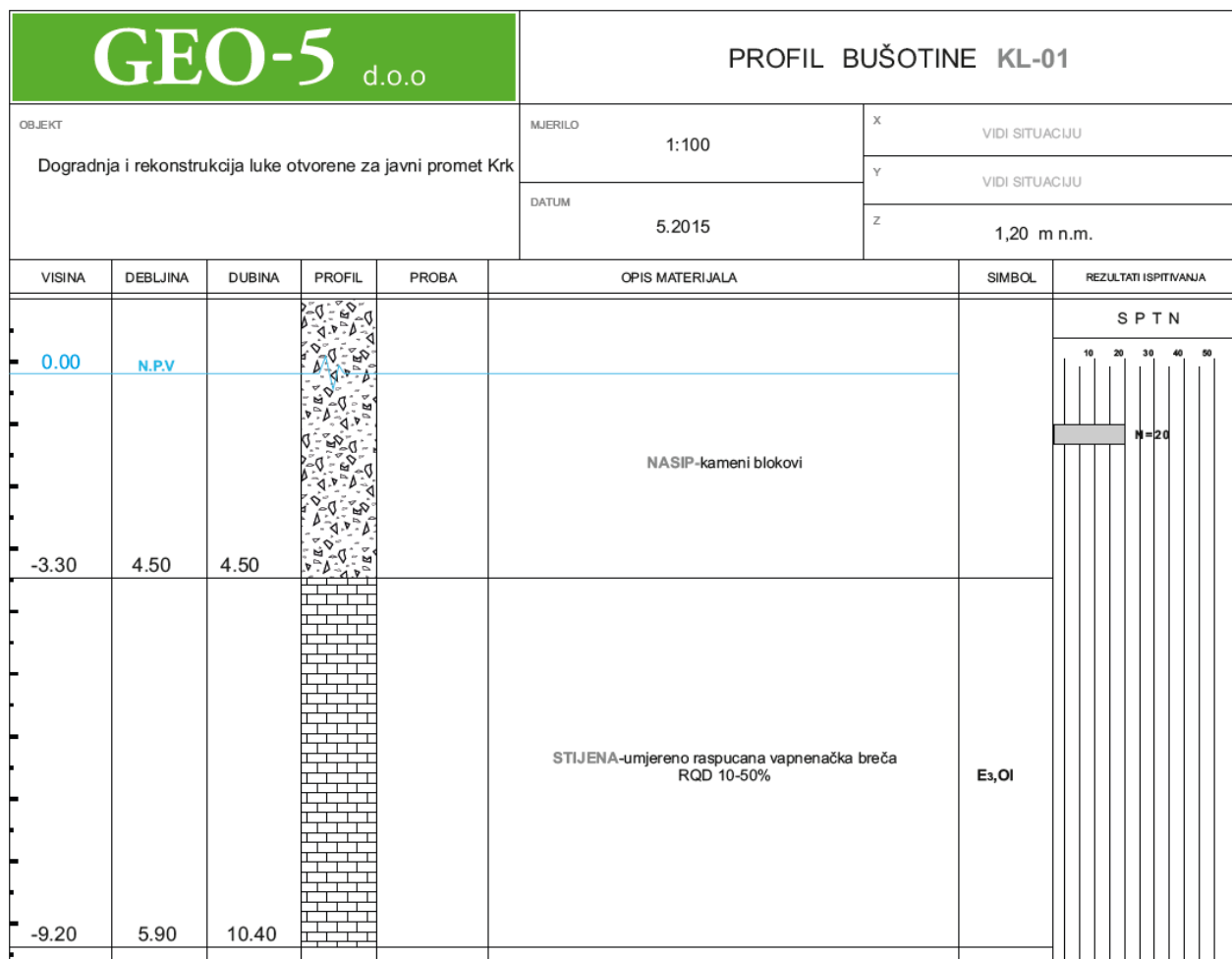
Navedeni izvješčaj je u cijelosti prikazan u prilogu ovog dokumenta.

## 6.2. ISTRAŽNO BUŠENJE

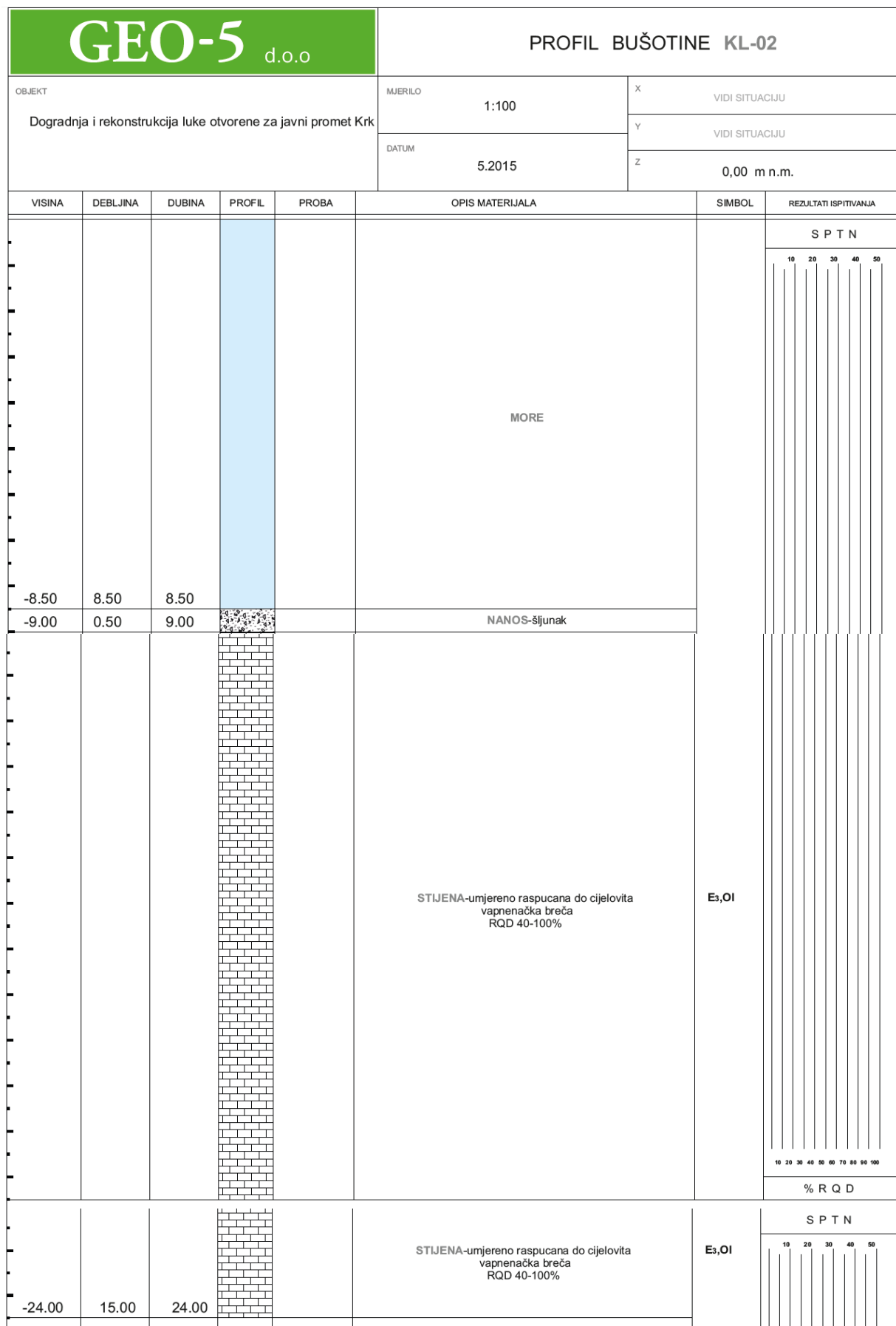
Na širem području sekundarnog lukobrana izvedene su dvije istražne bušotine. Bušotine su izvedene za potrebe produženja postojećeg lukobrana i dokumentirane u:

- GEOTEHNIČKI ELABORAT za glavni projekt, RIBARSKA LUKA PRODUŽENJE POSTOJEĆEG LUKOBRANA U LUCI KRK, br. elab.: OG-IZ-15-11, OpusGEO d.o.o., Zagreb, rujan 2015.

Prikaz izvedenih bušotina je na situaciji u prilogu ovog dokumenta, a geotehnički profili bušotina prikazani su u nastavku:



Slika 9. Geotehnički profil bušotine KL-01



Slika 10. Geotehnički profil bušotine KL-02

### 6.3. UTVRĐIVANJE DEBLJINE POKRIVAČA

Na širem području sekundarnog lukobrana izvedena su i ispitivanja utvrđivanja debljine pokrivača utiskivanjem šipke. Ispitivanja su izvedena za potrebe produženja postojećeg lukobrana i dokumentirana u:

- GEOTEHNIČKI ELABORAT za glavni projekt, RIBARSKA LUKA PRODUŽENJE POSTOJEĆEG LUKOBRAHA U LUCI KRK, br. elab.: OG-IZ-15-11, OpusGEO d.o.o., Zagreb, rujan 2015.

Točke ispitivanja prikazane su na situaciji u prilogu ovog dokumenta, a rezultati pregleda morskog dna / utiskivanje šipke radi utvrđivanja debljine pokrivača (marinskog sedimenta) u nastavku.

*Tablica 2. Rezultati utvrđivanja debljine marinskog nanosa utiskivanjem šipke (stupac dubina odnosi se na pojavu stijene u metrima ispod razine mora)*

IZVEDENO 31.08.2015. OD 11,00 DO 14,00 SATI DUBINE MJERENE DIGITALNIM DUBINOMJEROM S TOČNOŠĆU  $\pm 10$  CM. MJERENO U OSI TRASE PO KOMPASU

KURS 77,9°			KURS 138,9°			KURS 76,6°		
STACIO NAŽA	DUBINA	DNO SASTAV	STACIO NAŽA	DUBINA	DNO SASTAV	STACIO NAŽA	DUBINA	DNO SASTAV
0.0			0.0	5,7	padina	0.0	5,0	stijena
5	1,0	Kamenom	5	5,7	kamenomet	5	5,1	stijena
10	3,0	et-nasip	10	5,7	a- stijena	10	5,2	stijena
15-17	5,3	lukobrana	15	5,7	stijena	15	5,1	stijena
			20	5,6	stijena	20	5,2	stijena
			25	5,6	stijena	25	5,7	stij-škrapa
			30	5,7	stijena	30	5,2	stijena
			35	5,8	stijena	35	5,0	stijena
			40	5,8	stijena	40	5,4	stijena
			45	5,6	stijena	45	5,8	stijena
			50	5,3	stijena	50	5,4	stijena
			55	5,0	stijena	55	5,5	stij-škrapa
			59	5,0	stijena	60	6,0	stijena
						65	6,4	kamenito
						70	6,7	pijesak-mulj
						75	6,7	kamen
						80	6,8	pijesak
						85	6,8	stijena
						90	6,8	stijena
						95	7,0	stijena
						100	8,4	stijena
						105	9,0	stijena
						110	9,0	stijena
						115-116	9,0	stijena

PRVI DIO TRASE 77,9° IDE  
PO NASIPU POSTOJEĆEG  
LUKOBRAHA

DRUGI DIO TRASE 138,9°  
POČINJE NA PADINI NASIPA  
I DALJE NA STIJENOVITOM  
DNU.  
ŠKRAPASTO OKO ST25

TREĆI DIO TRASE 76,6° OKO  
ST55 ŠKRAPASTO. OD ST68  
DO ST75 PJESKOVITO,  
POBODENA SONDA U  
TVRDU GLINU TEŠKO DO  
100 CM



## 7. ODABIR GEOTEHNIČKIH PARAMETARA

Odabir geotehničkih parametara napravljen je na temelju provedenih istražnih radova, dosadašnjeg iskustva i preporuka iz literature.

Nasip(n), je umjetna tvorevina nastala nasipavanjem, a sastoji se od većih kamenih blokova. Nalazi se na mjestu gdje je sada obala, odnosno u korijenu budućeg sekundarnog lukobrana. Debljina je promjenjiva, a prema ocjeni je 7-8m.

Za provođenje geostatičkih proračuna predlažu se sljedeće vrijednosti:

kohezija	$c = 0 \text{ kPa}$
kut unutarnjeg trenja	$\phi = 35 - 45^\circ$
zapreminska težina	$\gamma = 20 - 23 \text{ kN/m}^3$
modul stišljivosti	$M_s = 30 - 50 \text{ MPa}$

Marinski nanos (m) registriran je na cijelom područja budućeg lukobrana. Marinski sediment po sastavu je krupnozrnasti pijesak rahle konzistencije do šljunak i eventualno gline. Debljina prema rezultatima istražnih radova iznosi od cca 1 do cca 3m.

Za provođenje geostatičkih proračuna predlažu se sljedeće vrijednosti:

kohezija	$c = 0-5 \text{ kPa}$
kut unutarnjeg trenja	$\phi = 25-30^\circ$
zapreminska težina	$\gamma = 18 - 20 \text{ kN/m}^3$
modul stišljivosti	$M_s = 1 - 5 \text{ MPa}$







### Vapnenačka breča ( $E_z, OI$ )

Terenskim i laboratorijskim ispitivanjima dobiveni su podaci o stijenskoj masi: jednoaksijalna čvrstoća uzoraka, RQD itd. Na osnovi tih podataka i geološkog opisa stijenske mase pomoću tablica definiran je geološki indeks čvrstoće GSI (Hoek, Kaiser & Bawden, 1995), te ostali parametri potrebni za određivanje krivulje čvrstoće.

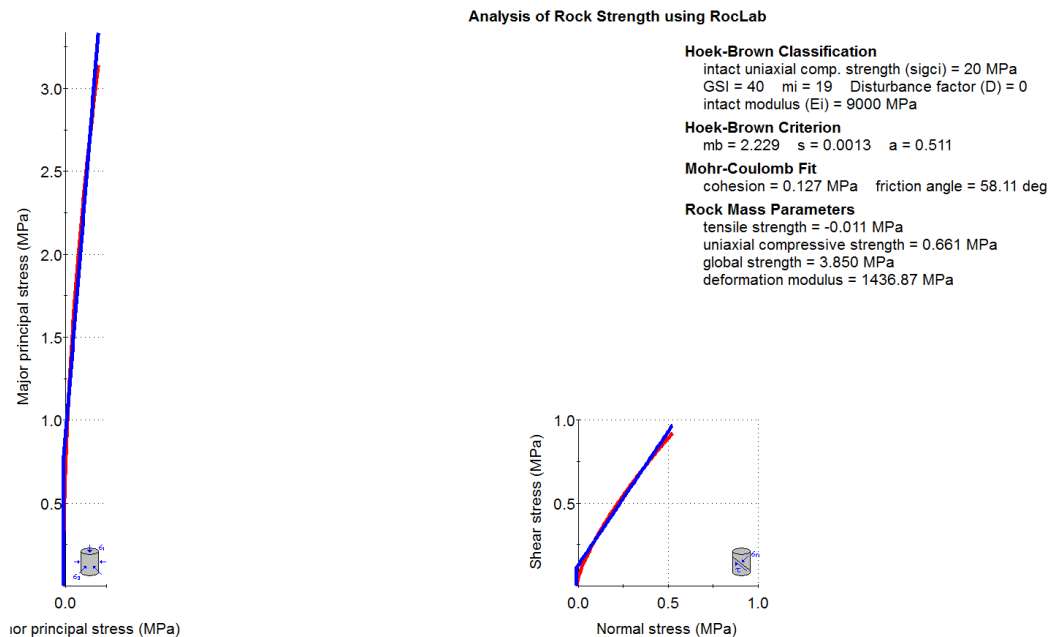
Krivulja čvrstoće s odgovarajućim vrijednostima kohezije i kuta unutrašnjeg trenja određena je korištenjem Hoek-Brown-ovog kriterija čvrstoće (Hoek, Carranza-Torres & Corkum, 2002: «Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition), pomoću programa «RocLab» (<http://www.rocscience.com/>, 2002., 2003. Rocscience Inc, Canada). Program uključuje tablice za procjenu jednoosne tlačne čvrstoće intaktnog stijenskog elementa ( $\sigma_{ci}$ ), konstante materijala  $m_i$  te geološkog indeksa čvrstoće (GSI).

Vrijednost "geološkog indeksa čvrstoće" za vapnenačku breču, utvrđena je prema priloženoj tablici preuzetoj iz stručne literature - ("Geološki indeks čvrstoće", Marinos, P. i Hoek, E., 2000.).

Tablica 3. Tablica za procjenu GSI-a (Marinos, P. i Hoek, E., 2000.)

<p><b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</b></p> <p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. <u>Note that the table does not apply to structurally controlled failures.</u> Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		<p><b>SURFACE CONDITIONS</b></p> <p>VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces</p> <p>GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces</p> <p>FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces</p> <p>POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments</p> <p>VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p>				
<p><b>STRUCTURE</b></p>		<p><b>DECREASING SURFACE QUALITY</b> →</p>				
<p><b>DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES</b> ↓</p>						
 <p>INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p>	 <p>BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p>	90				
		80				
		70				
		60				
		50				
 <p>VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p>	 <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p>	40				
 <p>DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>	 <p>LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>	30				
		20				
		10				
		N/A	N/A			

Za određenu vrijednost geološkog indeksa čvrstoće (GSI=40) dobiven je i usvojen zakon čvrstoće za stijenu podloge - vapnenačka breča ( $E_2, OI$ ).



Za provođenje geostatičkih proračuna odabrane su sljedeće vrijednosti geomehaničkih parametara za stijenu podloge - vapnenačka breča ( $E_2, OI$ ).

kohezija	$c = 100-130$ kPa
kut unutarnjeg trenja	$\phi = 40-55^\circ$
zapreminska težina	$\gamma = 23 - 25$ kN/m <sup>3</sup>
modul stišljivosti	$M_s = 1000$ MPa

Parametri posmične čvrstoće stijenske mase odabrani su konzervativno i mogu se koristiti jedino kao projektni parametri.

Tablica 4. Prijedlog karakterističnih geomehaničkih parametara po vrstama materijala

Vrsta materijala	kohezija $c_k$ [kPa]	kut un.trenja $\phi_k$ [°]	zapreminska težina $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	modul stišljivosti $M_s$ [MPa]
Nasip (kamen) - pokrivač	0	35-45	20-23	30-50
Marinski nanos - pokrivač	0-5	25-30	18-20	1-5
Vapnenačka breča ( $E_2, OI$ )	100-130	40-55	23-25	1000

## 8. ZAKLJUČNO

Ovaj elaborat služi kao geotehnička podloga za izradu glavnog projekta izgradnje sekundarnog lukobrana u luci Krk.

U sklopu glavnog projekta planira se izgradnja sekundarnog lukobran je dužine cca 83,00 m sa vanjske strane te cca 77,00 m sa unutarnje strane, širine 8,00 m, kota partera iznosi +1,50 m n.m.

Za lukobran definirana je projektna dubina od -5,00 m. Građevina se nalazi u akvatoriju u kojem dubina mora seže do -8,50 m. Projektom lukobran se temelji na općem kamenom nasipu. Kameni nasip se radi do kote -5,00 m n.m. sa bermama širine 4,00 m.

Na temelju provedenih geotehničkih istražnih radova određeni su prognozni geotehnički profili i prijedlog geotehničkih parametara temeljnog tla.

Temeljno tlo u pogledu geotehničkih cjelina možemo podijeliti na sljedeće:

- Pokrivač - kameni nasip (postojeći kameni nasip)
- Pokrivač - marinski nanos
- Stijena podloge - vapnenačka breča

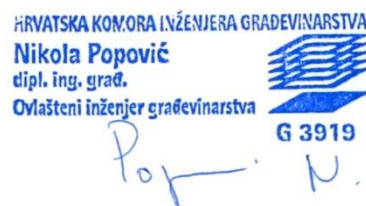
Rasprostiranje slojeva prikazano je na geotehničkim profilima u sklopu grafičkog dijela projekta. Jedino na samom početku (korijenu) lukobrana - gdje je sada obala, nalazi se postojeći kameni nasip ispod kojeg je stijena podloge. Na preostalom dijelu lukobrana na morskom dnu je marinski nanos: krupni rahli pijesak, debljine 1-3m ispod kojeg je stijena podloge- vapnena breča.

Temeljenje obalnih zidova sekundarnog lukobrana biti će većinom na općem kamenom podmorskom nasipu, te eventualno na postojećem nasipu ili direktno na stijeni podloge.

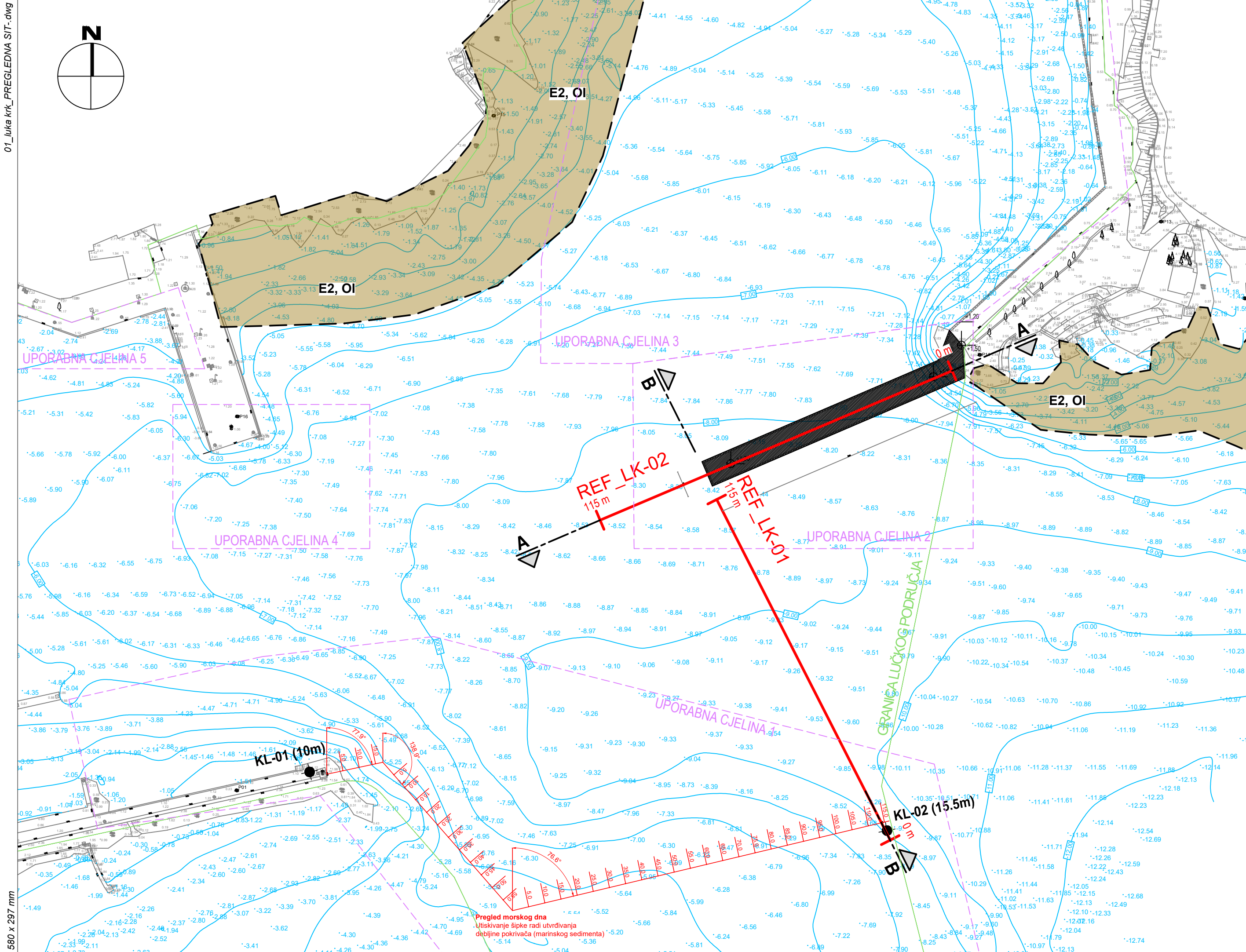
Prijedlog geotehničkih parametara za provedbu geotehničkih analiza nalazi se u točki 5. ovog elaborata.

Izrada izvještaja:

Nikola POPOVIĆ, dipl.ing.građ.







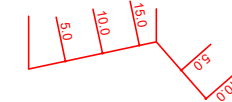
## LEGENDA



REF\_LK-01 (115m)

Marinska refrakcijska seizmika,  
izvedena 03/2023.

KL-01 (10m)

Istražna bušotina  
(Elaborat za produženje postojećeg lukobrana, br. elab.:  
OG-IZ-15-11, OpusGEO d.o.o., Zagreb, rujan 2015.)Pregled morskog dna od strane ronioca s utiskivanjem šipke  
radi utvrđivanja debljine pokrivača  
(Elaborat za produženje postojećeg lukobrana, br. elab.:  
OG-IZ-15-11, OpusGEO d.o.o., Zagreb, rujan 2015.)

Prognozni geotehnički profil

E2, OI

Osnovna stijena vidljiva na morskome dnu i obalnom rubu  
Vapnenačka breča (E2,OI) s kalcitno-limonitnim i  
glineno-limonitnim vezivom, čvrsta i kompaktna, bijele boje,  
(E2,OI), RQD 80%Granica inženjerskogeoloških vrsta stijena,  
približno locirana

Granica lučkog područja



Uporabne cjeline

NAZIV GRADEVINE:

REKONSTRUKCIJA LUKE KRK, UPORABNA CJELINA 2 – SEKUNDARNI LUKOBRAN

MAPA:

GEOTEHNIČKI ELABORAT ZA GLAVNI PROJEKT

SADRŽAJ:

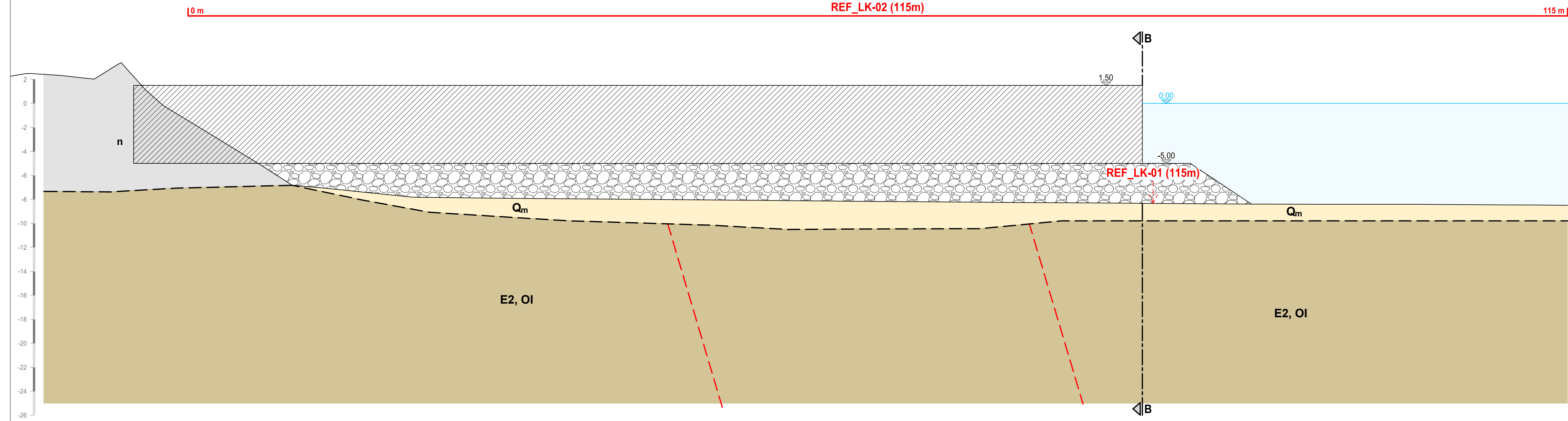
PREGLEDNA SITUACIJA

MJERILO:

1:1000

BROJ PRILOGA:

01

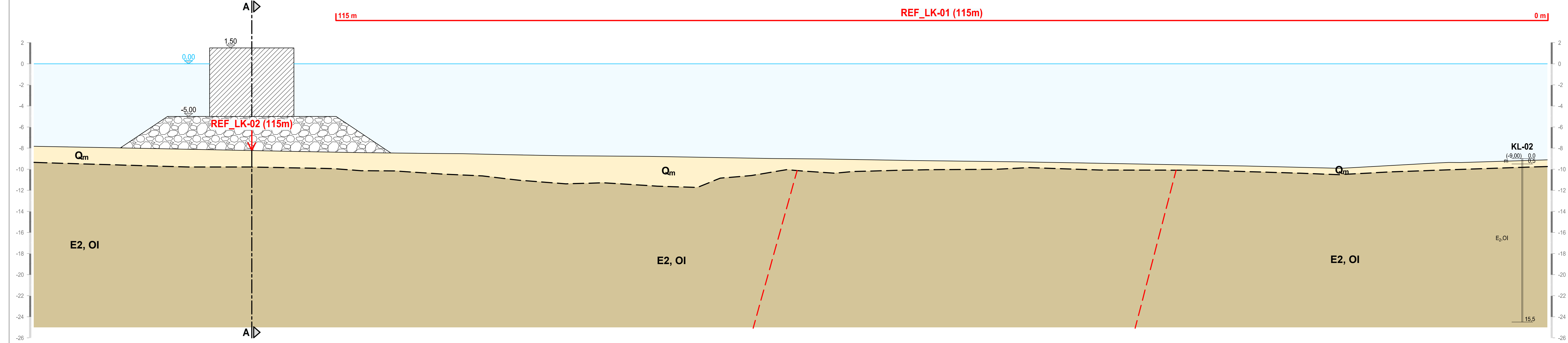


LEGENDA



- n** Nasip (n), umjetna tvorevina nastala nasipavanjem, a sastoji se od većih kamenih blokova
- Q<sub>m</sub>** Marinski sediment (Q<sub>m</sub>), po sastavu krupnozrnati pijesak rahle konzistencije do šljunak, eventualno glina
- E2, OI** Vapnenačka breča (E2,OI) s kalcitno-limonitnim i glineno-limonitnim vezivom, čvrsta i kompaktna, bijele boje, (E2,OI), RQD 80%
- Granica inženjerskogeoloških vrsta stijena, približno locirana
- - - Zona diskontinuiteta, razlomljena zona, sustav pukotina prema refrakcijskom profilu
- REF\_LK-01 (115m)** Marinska refrakcijska seizmika, izvedena 03/2023.
- B** Prognozni geotehnički profil

NAZIV GRAĐEVINE:	
REKONSTRUKCIJA LUKE KRK, UPORABNA CJELINA 2 – SEKUNDARNI LUKOBRAN	
MAPA:	
GEOTEHNIČKI ELABORAT ZA GLAVNI PROJEKT	
SADRŽAJ:	
PROGNOZNI GEOTEHNIČKI PROFIL A-A	
MJERILO:	BROJ PRILOGA:
1:200	02



LEGENDA



- n** Nasip (n), umjetna tvorevina nastala nasipavanjem, a sastoji se od većih kamenih blokova
- Q<sub>m</sub>** Marinski sediment (Q<sub>m</sub>), po sastavu krupnozlasti pijesak rahle konzistencije do šljunak, eventualno glina
- E2, OI** Vapnenačka breča (E2,OI) s kalcitno-limonitnim i glineno-limonitnim vezivom, čvrsta i kompaktna, bijele boje, (E2,OI), RQD 80%
- Granica inženjerskogeoloških vrsta stijena, približno locirana
- - - Zona diskontinuiteta, razlomljena zona, sustav pukotina prema refrakcijskom profilu
- REF\_LK-01 (115m)** Marinska refrakcijska seizmika, izvedena 03/2023.
- A** Prognozni geotehnički profil
- KL-02** Istražna bušotina (Elaborat za produženje postojećeg lukobrana, br. elab.: OG-IZ-15-11, OpusGEO d.o.o., Zagreb, rujan 2015.)

NAZIV GRAĐEVINE:	
REKONSTRUKCIJA LUKE KRK, UPORABNA CJELINA 2 – SEKUNDARNI LUKOBRAN	
MAPA:	
GEOTEHNIČKI ELABORAT ZA GLAVNI PROJEKT	
SADRŽAJ:	
PROGNOZNI GEOTEHNIČKI PROFIL B-B	
MJERILO:	BROJ PRILOGA:
1:200	03

I-01 IZVJEŠTAJ O GEOFIZIČKIM ISTRAŽIVANJIMA

BR. STR.

12



Investitor:	
Naručitelj:	OpusGeo, d.o.o. Poljana Zdenka Mikine 4 10000 Zagreb

Građevina:	Rekonstrukcija luke Krk
Predmet:	Uporabna cjelina 2 – sekundarni lukobran
Vrsta dokumentacije:	Izvještaj o geofizičkim istraživanjima
Oznaka evidencije:	2/23
Izvještaj izradio:	Damir Grgec, dipl.ing.rud

Odgovorna osoba:	Damir Grgec, dipl.ing.rud.
Mjesto i datum izrade:	Popovača, ožujak 2023.

INVESTITOR:

NARUČITELJ:

OpusGeo, d.o.o.  
Poljana Zdenka Mikine 4  
10000 Zagreb

GRAĐEVINA:

Rekonstrukcija luke Krk

PREDMET:

Uporabna cjelina 2 – sekundarni lukobran

Izvještaj o geofizičkim istraživanjima

VRSTA DOKUMENTACIJE:

OZNAKA EVIDENCIJE:

2/23

IZVJEŠTAJ IZRADIO:

Damir Grgec, dipl.ing.rud

VODITELJ RADNOG NALOGA: Damir Grgec, dipl.ing.rud.

---

**SADRŽAJ**

---

<u>OPĆI DIO</u>	<u>broj stranica</u>
Popis sudionika na izvedbi geofizičkih istraživanja i izradi izvještaja .....	2
Sadržaj.....	3

<u>TEHNIČKI DIO</u>	<u>broj stranica</u>
1. UVOD	5
2. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA	5
2.1. O metodi	5
2.2. Uvjeti i ograničenja	6
2.3. Obim terenskih radova, obrada i prikaz refrakcijskih rezultata	6
3. ZAKLJUČNE NAPOMENE	8
PRILOZI .....	9

1. SITUACIJA S POLOŽAJEM ISTRAŽIVANJA  
2.1-2.2 PLITKA REFRAKCIJSKA SEIZMIKA- DUBINSKI SEIZMIČKI PRESJECI

IZVJEŠTAJ IZRADIO:

Damir Grgec, dipl.ing.rud.



## TEHNIČKI DIO

<i>Građevina:</i>	Rekonstrukcija luke Krk
<i>Predmet:</i>	Uporabna cjelina 2 – sekundarni lukobran
<i>Vrsta dokumentacije:</i>	Izvještaj o geofizičkim istraživanjima
<i>Oznaka evidencije:</i>	2/23
<i>Mjesto i datum izrade:</i>	Popovača, ožujak 2023.

## 1. UVOD

U okviru geotehničkih istraživanja za potrebe izrade projekta rekonstrukcije luke Krk provedeni su geofizički istražni radovi na dijelu građevine Uporabna cjelina 2 – sekundarni lukobran. Geofizičkim metodama na istraživanom području dobiven je uvid u stanje naslaga na lokacijama budućeg objekta. U tu svrhu korištena je metoda plitke refrakcijske seizmike.

Terenske radove i obradu podataka izveli su djelatnici Razvoja i geotehničkih istraživanja d.o.o. u ožujku 2023. godine.

Iz rezultata geofizičkih istraživanja, a na temelju izmjerenih brzina longitudinalnih valova, kao i njihovog prostornog rasporeda u podlozi, moguće je za potrebe izrade projekta odrediti i ocijeniti;

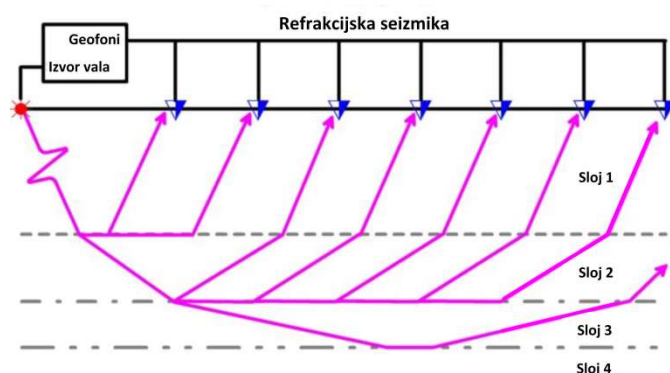
- vrstu tla ili stijena te debljinu pojedinog geološkog člana ispod površine terena
- lateralne kontakte u temeljnom tlu, kao posljedice izmjene vrste ili kvalitete litoloških članova u temeljnom tlu,
- položaje rasjednih i pukotinskih zona

## 2. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA

U cilju utvrđivanja geološke građe terena na lokaciji istraživanja kontinuirano je praćen prostorni raspored brzina P-valova duž refrakcijskih profila. Težište istraživanja bilo je na utvrđivanju sastava tla, utvrđivanju njihovog prostornog rasporeda na zadanoj mikrolokaciji proširenja i dogradnje, lociranju zona znatnijih deformacija te elastičnih fizičko-mehaničkih karakteristika tla u podlozi. U tu svrhu korištena je geofizička metoda istraživanja i to plitka seizmička refrakcija po dnu mora.

### 2.1. O metodi

Refrakcijska seizmika zasniva se na određivanju brzina seizmičkih valova i lociranju značajnijih elastičnih diskontinuiteta, a primjenjuje se u svrhu kontinuiranog praćenja prostornog rasporeda i promjena u fizičko-mehaničkim karakteristikama stjenovite mase i materijala u podlozi.



Refrakcijska metoda temelji se na refrakciji elastičnih valova na granici dviju sredina čije brzine zadovoljavaju uvjet porasta sa dubinom. Elastični valovi pobuđeni na površini počinju se širiti brzinom prve sredine. Za ovu metodu je najvažniji val koji na granicu sredina dolazi pod kritičnim kutom ili kutom totalne refrakcije. On se dalje širi duž granice brzinom donjeg medija i vraća na površinu (prema Hygensovom načelu), gdje pobuđuje postavljene geofone. Iz geometrije rasporeda geofona i točaka paljenja na površini

terena, te registriranih vremena prvih nailazaka elastičnog vala formiraju se s-t dijagrami (s-udaljenost, t-vrijeme), tzv. dromokrone. Primjenom direktnih metoda i metoda inverznog modeliranja iz dromokrona se određuju dubine i prostorni rasporedi elastičnih diskontinuiteta.

## 2.2. Uvjeti i ograničenja

Za uspješnu primjenu direktnih i inverznih metoda interpretacije seizmičke refrakcije (plus-minus metoda, metoda valne fronte, CMP-metoda, GRM-metoda i sl.), pri određivanju granica različitih sredina po dubini treba postojati tzv. normalan slijed brzina, što znači da se materijali veće brzine elastičnih valova trebaju nalaziti ispod onih s manjom brzinom. U obrnutom slučaju ne može doći do totalne refrakcije valova duž plohe diskontinuiteta.

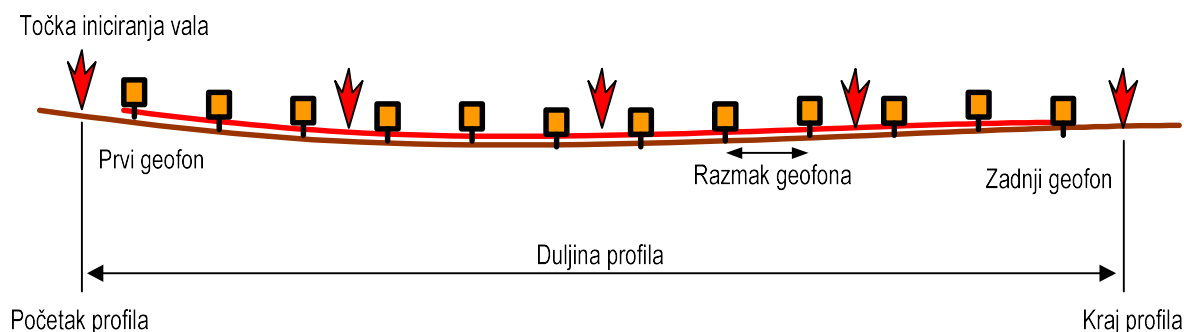
Inverzija brzina je sasvim normalna pojava, npr. u kršu kod pojave kaverni, zatim raspucanih vapnenaca ispod kompaktnih, fliških lapora ispod vapnenaca, kod različite zbijenosti i saturiranosti sedimentnih serija i sl., pa u takvim slučajevima metoda ne daje točne rezultate po dubini, no njezina primjena je ipak opravdana jer se dobro može izdvojiti debljina prve, redovito prisutne, trošne zone materijala najmanje brzine.

Uvođenjem metoda inverznog modeliranja u obradu rezultata seizmičkih istraživanja ova su ograničenja uklonjena i povećana je primjena refrakcijske seizmičke metode u rješavanju kompleksnih geoloških problema. Pri obradi rezultata refrakcijskih seizmičkih istraživanja koristi se inverzna Delta-t-V metoda (Gebrande, Miller, 1985). Delta-t-V metoda daje kontinuirani raspored brzina sa dubinom u seizmičkom profilu, a uključuje vertikalne gradijente brzina, linearni porast brzine sa dubinom i inverzne rasporede brzina te WET (Wavepath Eikonal Traveltime; Schuster 1993; Watanabe 1999.), tomografskom obrada.

## 2.3. Obim terenskih radova, obrada i prikaz refrakcijskih rezultata

Seizmička refrakcijska ispitivanja izvedena su na lokaciji sekundarnog lukobrana. Izmjerena su dva seizmička profil svaki pojedinačne duljine 115 metara po dnu moru. Položaj i duljina profila dan je programom istražnih radova. Snimljene su brzine valova s kontinuiranom pokrivenošću hidrofonskih mjesta ekvidistantnog razmaka svaka 5 metra. Snimanje je izvršeno digitalnim 24 kanalnim seizmografom ABEM Terraloc PRO2. Broj točaka paljenja bio je 11 duž profila, nakon svakog trećeg hidroфона i dva offset paljenja, a prilagođen je duljinama seizmičkih dispozitiva i rasporedu primjerenom Delta-t-V metoda i WET tomografiji.

Prikaz rasporeda točaka "paljenja" i hidroфона dan je na slici u nastavku.



**Skica postavljenog profila seizmičke refrakcije na dnu mora**

Tri osnovna parametra pri mjerenju bila su:

- A. Udaljenost izvora i prvog hidroфона, offset: 2.5, 15 m
- B. Razmak hidroфона: 5 m
- C. Duljina dispozitiva, razmak između prvog i zadnjeg geofona u profilu: 115 m

#### 2.4. Interpretacija refrakcijskih seizmičkih ispitivanja

Rezultat refrakcijskih istraživanja predložen su u formi refrakcijskog presjeka. Za prikaz rezultata korišten je 2D presjek dobiven WET tomografijom. Na dubinskom presjeku refrakcijskog profila izolinije brzina longitudinalnih valova prikazane su u intervalu od 0 - 4000 m/s, s inkrementom 100 i 500 m/s. Prikazi su upotpunjeni litološkim opisom uz legendu na predmetnoj lokaciji. Intervali brzina svakih 500 m/s, naglašeni su zadebljanim izotahama, radi lakšeg praćenja izmjene stijena u podlozi. Jače izraženi seizmički diskontinuiteti vezani uz intenzivnije lateralne pomake u podlozi označeni su crtkanim linijama.

Dubinski seizmički presjeci prikazuju raspodjele brzina širenja P-valova duž profila. Na temelju njihovog prostornog rasporeda može se zaključivati o vrsti i kvaliteti materijala u plićem podzemlju te u temeljnom refraktoru.

Karakteristični dubinski presjek predstavlja kategorizaciju urađenu na osnovi poznavanja brzina prostiranja P valova, granica seizmičkih diskontinuiteta i litoloških podataka preuzetih iz determinacije nabušene jezgre u istraživačkim bušotinama. Njime se prognoziraju tri sredine različitih fizičko mehaničkih karakteristika:

Brzina širenja P vala (m/s)	Prognozna litološka determinacija
< 1000	Nanos, marinski sediment, krupni rahli pijesak i šljunak, debljina do 3 m
1000 - 3000	Gornja zona trošenja, karbonatne breče, raspucana i okršena stijenska masa
> 3000	Osnovna stijena, karbonatne breče, kompaktna, mjestimično slabije raspucana i okršena stijenska masa,

### 3. ZAKLJUČNE NAPOMENE

U sklopu terenskih istraživanja, za potrebe izrade projekta rekonstrukcije luke Krk provedeni su geofizički istražni radovi na dijelu građevine budućeg sekundarnog lukobrana. Urađena su marinska geofizička istraživanja po dnu mora u seizmičkim refrakcijskim profilima duljine 115 metara. Na osnovu izmjerenih brzina seizmičkih valova u podlozi određena je kvaliteta i dubina do osnovne stijene, debljina marinskog nanosa i gornje zone trošenja. U vertikalnom smjeru izdvojene su tri sredine, čije granice su određene na temelju brzina širenja longitudinalnih seizmičkih valova i determinacije jezgre bušotine KO-2 izvedena u prethodnim istraživanjima.

Debljina marinskog nanosa na izmjerenom području je od 2-3 metra i karakterizira je brzina seizmičkih valova do 400 do 1000 m/s. Najveća debljina marinskog nanosa izmjerena je na profilu REF\_LK-02 od 45 do 70 metara gdje je oko 3 metra. Također ove debljine nanosa izmjerene su na profilu REF\_LK-01 od 60 do 115 metara. Na profilu REF\_LK-01 debljina marinskog nanosa se smanjuje i na početku profila je oko 0.5 metara.

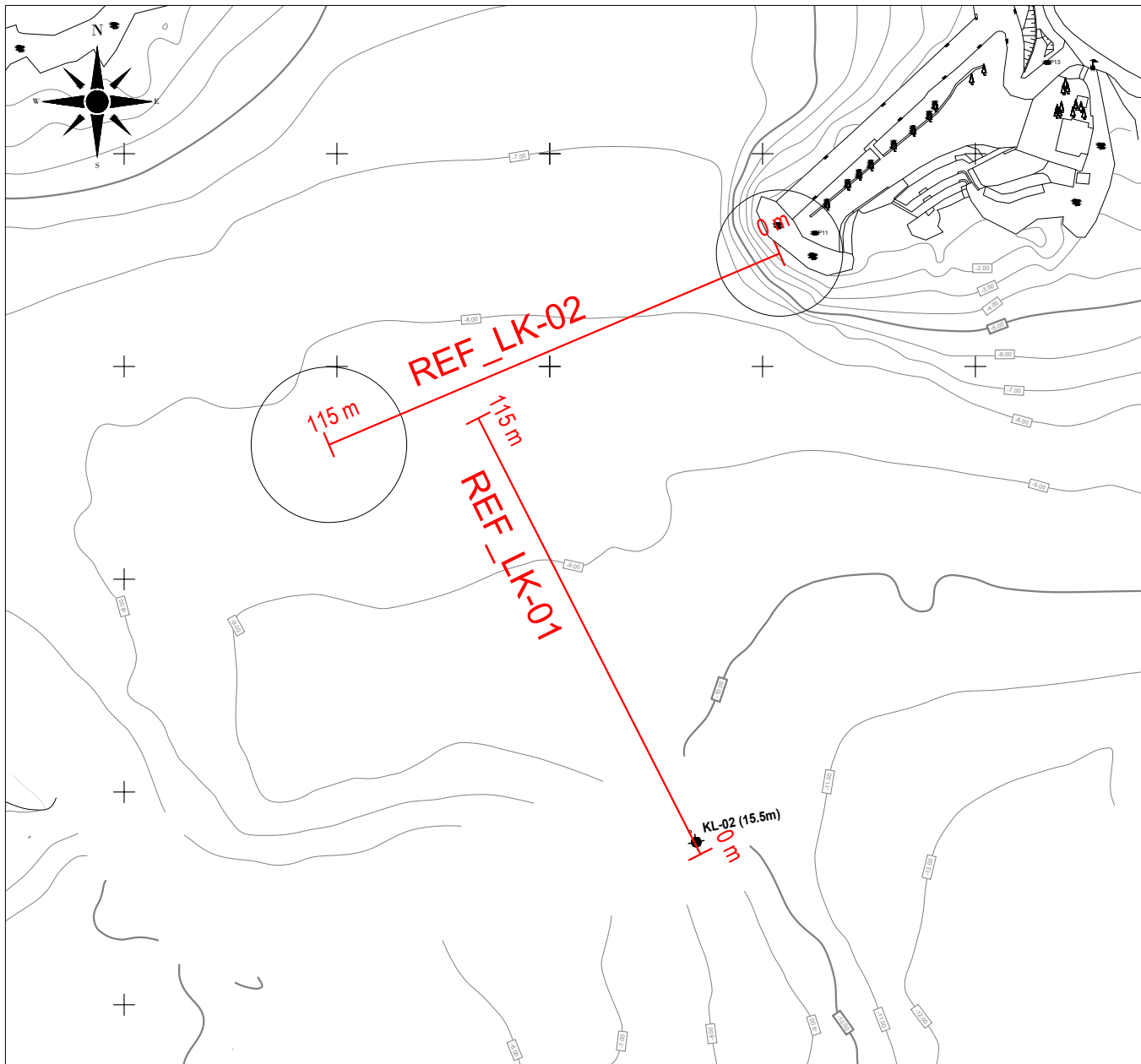
Ispod marinskog nanosa je okršena i trošna stijena podloge sa seizmičkim brzinama od 1000 do 3000 m/s. Debljina ove zone je od 5 do 7 metara. Nema značajnijih promjena u gradijentu brzine s porastom dubine kao ni lateralnih promjena brzine u gornjoj zoni trošenja.

Osnovnu stijenu karakteriziraju brzine veće od 3000 m/s. Značajnijih lateralnih promjena brzine kao ni inverzija brzine u osnovnoj stijeni nisu izmjerene. U zonama s najvećom debljinom marinskog nanosa izmjerene su i najveće dubine do osnovne stijene.



## PRILOZI

<i>Građevina:</i>	Rekonstrukcija luke Krk
<i>Predmet:</i>	Uporabna cjelina 2 – sekundarni lukobran
<i>Vrsta dokumentacije:</i>	Izveštaj o geofizičkim istraživanjima
<i>Oznaka evidencije:</i>	2/23
<i>Mjesto i datum izrade:</i>	Popovača, ožujak 2023.



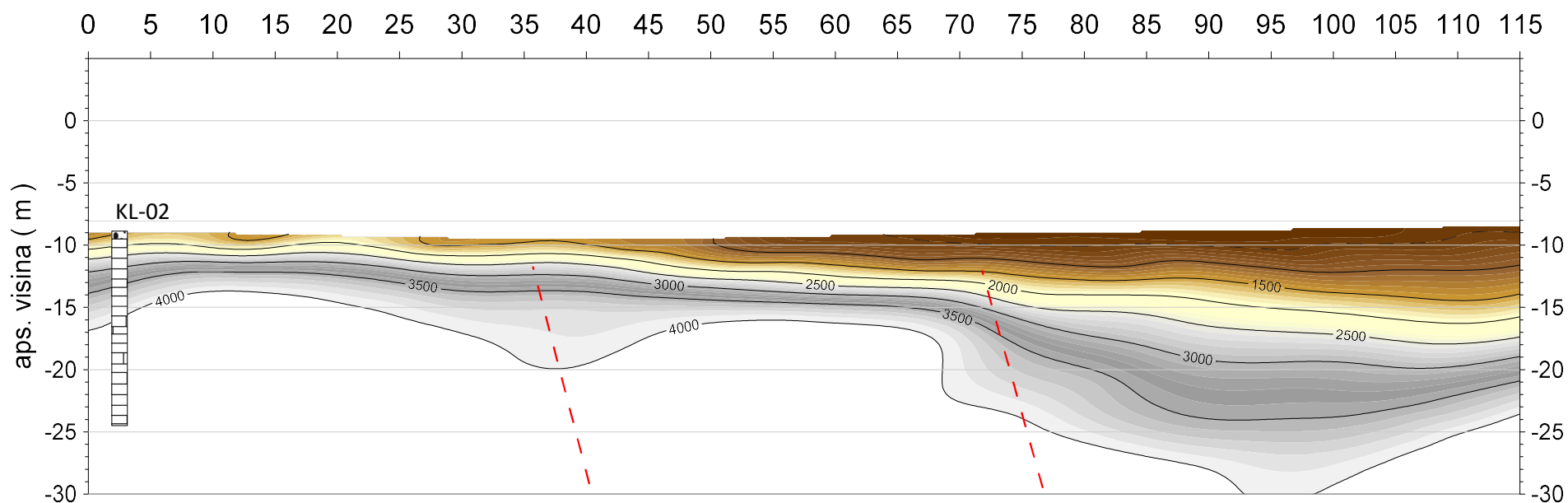
**LEGENDA :**

REF\_LK-01  
0 m 115 m  
Položaj profila refrakcijske seizmike

Razvoj i geotehnička istraživanja d.o.o. R G I	
INVESTITOR:	BROJ EVIDENCIJE: 2/23
NARUČITELJ: OpusGEO d.o.o., Poljana Zdenka Mikine 4, 10000 Zagreb	MJERILO: 1:1500
SADRŽAJ: SITUACIJA S POLOŽAJEM GEOFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA	DATUM: OŽUJAK, 2023
IZRADIO: DAMIR GRGEC, mag.ing.rud.	BROJ PRILOGA: 1.1
PREGLEDAO: DAMIR GRGEC, mag.ing.rud.	

## DUBINSKI SEIZMIČKI PRESJEK: REF\_LK-01

Udaljenost (m)



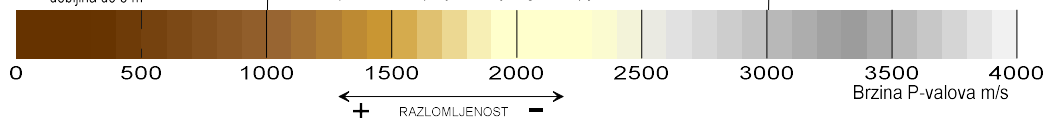
M 1:500

PROGNOZNA LITOLOŠKA  
DETERMINACIJA

Nanos, marinski sediment,  
krupni rahli pijesak,  
debljina do 3 m

Gornja zona trošenja, karbonatne breče  
srednje trošna, raspucana i slabije okršena stijenska masa  
s pukotinama ispunjenim kršjem glinom i pijeskom

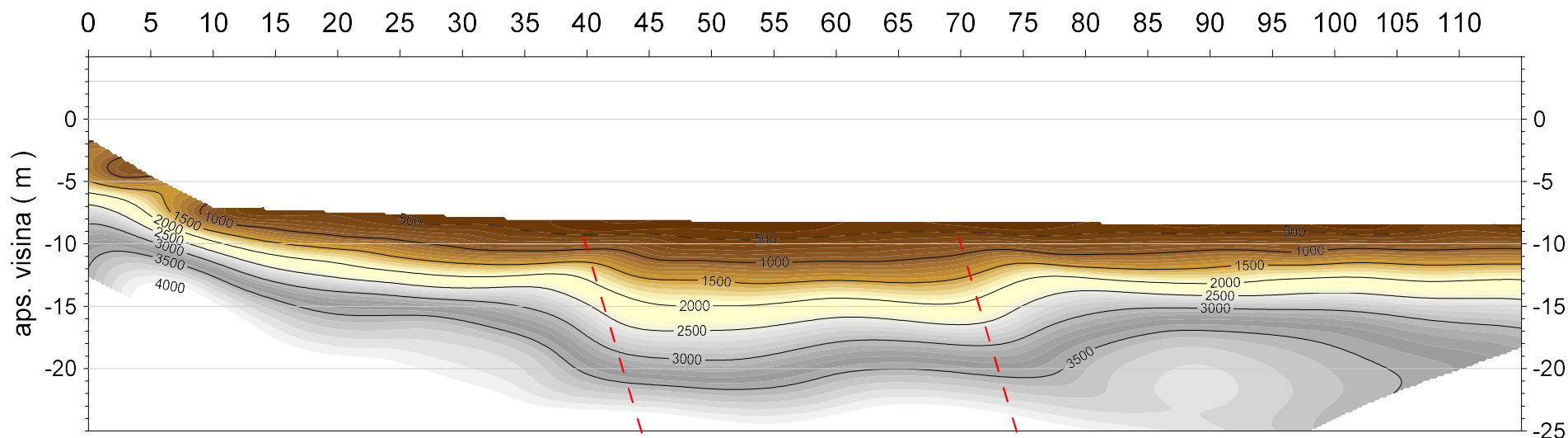
Osnovna stijena, karbonatne breče, kompaktna stijena  
mjestimično slabije raspucana i okršena stijenska masa.



ZONA DISKONTINUITETA,  
RAZLOMLJENA ZONA,  
SUSTAV PUKOTINA

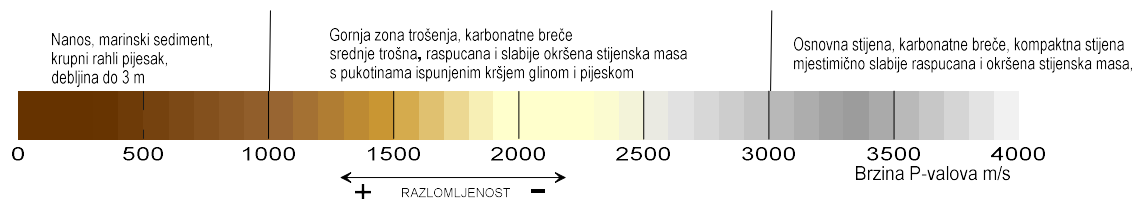
## DUBINSKI SEIZMIČKI PRESJEK: REF\_LK-02

Udaljenost (m)



M 1:500

PROGNOZNA LITOLOŠKA  
DETERMINACIJA



Obrada i interpretacija  
Damir Grgec, dipl.ing.rud.

Prilog: 2.2