

# Analiza nosivosti vertikalno opterećenog šipa za potrebe izgradnje petlje „Merošina 1“ na autoputu E-80 deonica: Niš – Merošina; Analysis of the Capacity of a Vertically Loaded Pile for the Construction of the "Merošina 1" Loop on the E-80 Highway Section: Nis - Merošina

Dragoslav Rakić, Nikola Božović, Miloš Stevanović, Milan Bogdanović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

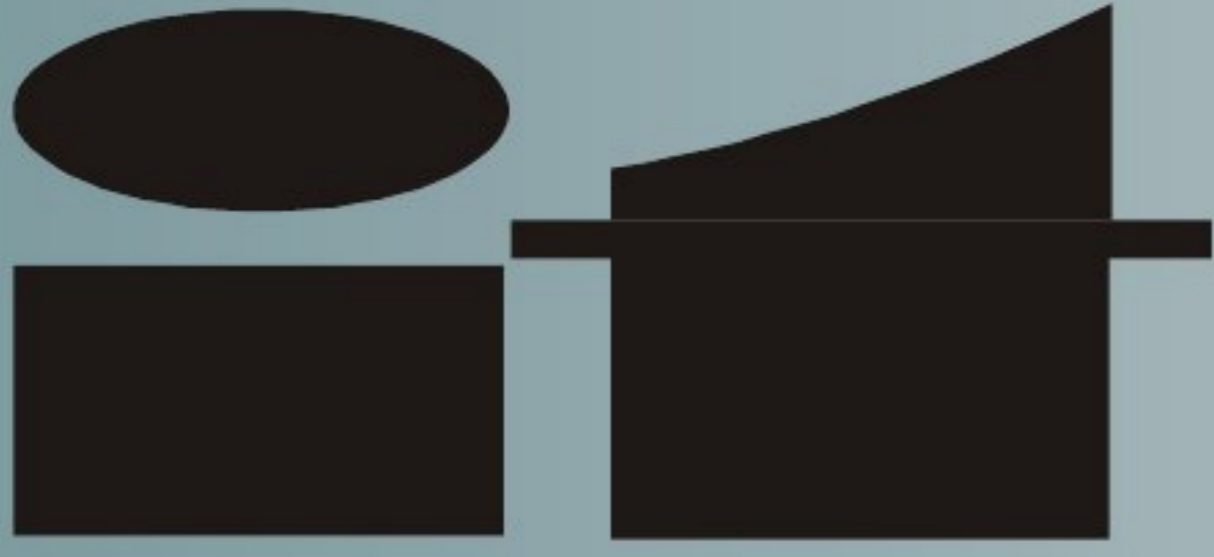
Analiza nosivosti vertikalno opterećenog šipa za potrebe izgradnje petlje „Merošina 1“ na autoputu E-80 deonica: Niš – Merošina; Analysis of the Capacity of a Vertically Loaded Pile for the Construction of the "Merošina 1" Loop on the E-80 Highway Section: Nis - Merošina | Dragoslav Rakić, Nikola Božović, Miloš Stevanović, Milan Bogdanović | Geotehnički aspekti građevinarstva i zemljotresno inženjerstvo – Vrnjačka Banja, 01-03. novembar 2023. | 2023 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0008407>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)





**SAVEZ GRAĐEVINSKIH  
INŽENJERA SRBIJE**

ASSOCIATION OF CIVIL ENGINEERS OF SERBIA

**ZBORNIK RADOVA / PROCEEDINGS**

**MEĐUNARODNO NAUČNO-STRUČNO SAVETOVANJE  
INTERNATIONAL SCIENTIFIC FORUM**

**GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA  
I ZEMLJOTRESNO INŽENJERSTVO**

GEOTECHNICAL ASPECTS OF CIVIL ENGINEERING AND EARTHQUAKE ENGINEERING



Vrnjačka Banja, 1-3. novembar 2023.



624.042.7(082)(0.034.2)  
699.841(082)(0.034.2)  
550.34(082)(0.034.2)

**МЕЂУНАРОДНО научно-стручно саветовање Геотехнички аспекти грађевинарства и земљотресно инжењерство (2023 ; Врњачка Бања)**

Zbornik radova Međunarodno naučno-stručnog savetovanja Geotehnički aspekti građevinarstva i zemljotresno inženjerstvo, Vrnjacka Banja, 01. - 03. novembar 2023. [Elektronski izvor] = Proceedings International Scientific Conference Geotechnical Aspects of Civil Engineering and Earthquake Engineering / [organizatori] Savez građevinskih inženjera Srbije ... [et al.] ; editor Radomir Folić. - Beograd : Savez građevinskih inženjera Srbije = Association of Civil Engineers of Serbia, 2023 (Beograd : Razvojno istraživački centar grafičkog inženjerstva). - 1 USB fleš memorija ; 7 x 2 x 1 cm

Sistemska zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 200. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-88897-17-4

a) Сеизмичке конструкције -- Зборници b) Геотехничке конструкције -- Зборници v) Земљотреси -- Зборници

COBISS.SR-ID 128354569

**IZDAVAČ (PUBLISHER):**

Savez građevinskih inženjera Srbije / *Association of Civil Engineers of Serbia*  
Srbija, Beograd, Kneza Miloša 9/I, Tel. +381 (0) 11 32 30 357; +381 (0) 11 32 42 589

**EDITOR / (Editor in Chief):** Prof. emeritus dr Radomir FOLIĆ

**TEHNIČKI UREDNIK / (Editor):** Stoja TODOROVIĆ - Saška

Svi radovi u ovom zborniku radova su recenzirani. Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno i stavove izdavača, programskog odbora ili editora.

**TIRAŽ (Circulation):** 200

**ŠTAMPA (Printed by):** Razvojno istraživački centar grafičkog inženjerstva, Beograd

Međunarodno naučno-stručno savetovanje "Geotehnički aspekti građevinarstva i zemljotresno inženjerstvo" organizovano je pod pokroviteljstvom. **Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.**



33.	Dragoslav Rakić, Nemanja Stanić, Josip Išek, Slavoljub Simić (Srbija) GEOTEHNIČKI USLOVI IZGRADNJE METRO STANICE „SAVSKI TRG“ –BEOGRADSKI METRO LINIJA 1 .....	380
34.	Dragoslav Rakić, Nikola Božović, Miloš Stevanović, Milan Bogdanović (Srbija) ANALIZA NOSIVOSTI VERTIKALNO OPTEREĆENOG ŠIPA ZA POTREBE IZGRADNJE PETLJE „MEROŠINA 1“ NA AUTOPUTU E-80 DEONICA: NIŠ – MEROŠINA .....	392
35.	L. Kuljansi, J. Lagendijk (Holandija) MECHANICALLY STABILISED WORKING PLATFORMS FOR WINDFARMS USING THE LATEST GENERATION OF STABILISING GEOGRIDS.....	404
36.	Boris Folić, Miloš Čokić, Radomir Folić (Srbija) STATIC LOAD INFLUENCE IN THE PILE CAP AND ALONG THE PILES.....	414
37.	Tanja Miladinović, Slavica Janković, Miroljub Živanović (Srbija) EGZOGENI GEODINAMIČKI PROCESI I POJAVE I OCENA STABILNOSTI TERENA U ZONI LINIJE 1 BEOGRADSKOG METROA ...	424
38.	Jelena Pejovic, Nina Serdar (Crna Gora) MODAL COMBINATION PATTERNS FOR NONLINEAR STATIC PUSHOVER ANALYSIS OF RC HIGH-RISE BUILDINGS .....	433
39.	Dragana Slavković, Toplica Novaković, Miloš Ranković, Miodrag Pisarević, Mihajlo Lazić, Vladimir (Србија) UTICAJ „WICK“ DRENOVA NA VREMENSKI TOK KONSOLIDACIONOG SLEGANJA NASIPA AUTO-PUTA KUZMIN – SREMSKA RAČA.....	441
40.	Katarina Popović, Slobodan Živaljević, Milovan Šoškić (Crna Gora) UTICAJ PARAMETARA PUKOTINSKIH SISTEMA NA STABILNOST KAMENIH KOSINA.....	451
41.	Arijon Mujalović, Miodrag Bujišić, Slobodan Živaljević (Crna Gora) PARAMETARSKA ANALIZA SLIJEGANJA POVRŠINE TERENA USLED TUNELSKOG ISKOPA U ZAVISNOSTI OD KARAKTERISTIKA STIJENSKE MASE I VISINE NADSLOJA .....	460
42.	Milorad Jovanovski, Jovan Br. Papić, Igor Peševski (Severna Makedonija) SOME ASPECTS OF GROUND MODELLING RELATED TO ROCK MASSES IN THE LIGHT OF EUROCODE 7 WITH PRACTICAL EXAMPLES.....	468
43.	Zoran Bonić, Elefterija Zlatanović, Nikola Romić, Nebojša Davidović, Nemanja Marinković, Branimir Stanković (Србија) UTICAJ INTERAKCIJE TEMELJ – TLO NA NOSIVOST NA PROBIJANJE TEMELJA SAMACA OD ARMIRANOG BETONA .....	478





GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA I ZEMLJOTRESNO  
INŽENJERSTVO - Vrnjačka Banja, 01-03. novembar 2023.

Dragoslav Rakić<sup>1</sup>, Nikola Božović<sup>2</sup>, Miloš Stevanović<sup>3</sup>, Milan Bogdanović<sup>4</sup>

**ANALIZA NOSIVOSTI VERTIKALNO OPTEREĆENOG ŠIPA ZA POTREBE  
IZGRADNJE PETLJE „MEROŠINA 1“ NA AUTOPUTU E-80 DEONICA: NIŠ –  
MEROŠINA**

**Rezime:** U Srbiji je počela izgradnja autoputa E-80 koji će predstavljati saobraćajno čvorište zapadnog Balkana i biće deo glavne regionalne transportne mreže jugoistočne Evrope. Njegova ukupna dužina kroz Srbiju iznosi 77 km, a prva deonica u dužini od 5.5 km je završena i puštena u saobraćaj krajem jula 2023. god. To je prva od četiri deonice Sektora 1 čija je dužina 32.65 km. U sklopu petlje „Merošina 1“ izgrađen je nadvožnjak koji je oslonjen na devet stubnih mesta na međusobnom rastojanju od oko 25 m. Svaki stub je fundiran na šipovima i to sa predloženim rasporedom od 2 šipa u grupi. U radu su na osnovu izvršenih geotehničkih istraživanja terena, analizirani rezultati nosivosti vertikalno opterećenog šipa prečnika 1.2 m i dužine šipa od  $L = 18$  m. Analiza je izvršena primenom različitih metoda koristeći rezultate statičke penetracije-CPT, laboratorijskih ispitivanja tla kao i probnog opterećenja šipa.

**Ključne reči:** petlja Merošina 1, šip, probno opterećenje šipa, projektni pristup, granična stanja.

**ANALYSIS OF THE CAPACITY OF A VERTICALLY LOADED PILE FOR THE  
CONSTRUCTION OF THE "MEROŠINA 1" LOOP ON THE E-80 HIGHWAY  
SECTION: NIŠ - MEROŠINA**

**Summary:** The construction of the E-80 highway has begun in Serbia, which will represent the traffic hub of the Western Balkans and will be part of the main regional transport network of Southeast Europe. Its total length through Serbia is 77 km, and the first section with a length of 5.5 km was completed and put into traffic at the end of July 2023. It is the first of four sections of Sector 1, with the length of 32.65 km. As part of the intersection "Merošina 1", an overpass was built, that is supported by nine pillar places at a distance of about 25 m from each other. Each pillar place is founded on piles with the proposed arrangement of 2 piles in a group. Based on the geotechnical investigations of the terrain, the results of the bearing capacity of a vertically loaded pile with a diameter of 1.2 m and a pile length of  $L = 18$  m were analyzed in the paper. The analysis were performed by applying different methods using the results of cone penetration test, laboratory tests of soil samples and also results of pile load test.

**Keywords:** "Merošina 1" loop, pile, pile load test, design approach, limit states.

<sup>1</sup> Prof. dr. dipl. inž. geol., Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Mast. inž. građ., Institut za ispitivanje materijala – IMS, Beograd,

<sup>3</sup> Dipl. inž. geol, TPA za obezbeđenje kvaliteta i inovacije, Beograd

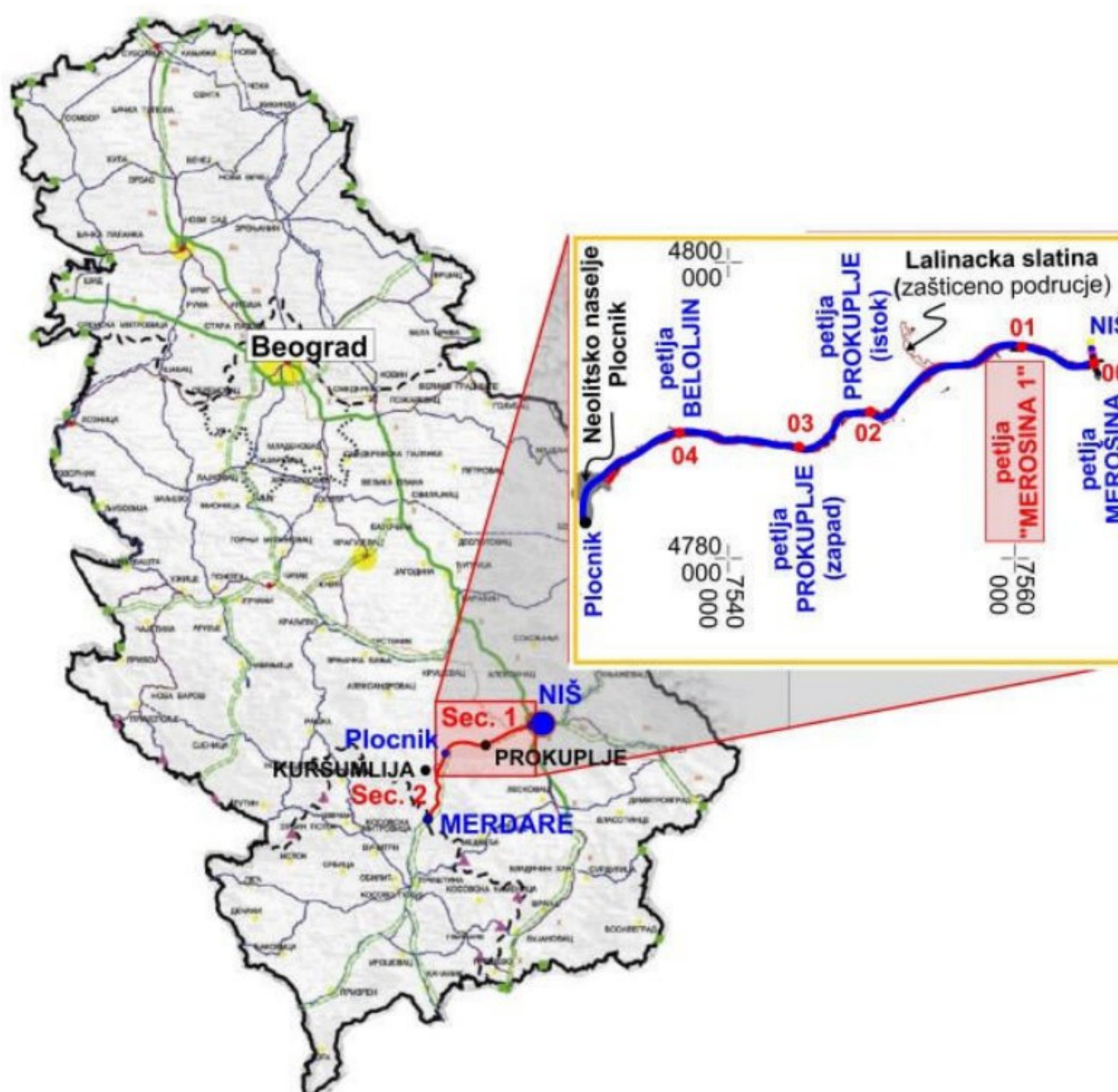
<sup>4</sup> Mr., dipl. inž. geol, TPA za obezbeđenje kvaliteta i inovacije, Beograd



## 1. UVOD

Izgradnja autoputa E-80 od Niša do Merdara, je od posebnog ekonomskog i društvenog interesa za R. Srbiju i Toplički kraj. Ukupna dužina trase autoputa je 77 km, i podeljena je na dva Sektora. Prvi Sektor kreće od isključenja sa autoputa E-75, a završava se blizu neolitskog naselja Pločnik tj. kod planirane petlje Beloljin, čija je ukupna dužina 32.65 km. Preostali deo trase pripada drugom Sektoru od petlje Beloljin do Merdara.

Petlja „Merošina 1“ predstavlja završetak prve deonice Sektora 1 čija je dužina 5.5 km. U sklopu petlje izgrađen je nadvožnjak pri samom kraju prve deonice, na zaravnjenom terenu bez izraženih reljefnih oblika sa približnim kotama između 254 i 257 m. Do lokacije nadvožnjaka dolazi se magistralnim putem Niš-Prokuplje-Kuršumlja, a sama lokacija je u neposrednoj zoni raskrsnice sa lokalnim putem Niš – Aleksandrovo - Merošina. U zoni ove petlje-nadvožnjaka, budući autoput se odvaja od trase postojećeg magistralnog puta, i severno od Merošine nastavlja ka Prokuplju (slika 1) [5].



Slika 1. Trasa autoputa sa karakterističnim detaljima na deonici Niš-Pločnik

## 2. GEOLOŠKA GRAĐA TERENA NA LOKACIJI PETLJE „MEROŠINA 1“

Za definisanje geološke građe i geotehničkih karakteristika terena na lokaciji petlje „Merošina 1“, izveden je zavidan obim terenskih i laboratorijskih istraživanja. Istraživanja su izvedena u tri faze. Prva faza urađena je za potrebe Idejnog projekta-IP, druga faza za potrebe Projekta za građevinsku dozvolu-PGD i treća faza obuhvatila je dopunska geotehnička istraživanja za potrebe izrade studije izvođenja-SI. Zbirni prikaz vrste i obima izvedenih geotehničkih istraživanja u zavisnosti od faze projektovanja petlje, prikazan je u Tabli br. 1 [4], [6].

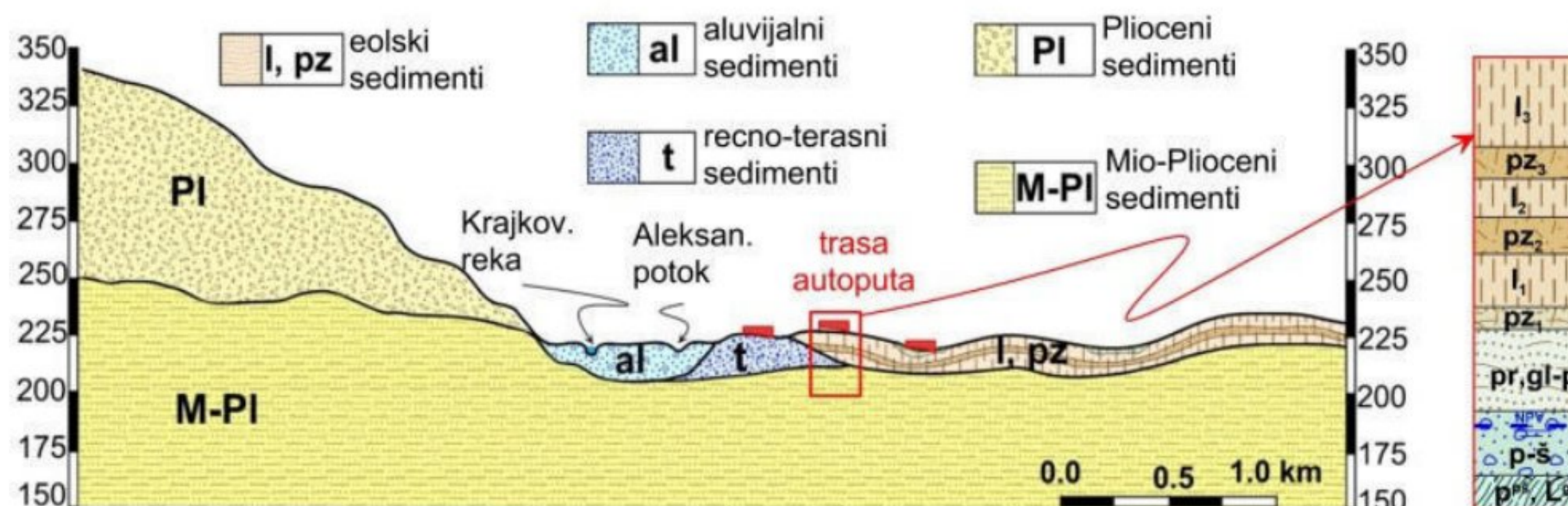


Geotehnički istražni radovi	I faza - Idejni projekat (2016-2017)	II faza - Proj. za građ. dozvolu (2020).	III faza - Studija izvođenja (2022)
Inženjerskogeološko kartiranje	inženjerskogeološka karta 1 : 2500	inženjerskogeološka karta 1 : 500	-
Istražno bušenje	3 istražne bušotine ukupne dužine 37.4 m (plitko fundiranje)	6 istražnih bušotina dubine od 19.8-25.6 m ukupne dužine 130.9 m	1 istražna bušotina DB-2 dubine 22.1 m.
SPT opiti	5 opita	7 opita	-
CPT opiti	-	6 opita	-
Geofizička ispitivanja	definisanje seizmičkog hazarda i određivanje projektnih parametara seizmičnosti	geoelektrično sondiranje – 7 ES Refrakciona seizmika – 4 profila dužine po 150 m	-
Laboratorijska geomehanička ispitivanja	7 uzoraka	36 uzoraka	4 uzorka
Probno opterećenje šipa	-	-	1 opit statičkog probnog opterećenja šipa

Tabela 1. Geotehnička istraživanja izvedena na lokaciji petlje „Merošina 1“

Od terenskih istraživanja, značajno je pomenuti i istraživanja koja se odnose na šire područje trase autoputa u fazi idejnog projekta, a koja su omogućila registrovanje krupnih – regionalnih struktura i dali ulazne podatke za ocenu seizmičke aktivnosti i njen uticaj na građenje nadvožnjaka na samoj petlji.

Trasa autoputa uglavnom prolazi preko blago zatalasanog reljefa koji u široj zoni petlje „Merošina 1“ pretežno izgrađuju vezane sitnozrne sredine, gde dominiraju prašnasti eolski sedimenti (Q<sub>1</sub>, pz – les i pogrebena zemlja) i sredine Neogenog kompleksa koje odgovaraju gornjem Miocenu i donjem Pliocenu (M-Pl - laporovito-glinoviti i prašnasto-peskoviti sedimenti). Inženjerskogeološki presek terena, sa izraženim eolskim, aluvijalnim i rečno terasnim zaravnima, karakterističan za širu zonu petlje „Merošina 1“, prikazan je na Slici 2 [5].



Slika 2. Karakterističan geološki presek terena u zoni petlje „Merošina 1“

U zoni petlje „Merošina 1“ konstatovana su tri sloja lesa koji su razdvojeni slojevima pogrebene zemlje. Širi prostor obuhvata i pritoke Krajkovačke reke, gde su konstatovani aluvijalni i aluvijalno proluvijalni sedimenti heterogenog litološkog sastava, nastali difuznim spiranjem, transportom povremenih voda i gravitacijom. Tereni pobrđa su prekriveni deluvijalnim, proluvijalnim i deluvijalno-proluvijalnih sedimenata. Neogeni



sedimenti zastupljeni su u podini kvartarnih sedimenata na čitavom istražnom prostoru. Razlikuju se dva horizonta: donji - u kome preovlađuju sedimenti finoznog sastava i gornji – izgrađen pretežno od peskova sa retkim proslojcima peskovitih glina i sočivima šljunka. U zoni petlje izdvojen je mlađi neogeni kompleks veoma heterogenog litološkog sastava sa čestim facijalnim promenama. Glavni litološki predstavnici su: laporovite gline, lapori, peskovi i slabo vezani peščari povremeno i šljunkovi, a lokalno u laporovitim sredinama i veoma tanji proslojci uglja.

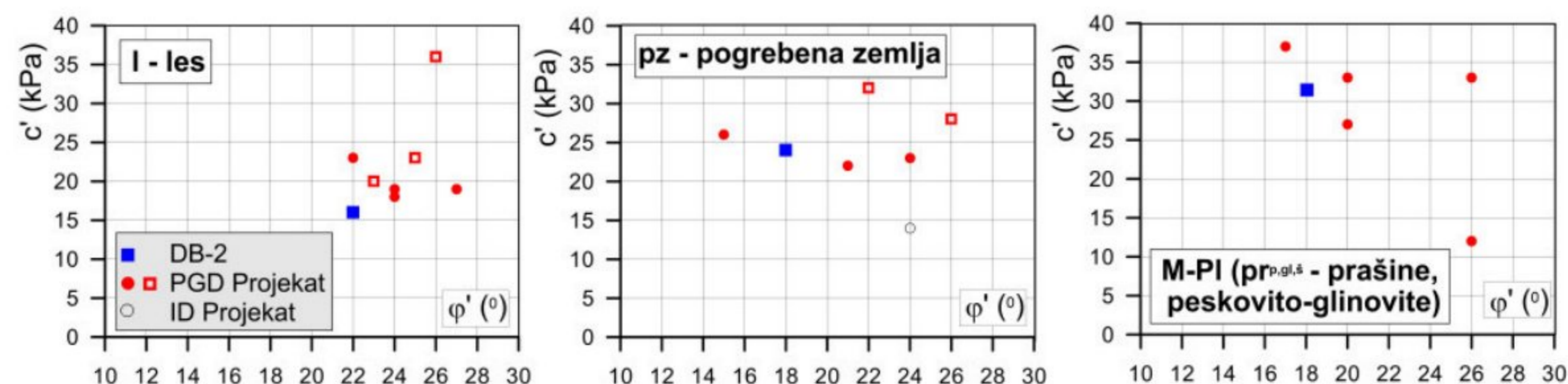
Na lokaciji petlje „Merošina 1“ izdvojena su dva osnovna geološka kompleksa: prašinstva tla Pleistocene starosti koja u potpunosti po genetskom sastavu odgovaraju eolskim sedimentima (izdvojena su tri sloja padinskog lesa i tri sloja pogrebene zemlje, slika 3). Ispod ovih eolskih sedimenata, nalazi se Mio-Plioceni kompleks koji je izrazito heterogenog litološkog sastava sa dominantnim učešćem prašinstvo-glinovite frakcije, a u dubljim delovima i prašinstvo peskovitim, lokalno šljunkovitim. Izmereni nivo podzemne vode u istražnim bušotinama koje su izvedene za potrebe PGD, kretao se od 18.3 – 19.1 m, dok je u dopunskoj istražnoj bušotini DB-2, došlo do blagog spuštavanja nivoa koji je u trenutku istraživanja iznosio 19.7 m [6].



Slika 3. Fotografija jezgra dopunske bušotine DB-2

### 3. DEFINISANJE GEOTEHNIČKIH MODELA TERENA

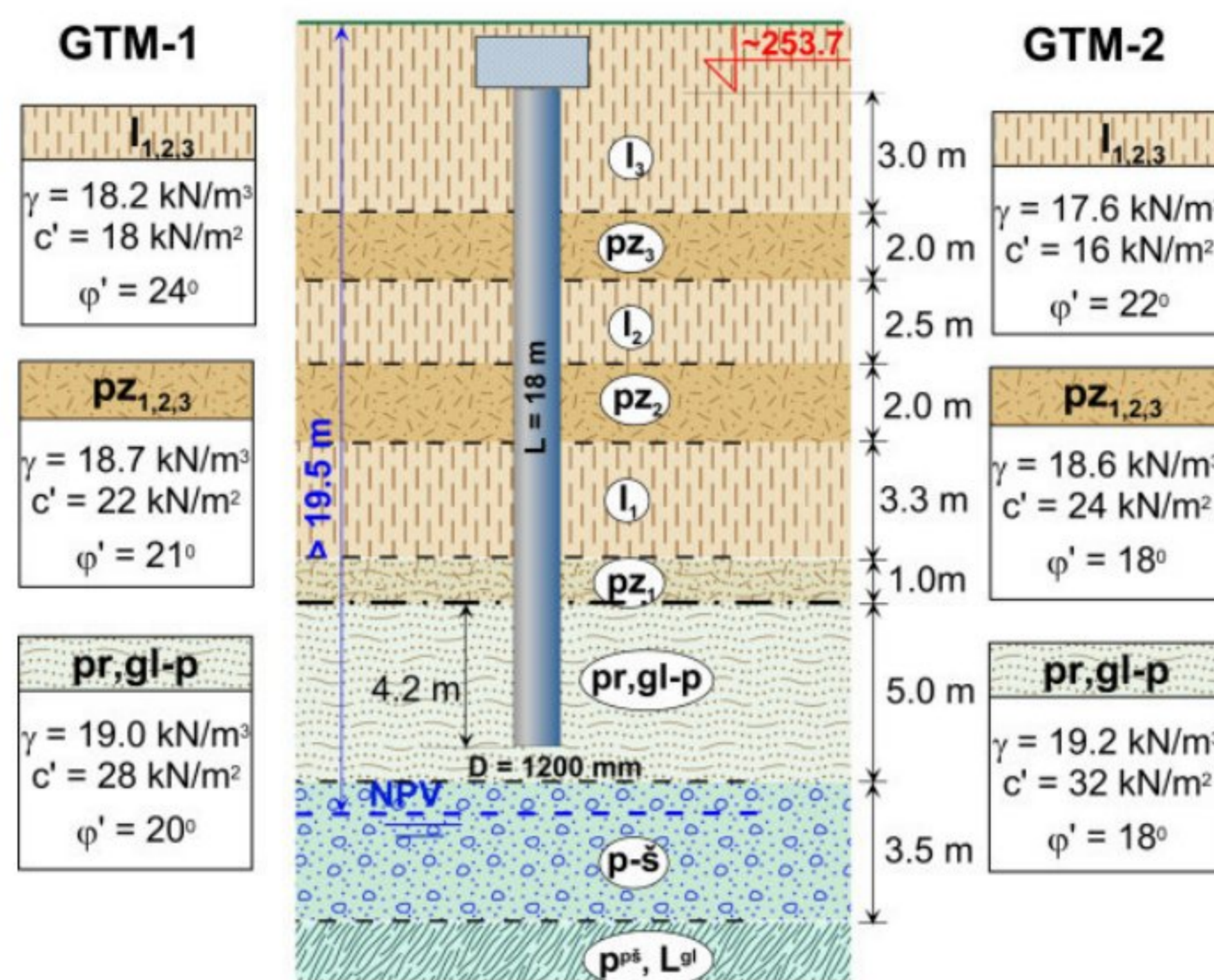
Laboratorijskim ispitivanjima uzoraka tla, određivani su identifikaciono klasifikacioni pokazatelji kao i otporno deformabilne karakteristike. Rezultati parametara čvrstoće smicanja, tokom svih faza istraživanja za izdvojene sedimente na lokaciji petlje, prikazani su na slici 4. Najveći broj ispitivanja urađen je za potrebe izrade PGD, gde su pored opita direktnog smicanja, parametri čvrstoće smicanja određivani i na osnovu opita triaksijalne kompresije.



Slika 4. Zbirni prikaz parametara čvrstoće smicanja

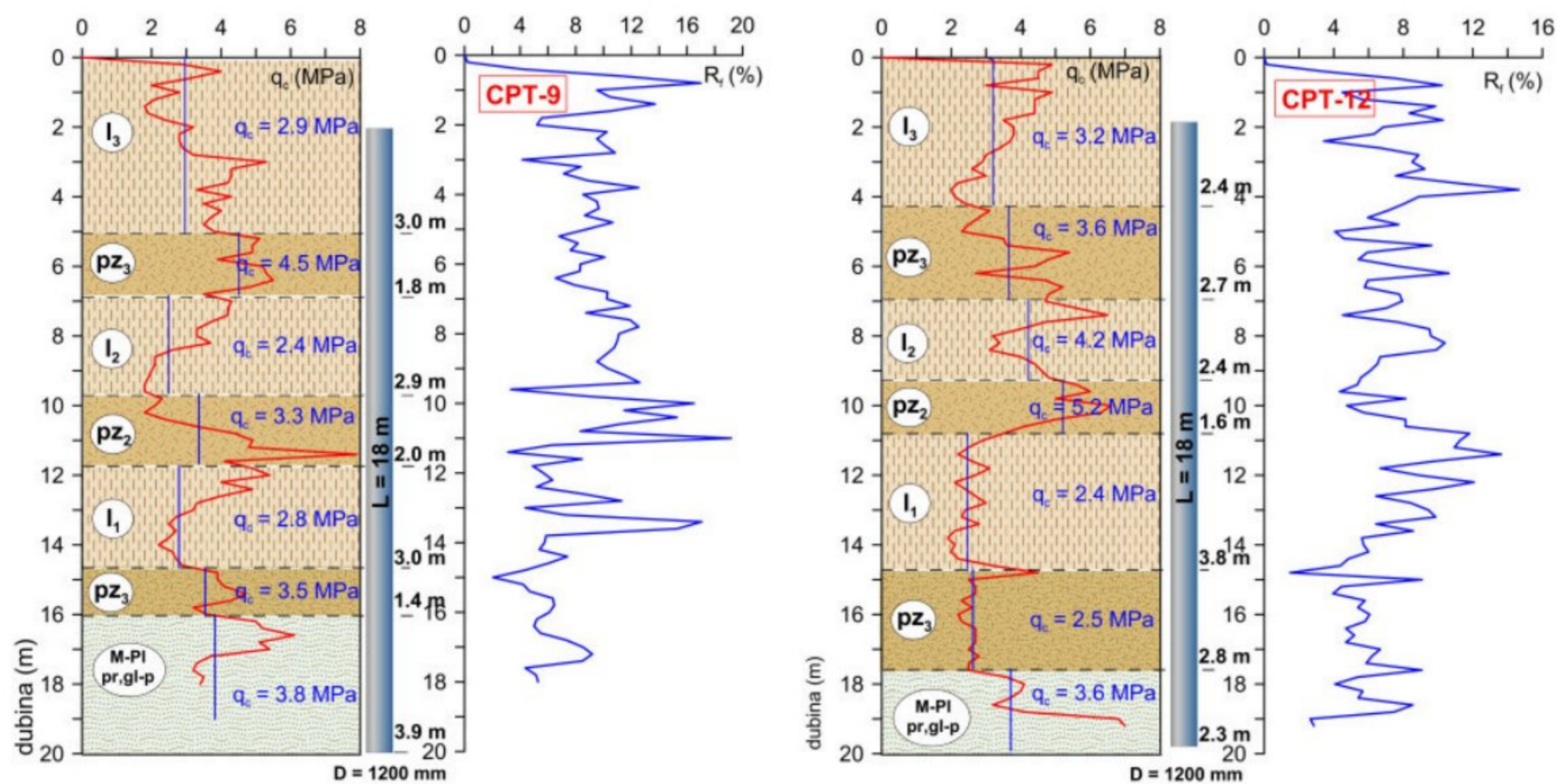


Dobijeni podaci omogućili su da se formiraju dva geotehnička modela terena na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja (slika 5). Prvi geotehnički model-GTM1 formiran je na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja koja su izvedena u okviru I i II faze istraživanja, dok su za definisanje drugog geotehničkog modela-GTM2, korišćeni samo rezultati dopunskih istraživanja izvedeni u zoni probnog šipa. S obzirom na dubok nivo podzemne vode, parametri čvrstoće smicanja su definisani za drenirane uslove.



Slika 5. Usvojeni proračunski modeli tla na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja

Duž ose nadvožnjaka izvedeno je 6 opita statičkih penetracija (CPT-7 do CPT-12). S obzirom da je nadvožnjak oslonjen na 9 stubova, ovim opitima nisu obuhvaćena sva stubna mesta. Međutim, ako se uzme u obzir dužina nadvožnjaka od  $L = 171$  m, može se reći da su opiti izvedeni na približnom rastojanju od oko 30-35 m. Za potebe analize korišćena su dva opita i to CPT-9 koji je najbliži probnom šipu kao i opit CPT-12, čija je dubina nešto veća u odnosu na projektovanu dužinu šipova. Rezultati ovih opita sa interpretacijom za definisanje proračunskih modela šipa, prikazani su na slici 6.



Slika 6. Proračunski geotehnički modeli šipa na osnovu CPT opita



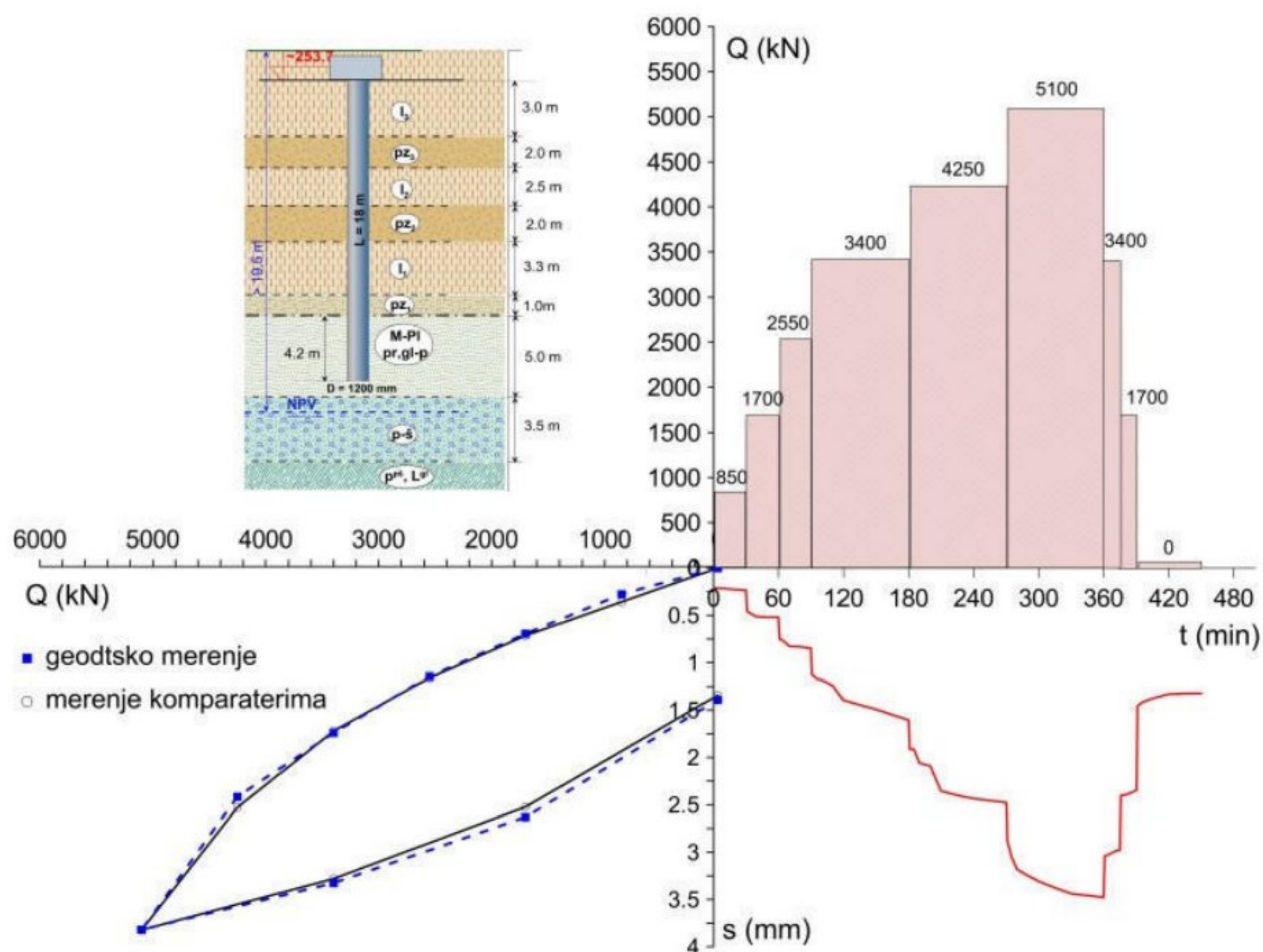
#### 4. IZVOĐENJE OPITA PROBNOG OPTEREĆENJA ŠIPA

Probno opterećenje izvedeno je na armiranobetonskom bušenom šipu prečnika  $D = 1.2$  m i dužine  $L = 18.0$  m. Da bi se postigao kontrateret, izgrađena je specijalna čelična greda koja je debelim limovima zavarena za dva susedna šipa koji su fundirani na dovoljnom rastojanju od ose šipa (slika 7).



Slika 7. Konstrukcija sistema za opit probnog opterećenja šipa

Za ostvarivanje vertikalne pritiskajuće sile na šip korišćena je hidraulička presa kapaciteta od približno 6000 kN, koja je centrično postavljena na glavu šipa. Presa je preko creva sa visokim pritiskom, povezana sa hidrauličkom pumpom. Između hidraulične prese i grede koja povezuje pomoćne šipove, kao i između prese i glave šipa, postavljen je podmetač od čelične ploče dovoljno otporan da ravnomerno prenese silu na gornju konstrukciju, odnosno na šip. Za merenje pomeranja glave šipa, korišćena su četiri digitalna komparatera koji su vezani za referentne čelične grede pod uglom od  $90^\circ$ . Ovaj sistem referentnih greda predstavlja međusobno kruto povezan skelet, koji se preko četiri oslonca oslanja na tlo. Uporedo sa merenjem vertikalnog pomeranja šipa komparaterima, vršeno je i geodetsko merenje vertikalnog pomeranja preko dve tačke na naspramnim stranama glave šipa. Rezultati opita probnog opterećenja šipa prikazani su na slici 8.



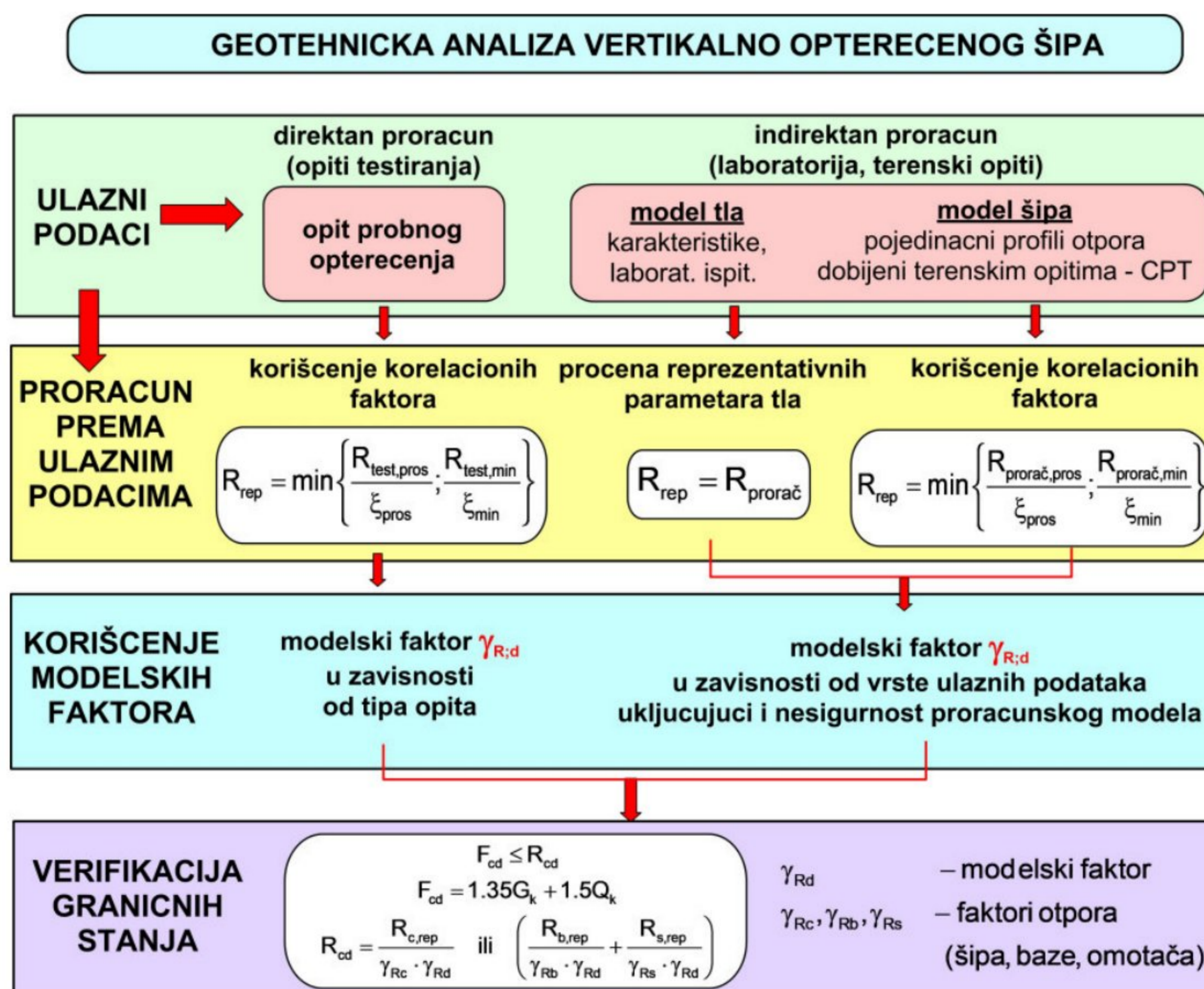
Slika 8. Prikaz rezultata probnog opterećenja šipa



Pri opterećenju vrednost svakog inkrementa aplicirane sile održavana je na konstantnoj vrednosti uz postizanje uslova brzine konsolidacije od 0.25mm/h. Pri svakom stupnju opterećenja vrednost aplicirane sile održavana je na konstantnu vrednost maksimalno do 90 min, dok je svaki stupanj rasterećenja održavan 15 min, a za potpuno rasterećenje primenjen je period od 60 min.

## 5. GEOTEHNIČKA ANALIZA VERTIKALNO OPTEREĆENOG ŠIPA

Prilikom analize vertikalno opterećenog šipa, korišćeni su rezultati opita testiranja (opit probnog opterećenja šipa) kao i opšte prihvaćene indirektno metode zasnovane na modelima tla (laboratorijski određenim parametrima čvrstoće smicanja) i modelima šipa (korišćenjem rezultata CPT opita). Opšta primenjena metodologija proračuna prikazana je na slici 9.



Slika 9. Prikaz rezultata probnog opterećenja šipa

Geotehnička analiza urađena je u skladu sa standardom SRPS EN 1997-1, uzimajući u obzir nacionalni prilog koji podrazumeva korišćenje projektnog pristupa DA-2, sa sledećom kombinacijom skupova parcijalnih koeficijenata [1], [7]:

$$"A1" + "M1" + "R2" \quad (1)$$

Za potrebe proračuna neophodno je poznavanje vrednosti parcijalnih koeficijenata za dejstva ( $\gamma_F$ ) i uticaje dejstva ( $\gamma_E$ ), za parametre tla ( $\gamma_M$ ) i za koeficijente otpora ( $\gamma_R$ ).



Vrednosti ovih koeficijenata prikazane su u Tabeli 2, dok je predložena vrednost modelskog faktora prema nacionalnom prilogu SRPS EN 1997-1/NA,  $\gamma_{Rd} = 1.5$ .

Dejstva „A1“		Parametri tla „M1“			Otpori za šipove „R2“		
stalno	povremeno	zap. tež.	ugao unutrašnjeg. trenja	kohezija	šip	baza	omotač
$(\gamma_G)$	$(\gamma_Q)$	$(\gamma_\gamma)$	$(\gamma_{\varphi'})$	$(\gamma_c')$	$(\gamma_t)$	$(\gamma_b)$	$(\gamma_s)$
1.35	1.5	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1

Tabela 2. Vrednosti parcijalnih koeficijenata prema nacionalnom prilogu SRPS EN 1997-1/NA

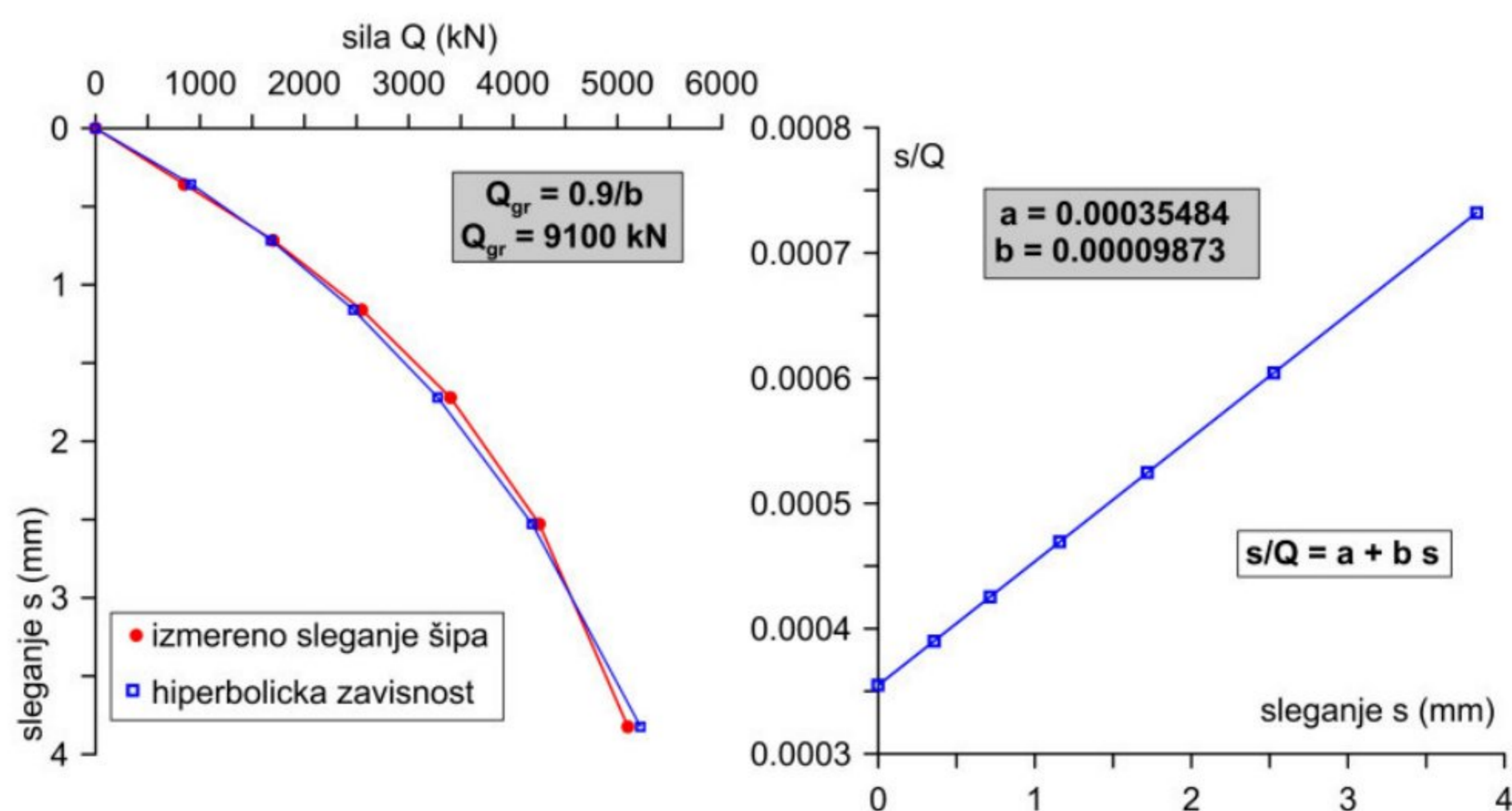
## 5.1. Analiza rezultata probnog opterećenja šipa

Kada se analiza vrši na osnovu rezultata probnog opterećenja šipa, dobijene vrednosti se redukuju u zavisnosti od broja izvedenih opita probnog opterećenja, preko korelacionih faktora  $\xi_1$  i  $\xi_2$  čije se vrednosti kreću od min.  $\xi_1 = \xi_2 = 1.0$  do max.  $\xi_1 = \xi_2 = 1.4$  (EN 1997 -1:2004 Tabela A.9.) i to prema sledećim jednačinama

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t}; \quad R_{c;k} = \min \left\{ \frac{(R_{c;m})_{sred}}{\xi_1}, \frac{(R_{c;m})_{min}}{\xi_2} \right\} \quad (2)$$

gde je:  $(R_{c;m})_{sred}$  – srednja vrednost graničnih nosivosti šipa u odnosu na broj opita probnog opterećenja, a  $(R_{c;m})_{min}$  – dobijena minimalna vrednost granične nosivosti šipa iz izvedenih opita probnog opterećenja.

Sa slike 8 se može videti da šip tokom probnog opterećenja nije dostigao granično opterećenje. Pojedine definicije loma za granično opterećenje šipa proglašavaju silu koja utisne šip za veličinu koja je jednaka nekom procentu prečnika šipa (EC7 predlaže 10 %) [2]. U ovom radu, interpretacija je izvršena korišćenjem hiperboličkog odnosa između sile  $Q$  i sleganja šipa (Chin-Kondner, 1970), kao i grafička metoda Mazurkiewicza (1972). Rezultati sprovedene analize primenom hiperboličkog odnosa, prikazani su na slici 10, gde sračunate vrednosti  $a$  i  $b$  predstavljaju parametre prave transformisane hiperbole, koji su dobijeni iz merenih veličina sleganja, pomoću metode najmanjih kvadrata [2], [3], .



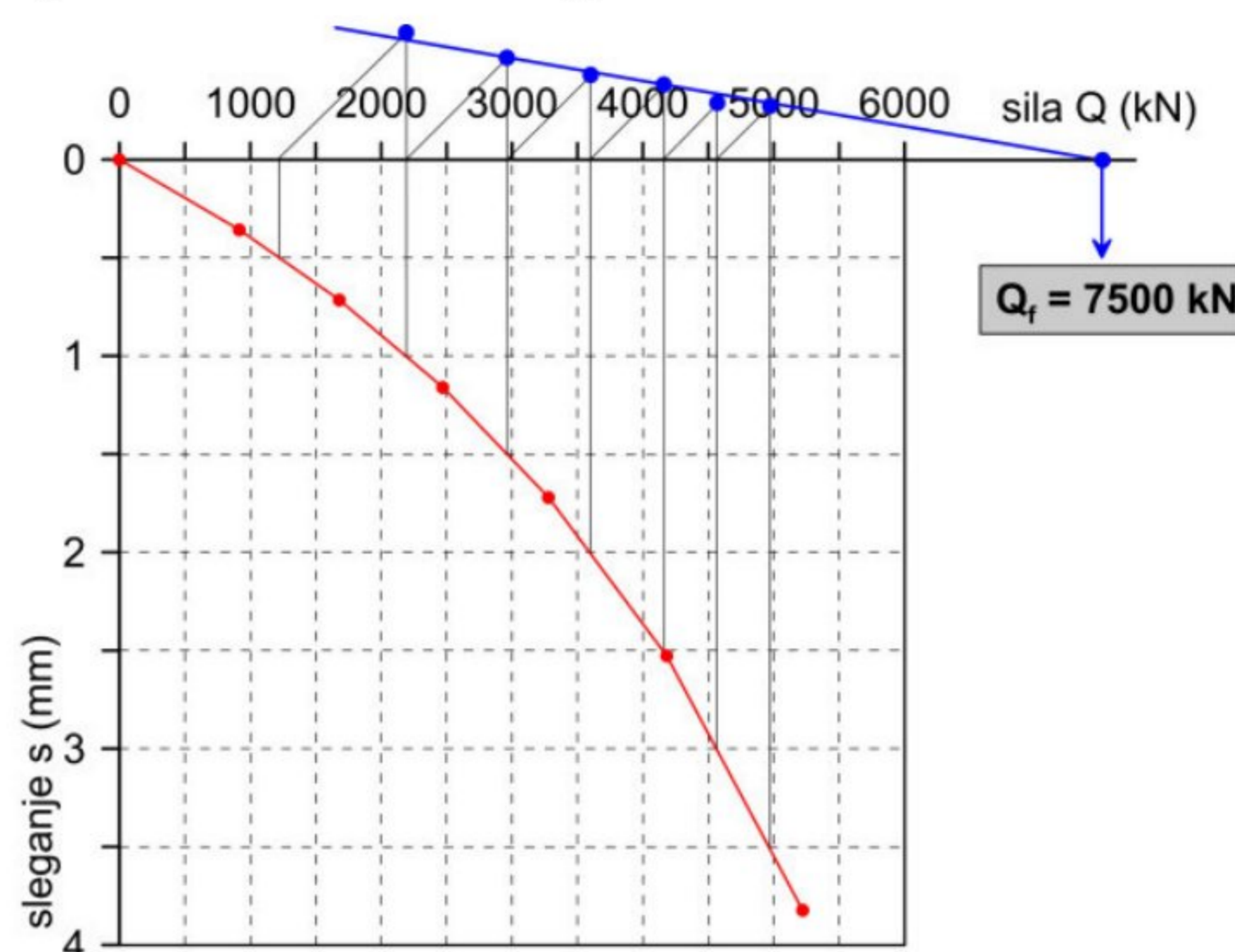
Slika 10. Prikaz definisanja graničnog opterećenja šipa na osnovu hiperboličke zavisnosti



Kako je na lokaciji nadvožnjaka izveden samo jedan opit probnog opterećenja šipa, to su vrednosti  $(R_{c,m})_{sred}$  i  $(R_{c,m})_{min}$  identične, kao i vrednosti korelacionih faktora  $\xi_1 = \xi_2 = 1.4$ . Prema projektnom pristupu „DA2“, ovako dobijene vrednosti se koriguju i parcijalnim faktorom otpornosti  $\gamma_t = 1.1$ , pa je proračunska nosivost šipa:

$$R_{c;k} = \min \left\{ \frac{9100}{1.4} \right\} = 6500 \text{ kN}; \quad R_{c;d} = \frac{6500}{1.1} = 5909 \text{ kN} \quad (3)$$

Analiza je sprovedena i na osnovu grafičke metode Mazurkiewicza (slika 11).



Slika 11. Prikaz definisanja graničnog opterećenja šipa korišćenjem metode Mazurkiewicza

$$R_{c;k} = \min \left\{ \frac{7500}{1.4} \right\} = 5357 \text{ kN}; \quad R_{c;d} = \frac{5357}{1.1} = 4870 \text{ kN} \quad (4)$$

## 5.2. Analiza šipa zasnovana na modelima tla – laboratorijska ispitivanja

Šipovi prenose opterećenje na tlo preko površine baze šipa i površine po omotaču šipa, pa se njihova nosivost računa na sledeći način:

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t}; \quad R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s} \quad (5)$$

gde je:  $R_{b,k}$  - granična nosivost baze šipa,  $R_{s,k}$  - granična nosivost omotača šipa, a  $\gamma_b$ ,  $\gamma_s$ , su parcijalni faktori otpornosti za ukupnu nosivost odnosno pojedinačnu nosivost baze i omotača. Kada se za proračun koriste indirektno zasnovane metode na modelima tla (parametrima čvrstoće smicanja), granična nosivost baze, odnosno granična nosivost omotača šipa, izračunavaju se na sledeći način

$$R_{b,k} = A_b \cdot q_{b,k}; \quad R_{s,k} = \sum_i A_{s,i} \cdot q_{s,k,i} \quad (6)$$

gde je:  $q_{b,k}$  - granični pritisak tla u nivou baze šipa,  $q_{s,k}$  - granična vrednost otpora smicanja po omotaču šipa,  $A_b$  - površina baze šipa,  $A_s$  - površina omotača šipa. Ovako dobijene vrednosti se redukuju modelskim faktorom ( $\gamma_{R,d}$ ), čija je vrednost prema



nacionalnom aneksu prSRPS EN 1997-1\_NA,  $\gamma_{R,d} = 1.5$ . Analiza je urađena korišćenjem Mayerhofog rešenja gde se karakteristične vrednosti graničnog opterećenja tla u nivou baze šipa, odnosno karakteristična otpornost trenjem duž omotača šipa, računaju na sledeći način

$$q_{b,k} = c'_k \cdot N_c^* + K_0 \cdot \sigma'_{v,i} \cdot N_q^*; \quad q_{s,k,i} = c'_{k,i} + K_{0,i} \cdot \sigma'_{v,i} \cdot \tan \varphi'_{k,i} \quad (7)$$

Rezultati sprovedene analize za oba geotehnička modela, prikazani su u Tabeli 3.

model tla	nosivost baze šipa		nosivost omotača šipa		proračunska nosivost šipa
	$R_{b,k}$ (kN)	$R_{b,d}$ (kN)	$R_{s,k}$ (kN)	$R_{s,d}$ (kN)	$R_{c,d}$ (kN)
GTM-1	5289	3205	4262	2583	5788
GTM-2	4482	2716	4067	2465	5181

Tabela 3. Karakteristične nosivosti šipa prema analiziranim geotehničkim modelima tla

### 5.3. Analiza nosivosti na osnovu modela šipa – rezultati CPT opita

Analiza nosivosti šipa na osnovu modela šipa, tj. korišćenjem pojedinačnih profila dobijenih terenskim opitom statičke penetracije – CPT, izvršena je primenom metode Bustamanate & Gianceselli (poznata i kao LCPC metoda, 1982), gde se karakteristične vrednosti graničnog opterećenja tla u nivou baze šipa, odnosno karakteristična otpornost trenjem duž omotača šipa, računaju na sledeći način

$$q_{b,k} = q_{cb} \cdot k_b; \quad q_{s,k,i} = \frac{q_{cs,i}}{k_{s,i}} \quad (8)$$

U gornjim jednačinama su  $k_b$  i  $k_s$  bezdimenzioni koeficijenti koji zavise od vrste tla i njegove penetracione otpornosti. Za otpornost tla u nivou baze šipa, usvaja se srednja aritmetička vrednost merena na visini između +aD iznad baze i -aD ispod baze šipa, uz prethodnu korekciju krive. Vrednost otpornosti duž omotača šipa zavisi od vrste tla i izmerenog otpora vrha konusa, uz napomenu da je za sve sredine definisana maksimalna vrednost koja zavisi od načina izvođenja šipa i vrste tla.

Sam postupak proračuna je sličan postupku probnog opterećenja šipa. I u ovom slučaju se dobijene vrednosti redukuju u zavisnosti od broja analiziranih modela šipa koji se formiraju na osnovu CPT opita. Međutim, vrednosti korelacionih faktora su nešto drugačije i za slučaj analize dva modela šipa oni su  $\xi_3 = 1.35$ , odnosno  $\xi_4 = 1.27$  (prSRPS EN 1997 -1/NA Tabela A.10.), tako da se granična nosivost šipa računa prema sledećim jednačinama

$$R_{c,d} = \frac{R_{b,k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s,k}}{\gamma_s}; \quad R_{b,k} = \min \left\{ \frac{(R_{b,m})_{sred}}{\xi_3}, \frac{(R_{b,m})_{min}}{\xi_4} \right\}; \quad R_{s,k} = \min \left\{ \frac{(R_{s,m})_{sred}}{\xi_3}, \frac{(R_{s,m})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad (9)$$

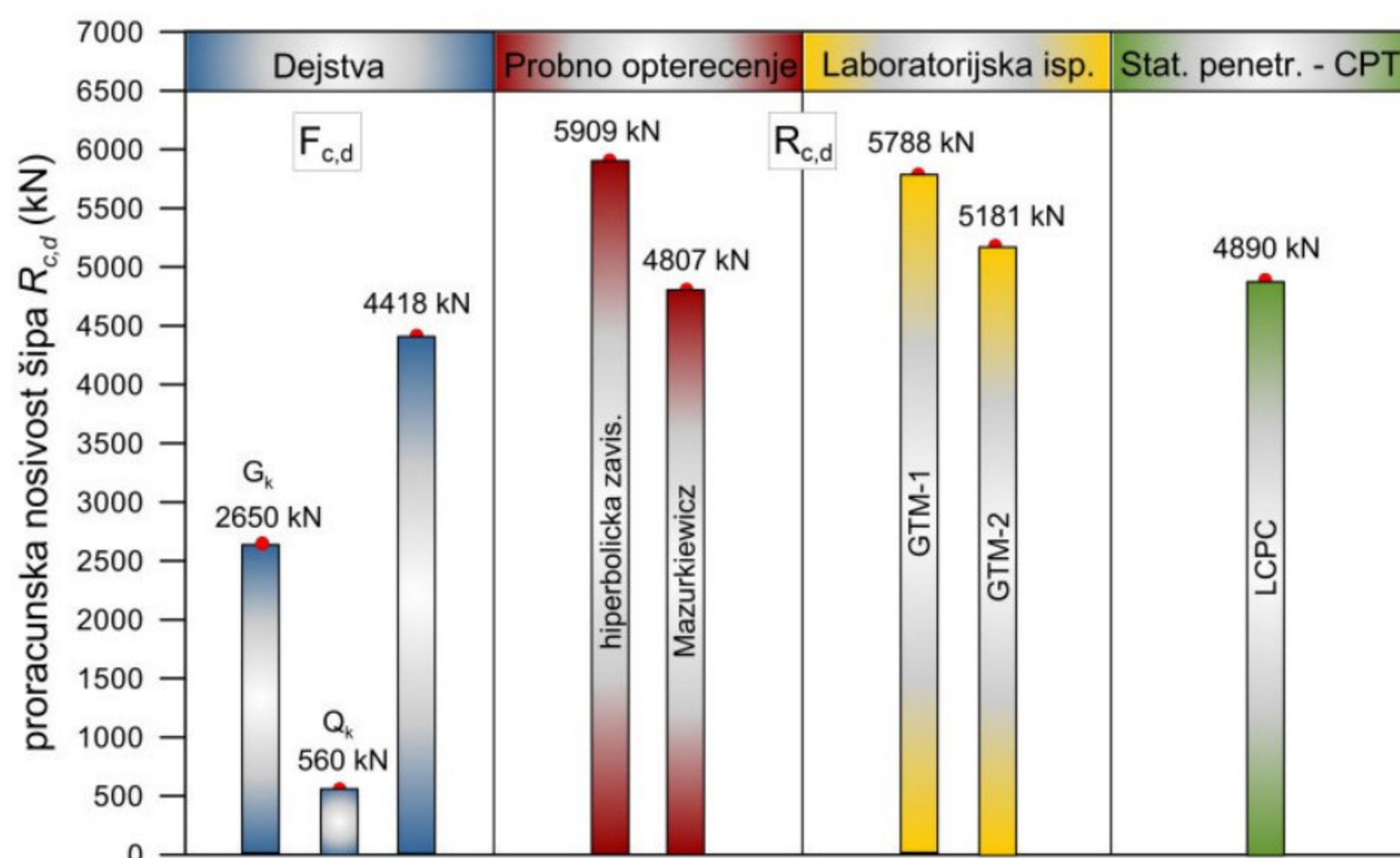
Prema tome, kada se za proračun koristi više modela šipa, onda se računa prosečna kao i minimalna vrednost nosivosti baze i nosivosti omotača za svaki model šipa, a kao krajnji rezultat usvaja se manja vrednost. Rezultati sprovedene analize za oba modela šipa koji su prikazani na slici 6, prikazani su u Tabeli 4.



model tla	nosivost baze šipa		nosivost omotača šipa		proračunska nosivost šipa
	$R_{b,k}$ (kN)	$R_{b,d}$ (kN)	$R_{s,k}$ (kN)	$R_{s,d}$ (kN)	$R_{c,d}$ (kN)
CPT-9	1718		5509		
CPT-12	1628		5671		
Sred.	1673	1126	5590	3764	
Min.	1628	1165	5509	3943	
$R_{c,d}$ (kN)					4890

Tabela 4. Karakteristične nosivosti šipa prema analiziranim modelima šipa

U prethodnim analizama nisu prikazani uticaji efekta opterećenja, koji se u proračun uvode preko parcijalnih faktora dejstva ( $\gamma_F$ ). Granično stanje loma provereno je za slučaj stalnog dejstva – parcijalni faktor  $\gamma_G$  i za slučaj promenljivog dejstva – parcijalni faktor  $\gamma_Q$ . Analiza je urađena za stalno opterećenje od  $G_k = 2650$  kN i za promenljivo opterećenje od  $Q_k = 560$  kN. Zbirni prikaz rezultata proračunske nosivosti šipa ( $R_{c,d}$ ), u zavisnosti od primenjenih metoda proračuna, prikazan je na slici 12. Sa slike se vidi da dobijene vrednosti variraju u zavisnosti od ulaznih podataka, ali su proračunske nosivosti šipa u svim analiziranim slučajevima veće od proračunske vrednosti aksijalne sile pritiska ( $F_{c,d}$ ), bez obzira da li su primenjene direktne ili indirektno metode proračuna ( $F_{c,d} \leq R_{c,d}$ ). Treba napomenuti da je prilikom analize zanemarena težina šipa, s obzirom da šip ne izlazi iznad površine terena i da se ne očekuje uticaj negativnog trenja.



Slika 12. Zbirni prikaz rezultata proračunske nosivosti šipa u zavisnosti od metoda proračuna

## 6. ZAKLJUČAK

Treba naglasiti da je EC 7 standard uveo novi koncept projektovanja/proračuna preko „graničnih stanja“. Suština koncepta „graničnih stanja“ jeste izbegavanje njihovog prekoračenja. Naime, prekoračenje graničnog stanja podrazumeva da konstrukcija/građevina više ne ispunjava relevantne kriterijume za projektovanje. To mogu biti različite nesigurne situacije, oštećenje konstrukcije, ekonomski gubici, a



izbegavanje takvih graničnih stanja se postiže zahtevima projekta kako bi se izbegao lom tla ispod temelja (dovodi do rušenja konstrukcije) ili izbeglo sleganje koje u krajnjem slučaju može da dovede do rušenja konstrukcije. Na sreću krajnja granična stanja koja dovode do potpunog rušenja objekta su prilično retka.

Analize su urađene prema graničnim stanjima u skladu sa SRPS EN 1997-1:2017 standardom, odnosno predlogom nacionalnog anaksa prSRPS EN 1997-1/NA 2020. Koristeći preporuke koje su date u EC 7, dobijeni rezultati na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja i rezultata opita statičke penetracije (CPT), pokazali su relativno dobro sleganje sa rezultatima probnog opterećenja šipa. Međutim, treba reći da se opitom probnog opterećenja šipa obuhvata više faktora koji utiču na nosivost šipa, a eliminiše se nepouzdanost određenih teorijskih i empirijskih rešenja.

## 7. REFERENCE

- [1] Frank, R. (2008). Evaluation of Eurocode 7 – Two pile foundation design examples, International seminar on EUROCODE 7 and geotechnical aspects of EUROCODE 8, Struga, R. Macedonia, pp. 88-96.
- [2] Rakić, D., Ćorić, S. and Šušić, N. (2010). Application of EC 7 standards in defining geotechnical conditions for the kiln foundation of cement factory “Holcim – Serbia”, Proceedings of the 14th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering DECGE2010, Bratislava, Slovakia, CD-Session 2.
- [3] Rakić, D., Šušić, N., Basarić, I., Đoković, K., Berisavljević, D. (2014). Load test of Large Diameter Piles for the Bridge Across Danube River in Belgrade, 15th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering DECGE2014 – “Geotechnics of Roads and Railways”, Vienna, Austria, Conference Proceedings Volume 2, pp. 867-872.
- [4] Rakić, D. i dr. (2017). Idejni projekat i studija izvodljivosti sa procenom uticaja na životnu sredinu za izgradnju autoputa E-80 (SEETO Ruta 7): od administrativnog prelaza Merdare do Niša preko obilaznice Prokuplja, deonica Niš – Pločnik, Sveska E22: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje objekata – mostovi i nadvožnjaci, 230 p.
- [5] Rakić, D.; Berisavljević, Z.; Basarić, I.; Bogdanović, S.; Janković, J. (2019). Geotechnical zoning of the terrain along the first section of E-80 highway in Serbia – SEETO route 7”, Proceedings of the XVII European Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering ECSMGE-2019, Geotechnical Engineering foundation of the future, Reykjavik, Iceland, 2019.
- [6] Rakić, D. i dr. (2020). Projekat za građevinsku dozvolu za autoputa E-80 (SEETO Ruta 7) od Niša (Merošina) do Pločnika (Beloljin) – I faza izgradnje, Deonica I: km: 0+477.675 – km: 5+670.055; Sveska WB18-SRB-TRA-01-TXT-E21.
- [7] SRPS EN 1997-1 Evrokod 7: Geotehničko projektovanje – Deo 1: Opšta pravila.