



## ISTRAŽIVA KI POTENCIJALI I PRIMJENA SUVREMENIH TEHNOLOGIJA U GEOTEHNICI NA KORIDORU VC

Doc.dr.sc. **Jasmin Bu o**, dipl.ing.gra .  
Izvršni direktor za projektiranje i gra enje  
JP Autoceste FBiH

**Sažetak:** Veliki infrastrukturni projekti kao što je izgradnja autoceste na Koridoru Vc istovremeno predstavljaju i zna ajan istraživa ki potencijal u smislu poboljšanja postoje e prakse i uvo enja novih tehnologija.

U lanku su navedena tri primjera inovativnog pristupa dimenzioniranju i realizaciji geotehni kih konstrukcija. Iako svaki primjer zasebno ne predstavlja ništa što ve nije poznato usko specijaliziranoj geotehni koj javnosti, njihova primjena u realnom vremenu tijekom izvo enja radova oslikava svojevrsnu evoluciju u pristupu i metodologiji kod izvo enja radova. Naime, prikupljanje i korištenje podataka proizašlih iz eksperimenata in situ u punoj veli ini, realiziranih prilikom izvo enja radova, ne predstavlja samo konkretnu implementaciju Eurocoda 7 na našim prostorima, ve ide i korak dalje u primjeni opservacionih metoda u prora unima. Na taj na in, strategija izvo a a se sve više zasniva na znanju što je u kona nici od izuzetnog interesa za investitora i društvo u cjelini. Prvi primjer tretira probno optere ivanje bušenih šipova izvedenim u flišu. U lanku je objašnjen prora un i dimenzioniranje pritisnutog šipa prema rezultatima eksperimentalnog ispitivanja stati kim probnim optere enjem. Dobiveni rezultati su uspore eni s rezultatima dobivenim primjenom važe e tehni ke regulative te su u tom smjeru izvedeni odre eni zaklju ci u pogledu validnosti teorijskog pristupa koji je tamo dat. Paralelno, ispitivanja na terenu su iskorištena u smislu optimizacije dimenzija šipova.

Drugi dio lanka predstavlja tipi an primjer primjene metode opažanja u tunelogradnji. Naime, prema dosadašnjoj praksi u BiH, ulazni geotehni ki parametri terena za projektiranje tunela su odre ivani uz nedovoljan obim prethodno izvedenih istražnih radova. Konsekvenca toga su projekti primarne podgrade izrazito konzervativni što redovno dovodi do zna ajnog probijanja budžeta prilikom izgradnje tunela. U lanku je prikazan odre eni oblik interaktivnog projektiranja, odnosno primjene numeri kih povratnih prora una u cilju prilago avanja projekta tunela stvarnim uvjetima na terenu što u kona nici dovodi do optimizacije tunelske podgrade.

Tre i dio opisuje tipi an primjer primjene inovativne tehnologije u tunelogradnji zasnovanoj na prikupljenim podacima s terena. Prema uobi ajenoj praksi, za armiranje primarne podgrade tunela od prskanog betona se upotrebljavaju armaturne mreže, iji je zadatak osigurati potrebnu nosivost i duktilnost primarne podgrade. Me utim, armiranje betona se može izvršiti i plasti nim mikrovlaknima koji ne zahtijevaju gotovo nikakvo dodatno vrijeme ugradnje što zna ajno pove ava u inkovitost u realizaciji. Mikroarmirani prskani beton do sada nije bio subjekt normiranja što ne poti e projektante na njegovu upotrebu iako predstavlja u odre enim situacijama zna ajno poboljšanje. Ovdje je opisano na koji na in se može prevazi i problem dimenzioniranja mikroarmiranog prskanog betona i omogu iti njegova upotreba.

**Klju ne rije i:** optimizacija geotehni kih konstrukcija, probno optere enje šipova, metoda opažanja, mjerni profil, povratna analiza, mikroarmirani beton



## RESEARCH POTENTIALS AND APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES IN GEOTECHNICS ON THE CORRIDOR VC

**Abstract:** Large infrastructural projects such as construction of the highway on the Vc Corridor are also a significant research potential in terms of improving the existing practices and introducing new technologies.

The paper outlines three examples of innovative approaches to sizing and realization of geotechnical structures. Although each of the examples separately does not represent anything that has not already been known to the narrowly specialized geotechnical public, their application in real time during execution of works illustrates a kind of evolution in the approach and methodology with execution of works. Namely, collection and use of data resulting from full-scale in situ experiments carried out during execution of works not only represents a concrete implementation of Eurocode 7 in our region, but also makes a further step in applying observation methods in calculations. In this way, strategies of contractors are increasingly based on knowledge which is eventually of great interest to investors and society as a whole.

The first example involves test loading of bored piles constructed in flysch. The paper explains calculations and sizing of a pressed pile according to results of experimental testing by static test loads. The results were compared with the results obtained by applying the applicable technical regulations, and to that end certain conclusions were drawn regarding the validity of the theoretical approach given therein. At the same time, the field tests were used in terms of optimizing the dimensions of piles.

The second part of the paper represents a typical example of application of the observation method in tunneling. Namely, according to present practice in BiH, input geotechnical parameters of terrain for tunnel design are determined with insufficient scope of previously performed research works. Designs of primary support work are consequently extremely conservative, which regularly leads to a significant exceeding of budgets during construction of tunnels. The paper presents a specific form of interactive design, or application of numerical backward calculations aimed at adjusting tunnel design to actual conditions on the ground, which ultimately leads to optimization of tunnel support work.

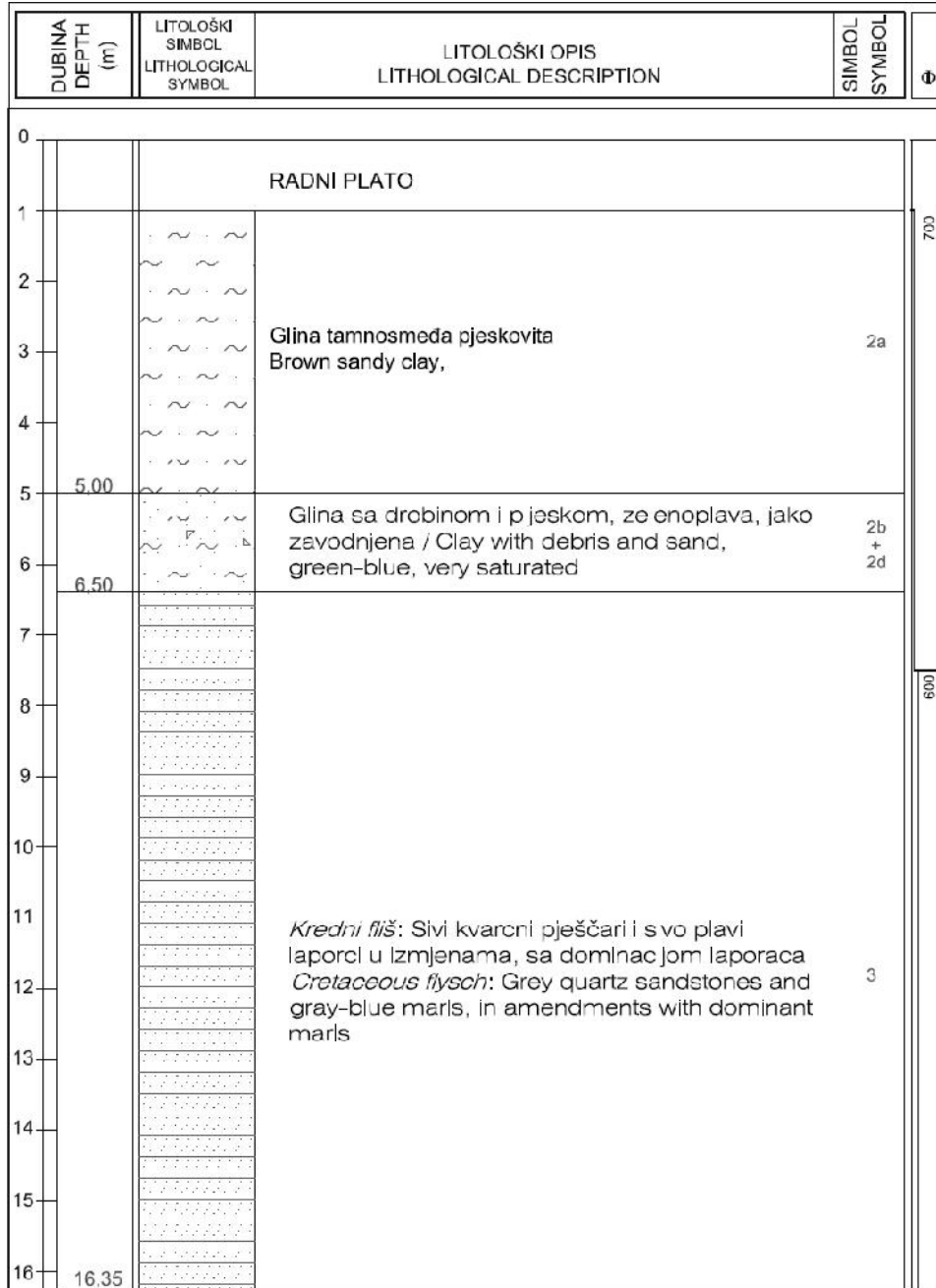
The third section describes a typical example of application of innovative technology in tunneling based on data collected from the field. It is a usual practice that reinforcing of primary tunnel supports made of shotcrete uses steel fabric, aiming to provide the necessary bearing capacity and ductility of primary support. However, reinforcing of concrete can also be performed by plastic microfibers that do not require almost any additional placing time, significantly increasing efficiency in realization. So far, fiber reinforced shotcrete has not been subject to standardization, which does not encourage designers to use it, although it represents a significant improvement in certain situations. It is described here how one can overcome the problem of dimensioning fiber reinforced shotcrete and make its use possible.

**Key words:** optimization of geotechnical structures, test load of piles, observation method, measured profile, backward analysis, fiber reinforced concrete



## 1. PROBNO OPTERE ENJE ŠIPOVA

### Most Gladno polje kod Sarajeva



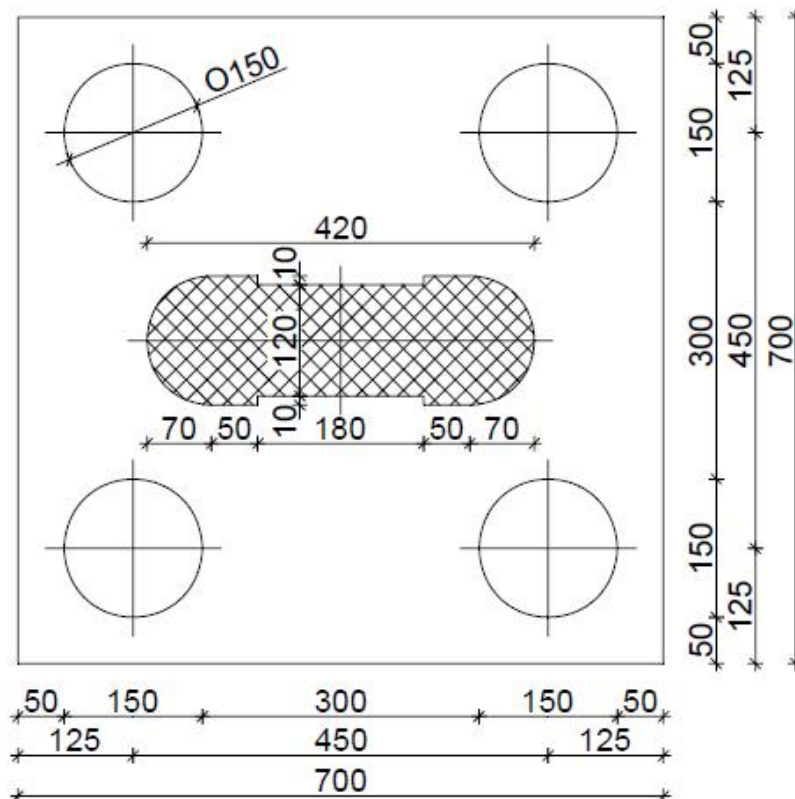
Geološki profil : glina do -6.5m  
supstrat : fliš

- Nemogu nost va enja neporeme enih uzoraka iz supstrata



## Geotehni ka misija G21 (Glavni projekt)

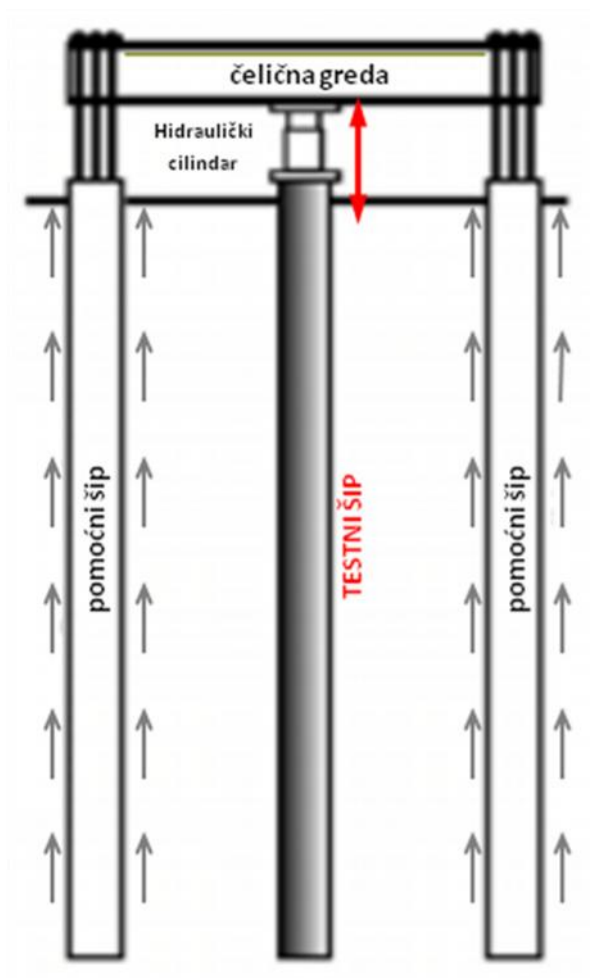
Nosivost šipa			
kohezija	$c =$	90	kPa
mobilizovana kohezija	$c_m =$	36	kPa
ugao unutrašnjeg trenja	$\varphi =$	26	°
mobilizovani ugao trenja	$\varphi_m =$	18,01	°
koeficijent nosivosti	$N_{cr} =$	60	
koeficijent nosivosti	$N_{qr} =$	8	
koeficijent nosivosti	$N_{\gamma r} =$	2,3	
koeficijent za aktivni pritisak tla	$k_a =$	0,562	
vertikalni pritisak tla	$\sigma_d =$	537,6	kPa
površina baze šipa	$A_q =$	1,767	m <sup>2</sup>
dozvoljeno specifično opterećenje	$q =$	3873,80	kN/m <sup>2</sup>
nosivosti baze šipa	$=$	6845,57	kN
nosivosti po omotaču šipa	$=$	7189,173	kN
<b>Ukupna nosivost po bazi i omotaču šipa</b> $N_{dop}$	$=$	<b>7189,173</b>	<b>kN</b>



- Nosivost baze šipova je zanemarena
- Nosivost omotača prema teoriji iz Pravilnika
- Ukupna dužina projektovanih šipova 1500mm = 416m

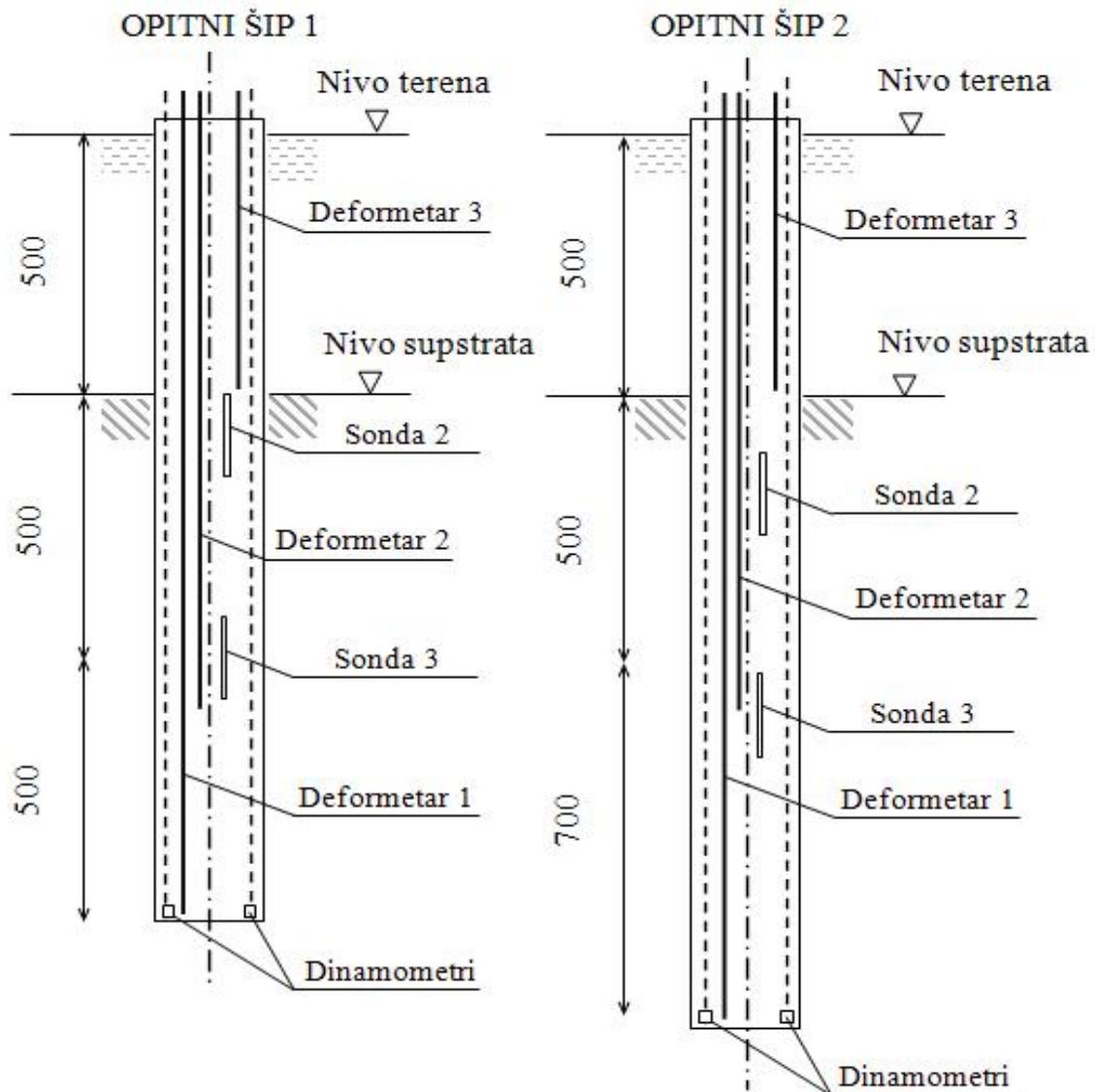


## Eksperiment in situ



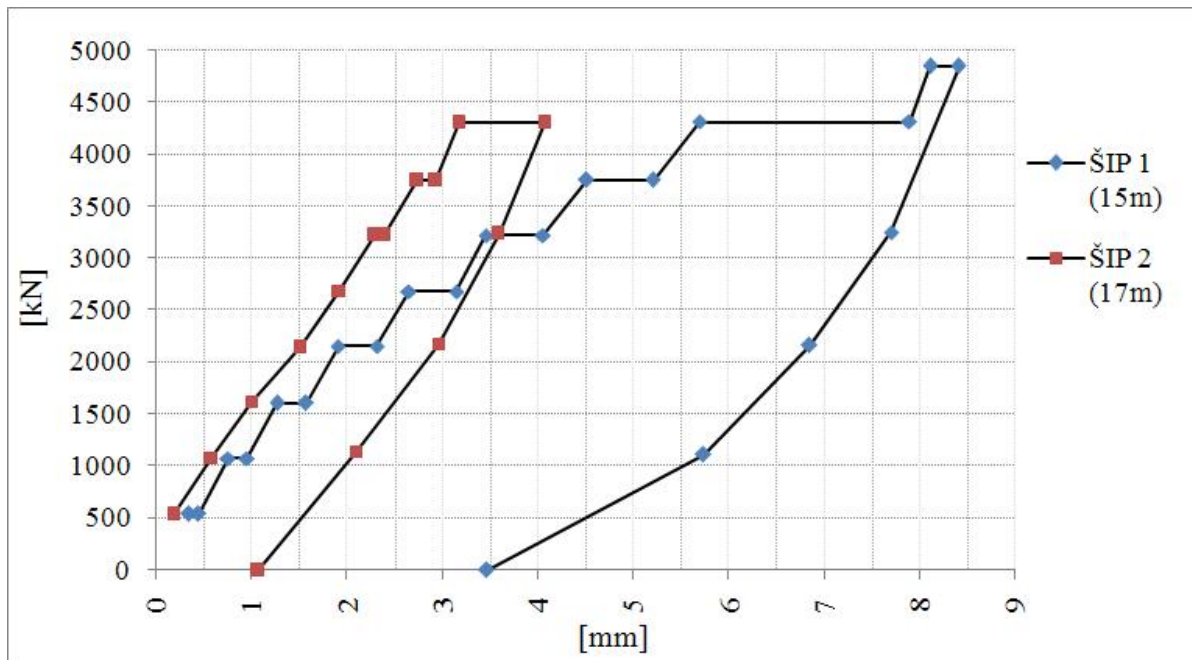


- Cijevni deformetri :  
postavljeni na tri nivoa te se pomo u njih može odrediti skra enje šipa
- Mjerne sonde :  
za mjerenje dilatacija šipa
- Dinamometri :  
pre nika 50mm, mjerenje sile na kontaktu baze šipa sa stijenskom masom



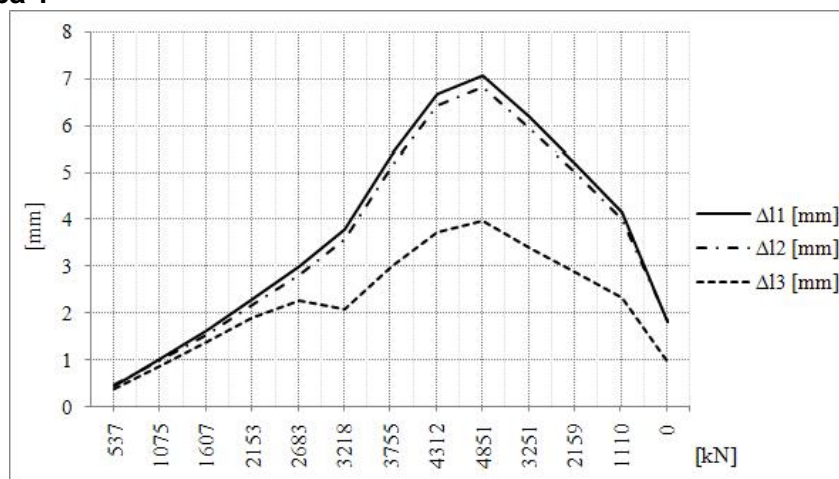


## Vremenski prikaz dijagrama sila/slijezanje



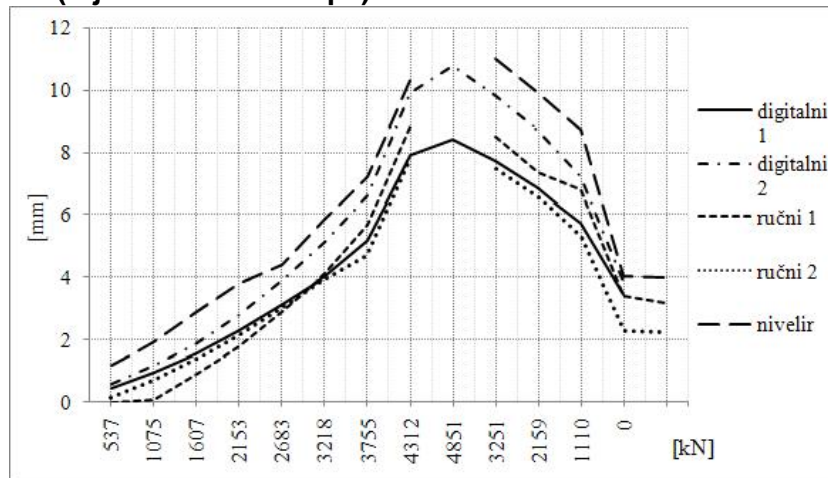
obzirom da tijekom ispitivanja nije nastupio slom tla u okolini šipa, grani nu nosivost je jedino mogu e odrediti ekstrapolacijom na osnovu izmjerene sile i veli ine pomjeranja

## Skra enje šipa 1

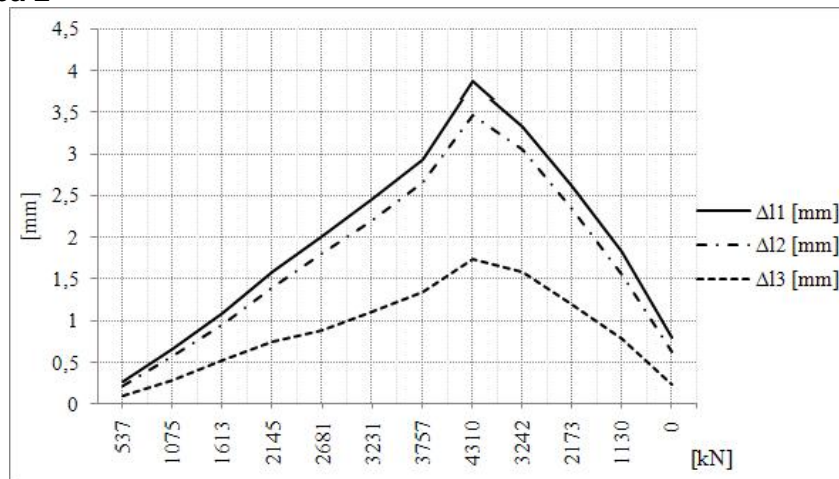




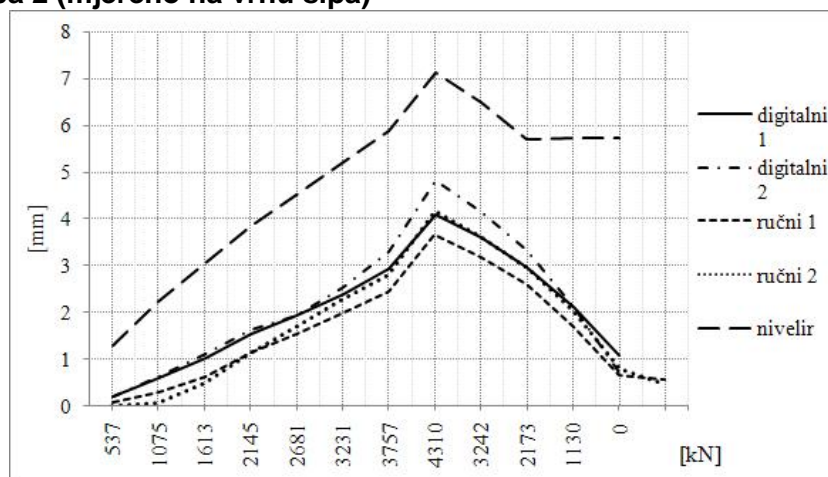
**Slijeganja šipa 1 (mjereno na vrhu šipa)**



**Skra enje šipa 2**



**Slijeganja šipa 2 (mjereno na vrhu šipa)**





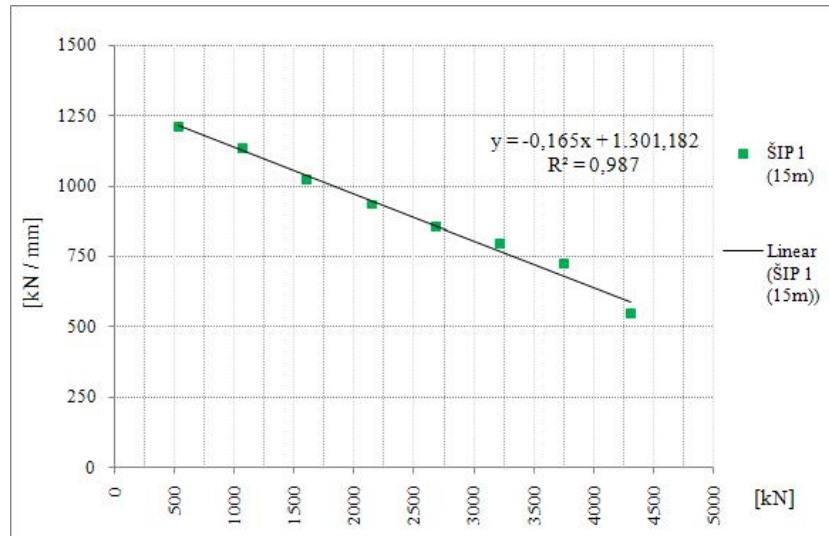


Za oba testna šipa nije nastupilo niti jedno od grani nih stanja loma :

1. kontinuirani porast slijeganja za jednak nivo optere enja (slom tla)
2. veli ina slijeganja koja se ne smije prekora iti (upotrebljivost nadkonstrukcije vijadukta)

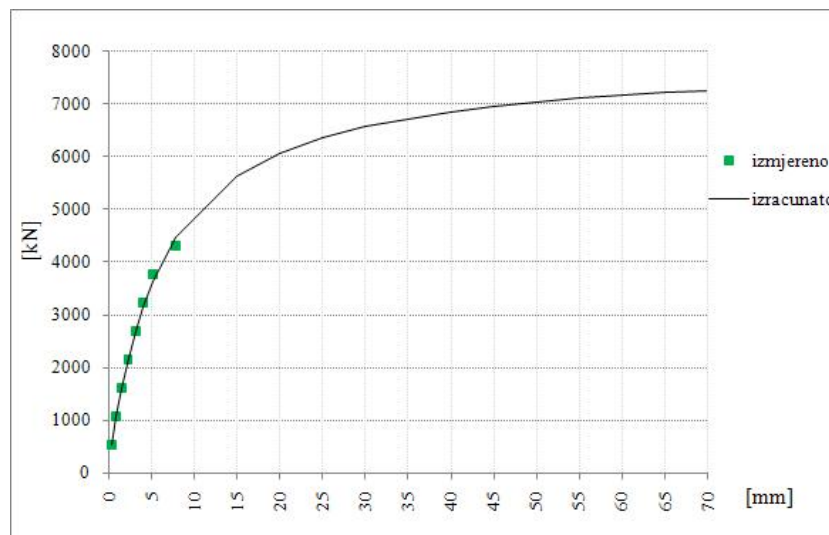
Uslov da inkrement slijeganja bude manji od 0,25mm/h za jednak nivo optere enja u pojedinim fazama testiranja je imao tendenciju opadanja ve nakon jednog sata što ukazuje na brzo uspostavljanje ravnotežnog stanja pritisnutog šipa i okolnog tla.

### Ukupna grani na sila u šipu 1



$$Q_1 = \frac{C_2}{C_1} = \frac{1301,182}{0,165} = 7876,50 \text{ kN}$$

### Grani na sila loma šipa 1

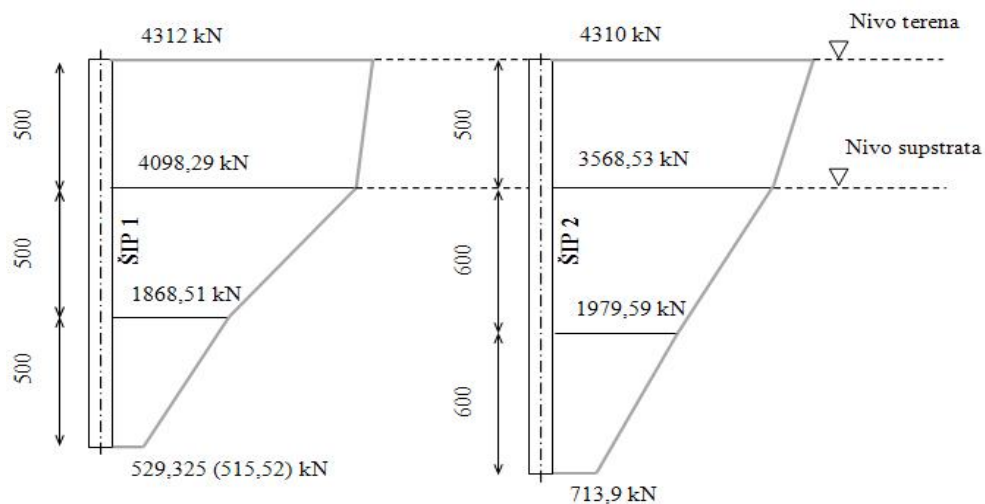


$$Q = \frac{C_2 \cdot S}{1 - C_1 \cdot S}$$



## Izra unato prema veli ini dilatacija u presjecima

Ekstrapolacija rezultata metodom Decourt-a



## $Q_d$ prema Pravilniku

		Karakteristike šipa			
aktivna dužina šipa =	15	m			
prečnik tijela šipa =	600	mm	provršina baze šipa =	0,28	m <sup>2</sup>
prečnik vrha šipa =	600	mm	obim šipa =	1,884	m
gornja kota šipa =	0	m	zapreminska težina nadsloja =	19	kN/m <sup>3</sup>



		Nosivost omotača sloj pokrivača			
		prisutnost vode		NE	
<b>detalj proračuna</b>		<b>parametri tla</b>			
vertikalni in situ pritisak $q =$	47,5 kPa	debljina sloja =	5 m	$\gamma' =$	19 kN/m <sup>3</sup>
prosječni horizontalni pritisak =	4,5879 kPa	zapreminska težina $\gamma =$	19 kN/m <sup>3</sup>	$c_m =$	3,2 kPa
dopuštena otpornost na smicanje =	7,8 kPa	cohezija $c =$	8 kPa	$\phi_m =$	10,0 °
otpor u sloju =	73,362 kN	ugao unutrašnjeg trenja $\phi =$	15 °		
		koeficijent mirovanja $k_0 =$	0,8		
		Nosivost omotača sloj supstrata			
		prisutnost vode		NE	
<b>detalj proračuna</b>		<b>parametri tla</b>			
vertikalni in situ pritisak $q =$	205 kPa	debljina sloja =	10 m	$\gamma' =$	22 kN/m <sup>3</sup>
prosječni horizontalni pritisak =	29,427 kPa	zapreminska težina $\gamma =$	22 kN/m <sup>3</sup>	$c_m =$	20,0 kPa
dopuštena otpornost na smicanje =	49,4 kPa	cohezija $c =$	50 kPa	$\phi_m =$	17,3 °
otpor u sloju =	931,21 kN	ugao unutrašnjeg trenja $\phi =$	26 °		
		koeficijent mirovanja $k_0 =$	0,7		
		Nosivost baze			
<b>detalj proračuna</b>		<b>parametri tla na nivou baze</b>			
vertikalni pritisak na nivou baze $q =$	348 kPa	visina ukleštenja baze =	3 m	$\gamma' =$	22 kN/m <sup>3</sup>
$N_q =$	8	zapreminska težina $\gamma =$	22 kN/m <sup>3</sup>	$c_m =$	20,0 kPa
$N_\gamma =$	3	cohezija $c =$	50 kPa	$\phi_m =$	17,3 °
$N_c =$	50	ugao unutrašnjeg trenja $\phi =$	26 °		
dopušteni pritisak baze na tlo =	2974,4 kPa	koeficijent mirovanja $k_0 =$	0,7		
nosivost baze šipa =	840,55 kN				
		<b>Ukupna nosivost šipa =</b>		<b>1845,123 kN</b>	

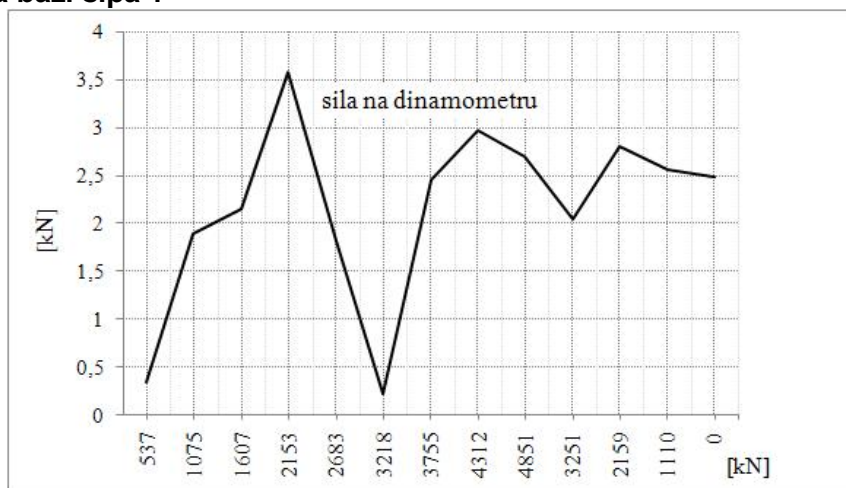
Omota u pokriva u 73 kN  
(zanemaren u projektu)

Omota u supstratu 931 kN  
Baza 840 kN  
(zanematerna u projektu)

Ukupno : 931 kN

Optere enje prekinuto  
za vrijednost sile od  
4400 kN

Izmjereno na bazi šipa 1





Izmjerena nosivost baze 515 kN

Nosivost baze prema Pravilniku 840 kN

Da li Projektant s pravom nije uzimao u obzir nosivost baze ?

### Eksploatacija rezultata

$$Q_{1u} = 7876,50 - W_1 = 7770,50 \text{ kN}$$

$$Q_{b,din} = 515,520 \text{ kN (izmjerena sila na bazi šipa pomoću dinamometra)}$$

$$Q_{b,dil} = 529,325 \text{ kN (izračunata sila na bazi šipa, prema veličini dilatacije)}$$

$$Q_s = Q_{1u} - Q_{b,dil} = 7770,50 - 529,325 = 7241,175 \text{ kN (dio sile koju preuzima omotač šipa)}$$

$$q_b = \frac{Q_{b,dil}}{A_b} = \frac{529,325}{0,6^2 \cdot \pi \cdot 0,25} = 1872 \text{ kPa (granični otpor na bazi šipa)}$$

$$q_s = \frac{Q_s}{A_s} = \frac{7241,175}{0,6 \cdot \pi \cdot 10} = 384,35 \text{ kPa (granični otpor po omotaču šipa)}$$

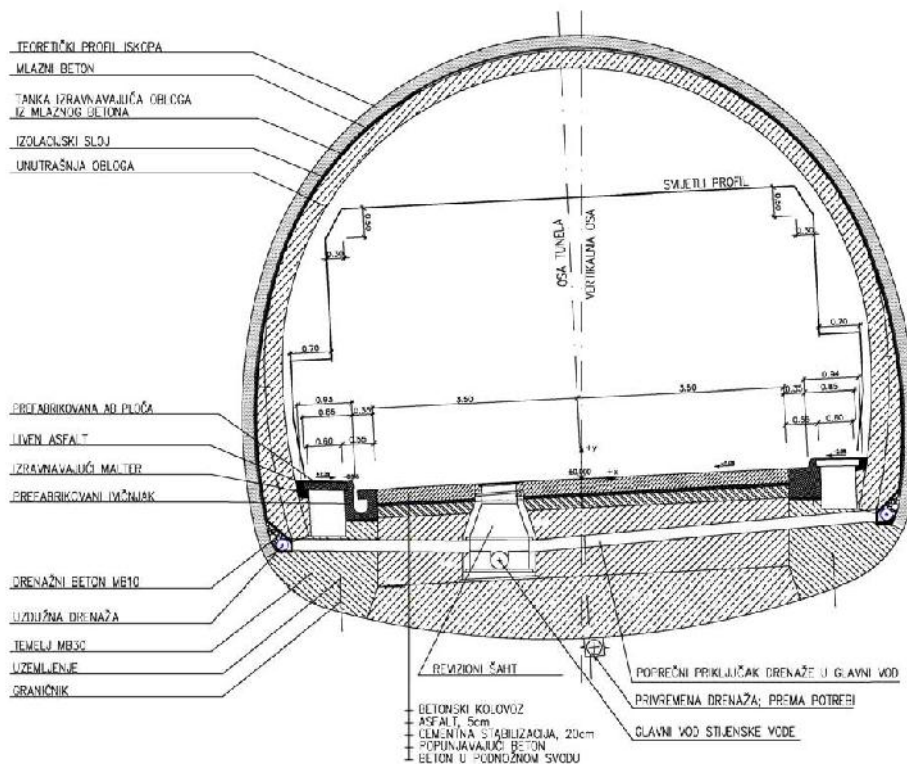
Dobivena nosivost omota a šipa 7241 kN (ekstrapolacija)

Nosivost omota a prema Pravilniku 931 kN

Minimalno nosivost omota a iznosi cca 3900 kN...

## 2. METODA OPAŽANJA U TUNELIMA

### 2.1. Tipi an popre ni presjek tunela prema NATM

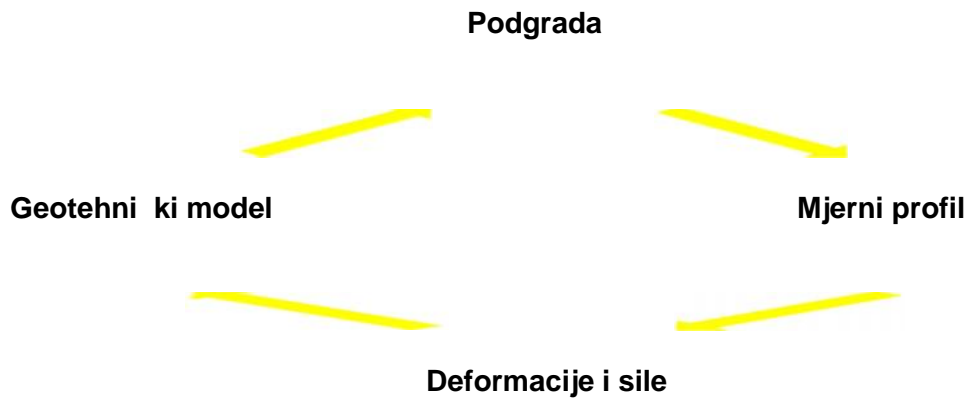


Istražne bušotine samo na portalima tunela

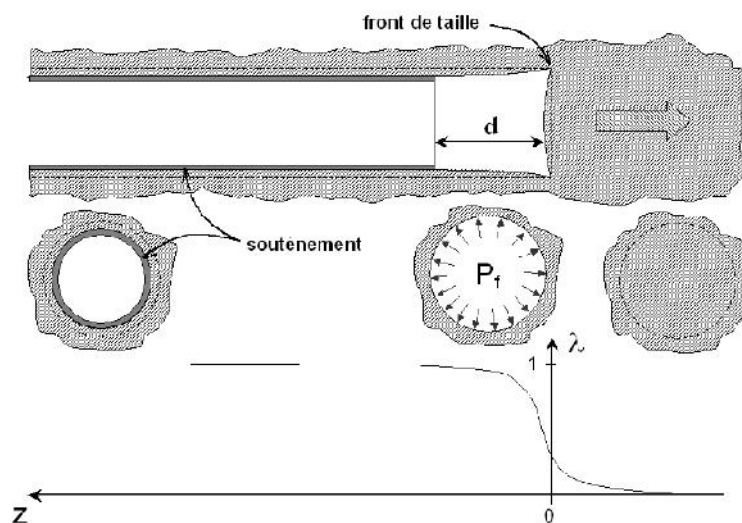
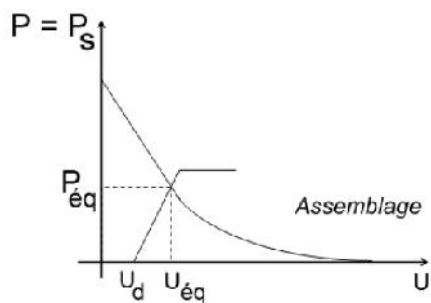


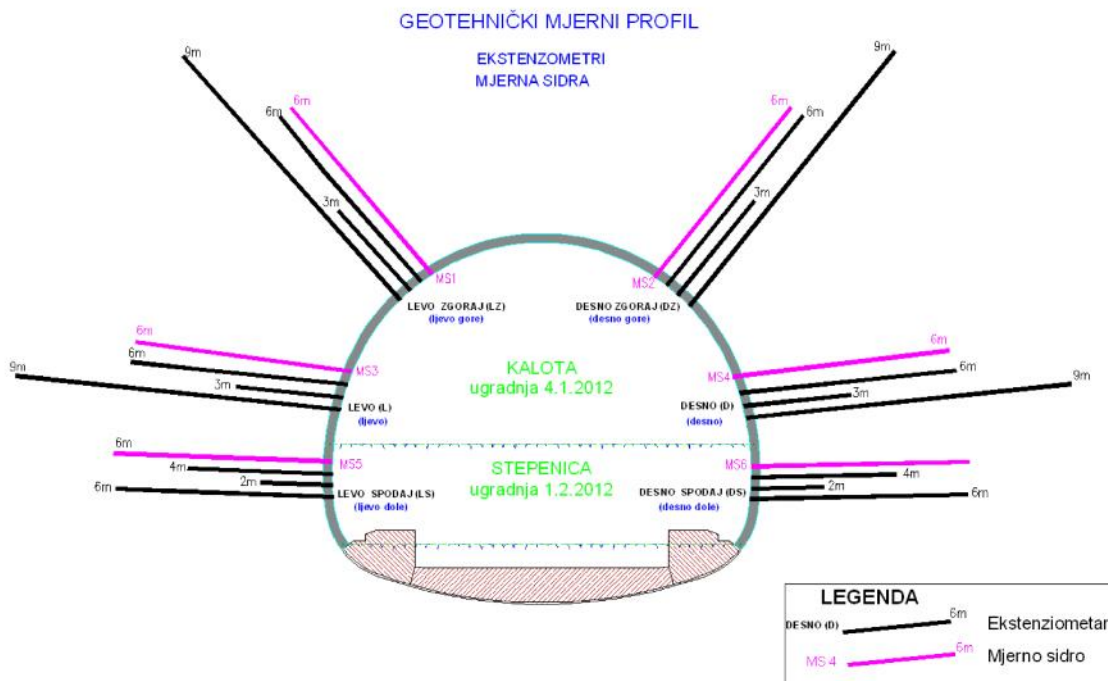
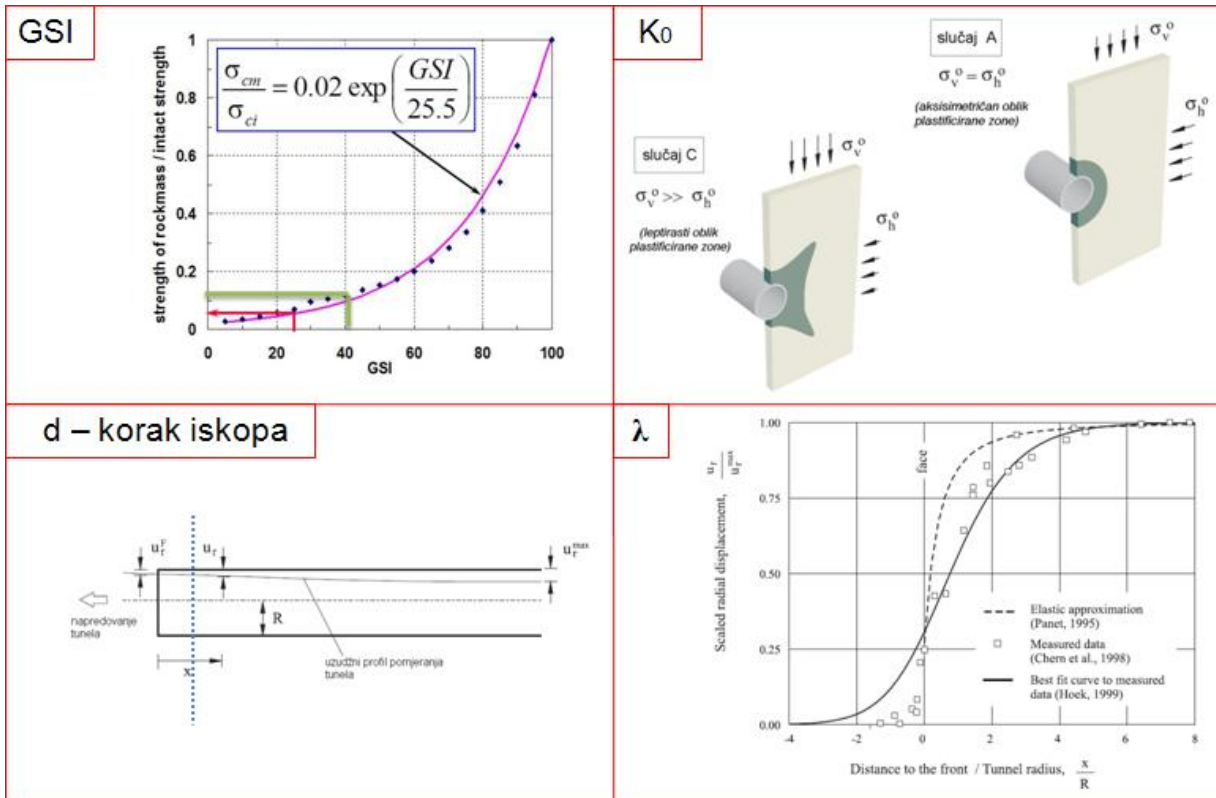
Projektant pretpostavlja geologiju  
Empirijski pristup (RMR)  
Katalog rješenja

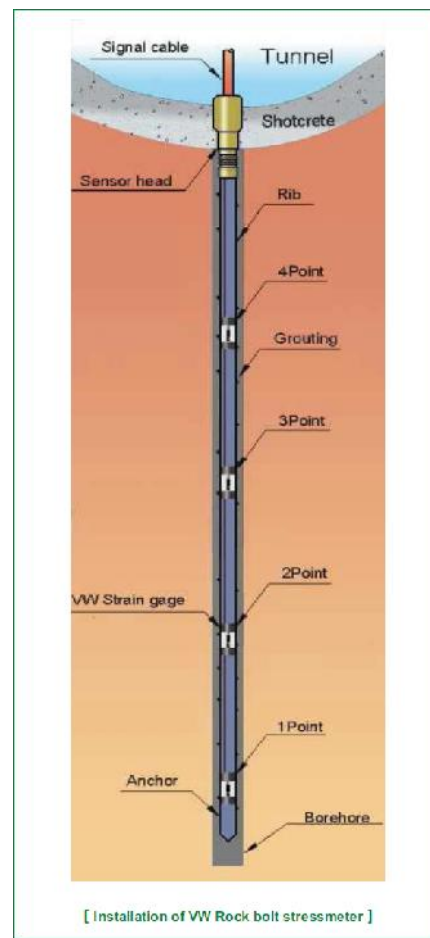
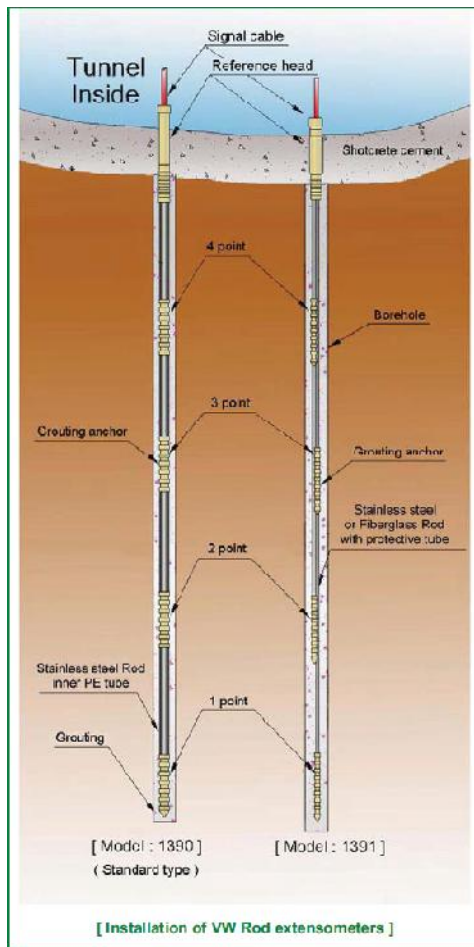
Šta smo mogli o ekvati ?  
Šta smo trebali uraditi ?  
Možemo li imati kvalitetan projekat ?  
Kako riješiti problem ?

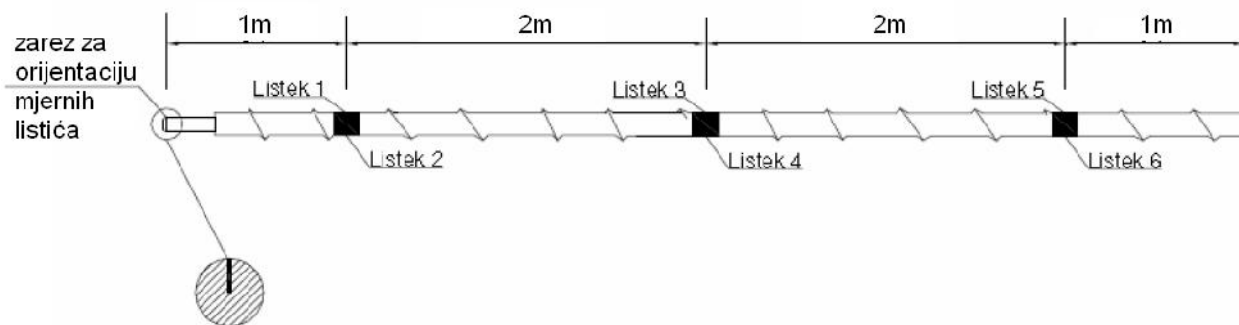
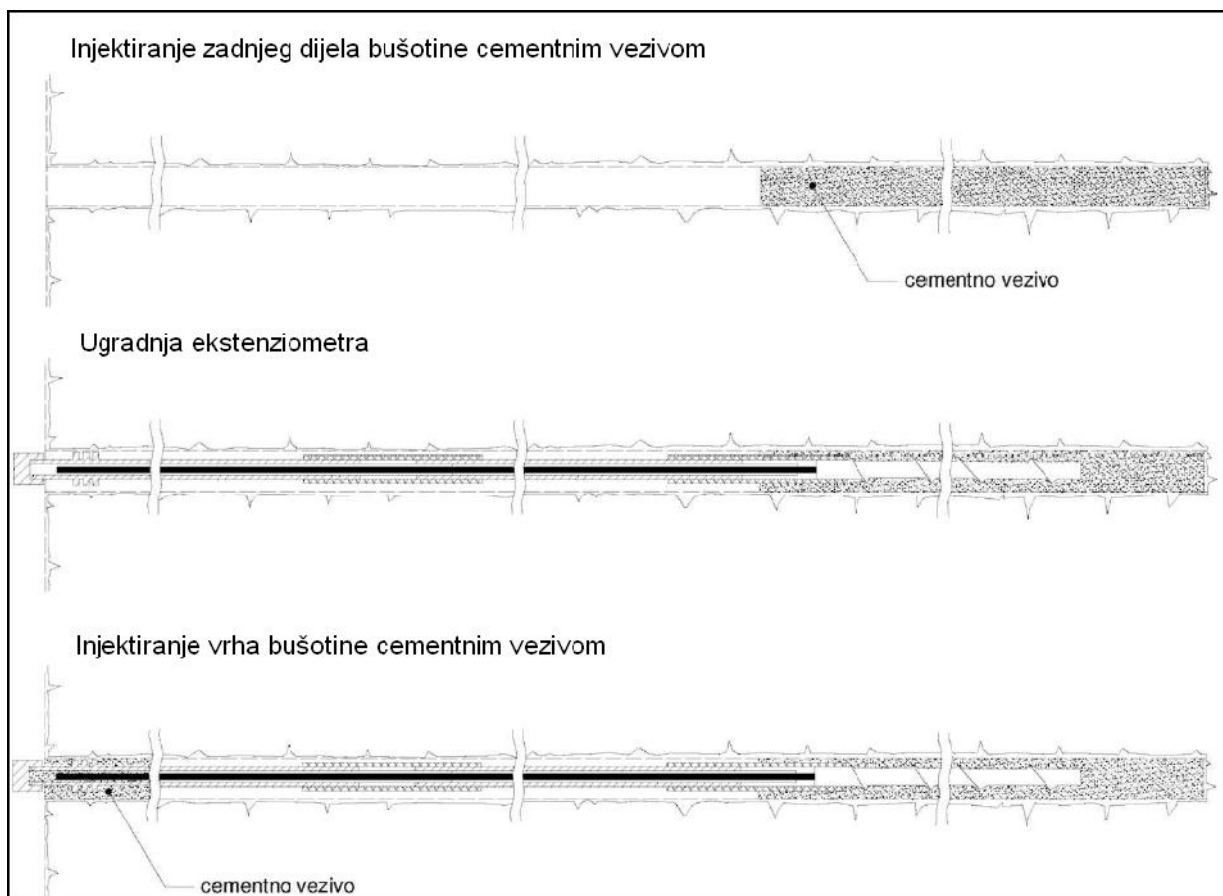


Šta su parametri povratne analize ?





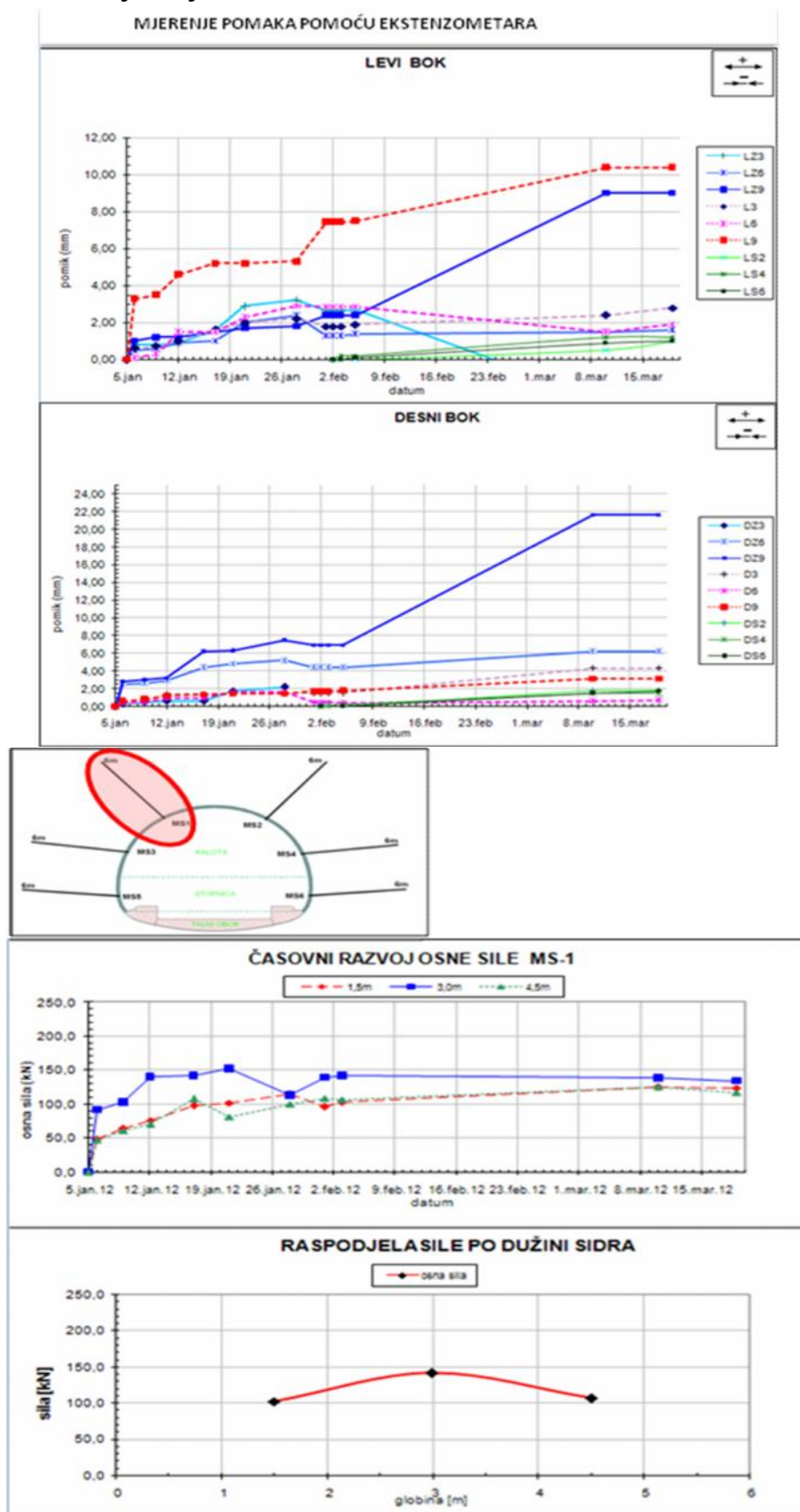






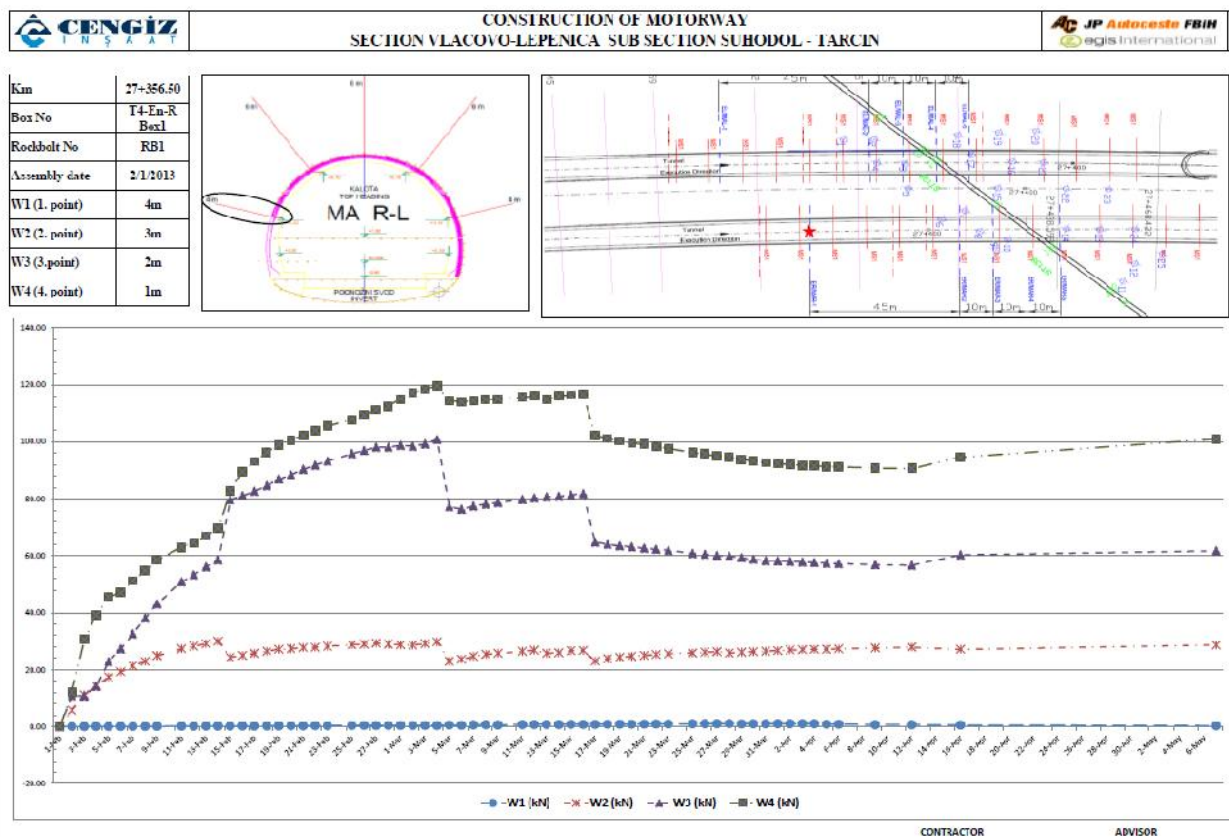


## Tipi ni rezultati mjerenja – tunel VIJENAC

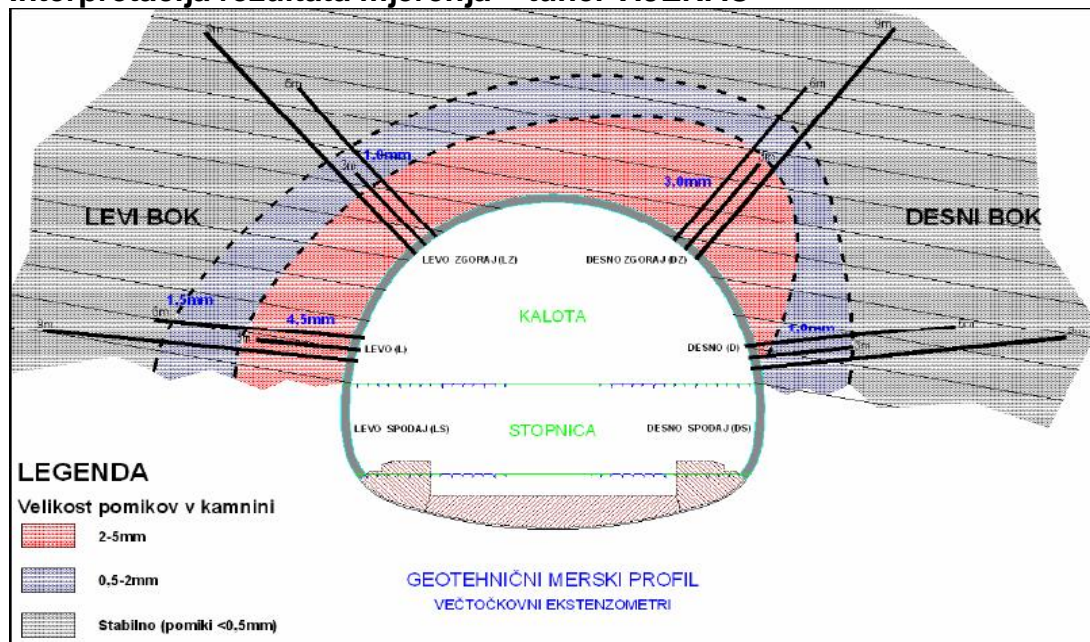


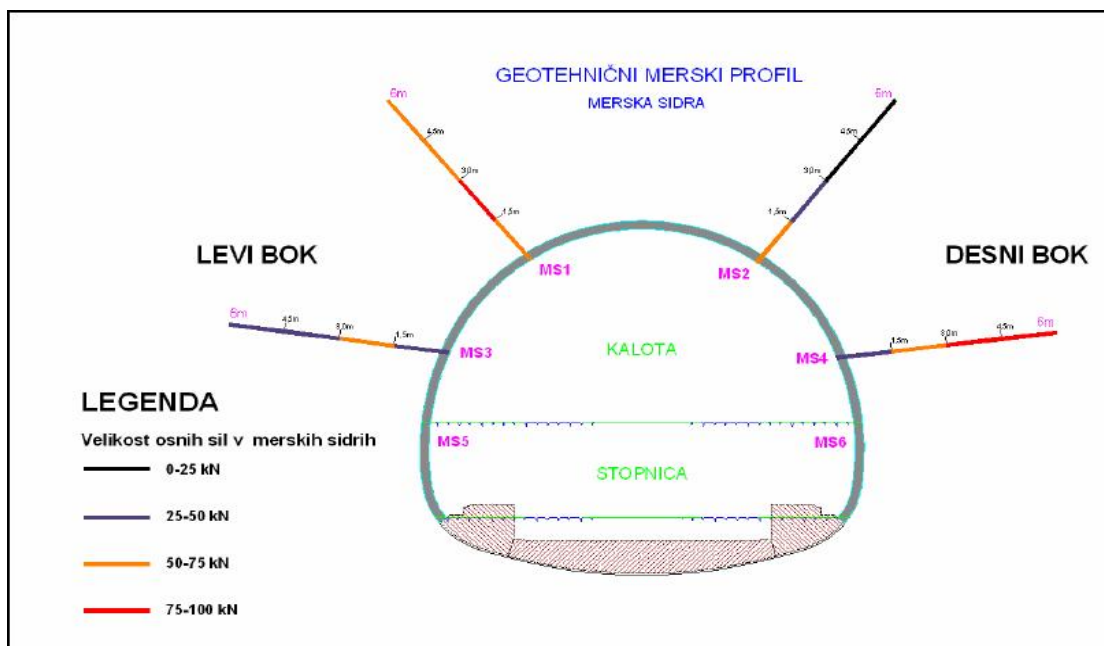


## Tipi ni rezultati mjerenja – tunel TAR IN



## Interpretacija rezultata mjerenja – tunel VIJENAC

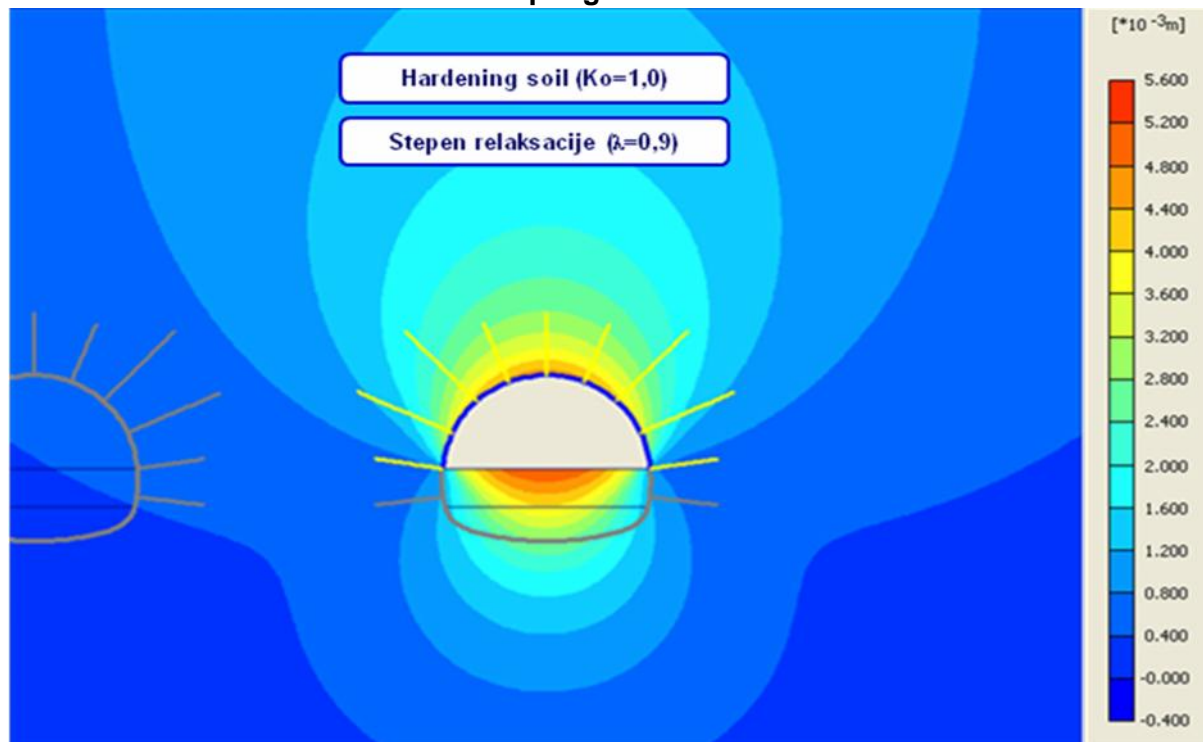




**+ kontrolno mjerenje  
geodetskim reperima na mjestu ugra enog mjerskog profila**



### Povratna analiza stabilnosti tunnelske podgrade – tunel VIJENAC



Iterativni postupak

re-evaluacija po etnog stanja napona ( $K_0$ )

re-evaluacija stepena relaksacije stijene ( $\lambda$ )

Prvobitno predloženi sistem podgrade (Glavni projekt, G21) za posmatranu sekciju tunela je u zna ajnoj mjeri konzervativan

Tipičan rezultat na mjerskom profilu

Faza projekta	Korak iskopa	Debljina prskanog betona	Dužina sidara	Mobilizacija sidara	Maksimalne konvergencije
G21-glavni projekt	1,8m	25cm	6m i 9m	100% bokovi	20mm
G32-povratna analiza	2,1m	20cm	4m i 6m	50% bokovi	5mm

Dobiveni geotehni ki model tunela se kasnije koristi za druge lokacije  
Kontinuirana optimizacija primarne podgrade

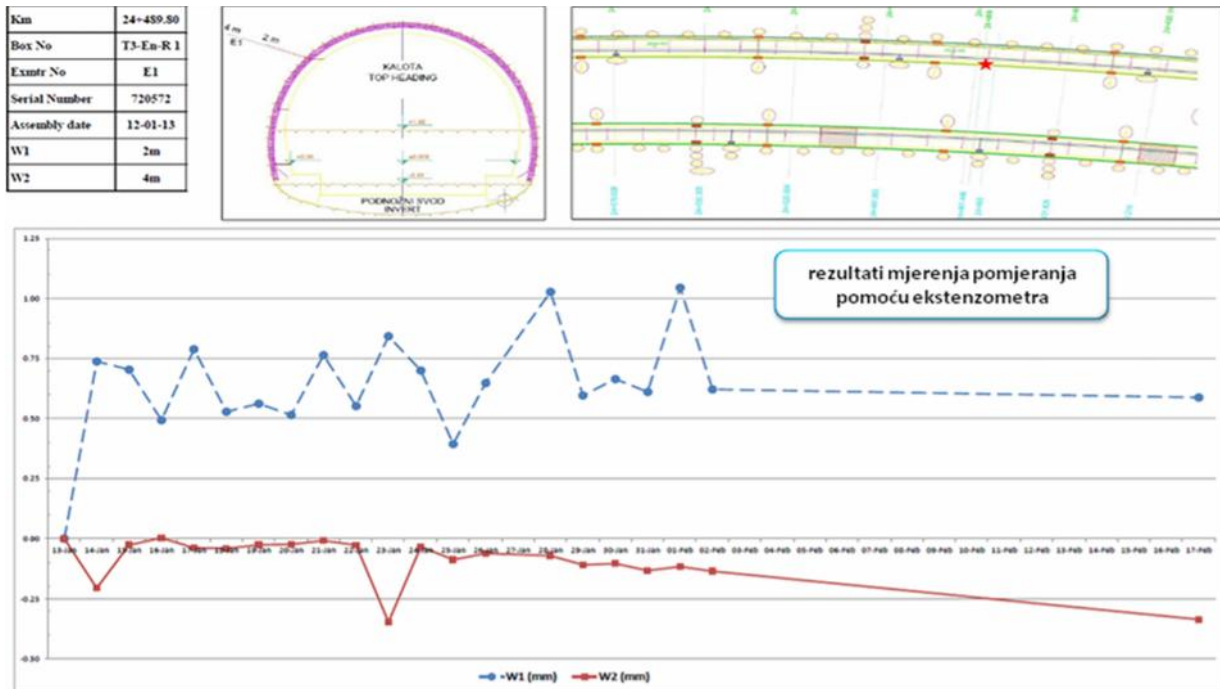


### 3. SAVREMENE TEHNOLOGIJE MIKROARMIRANI PRSKANI BETON

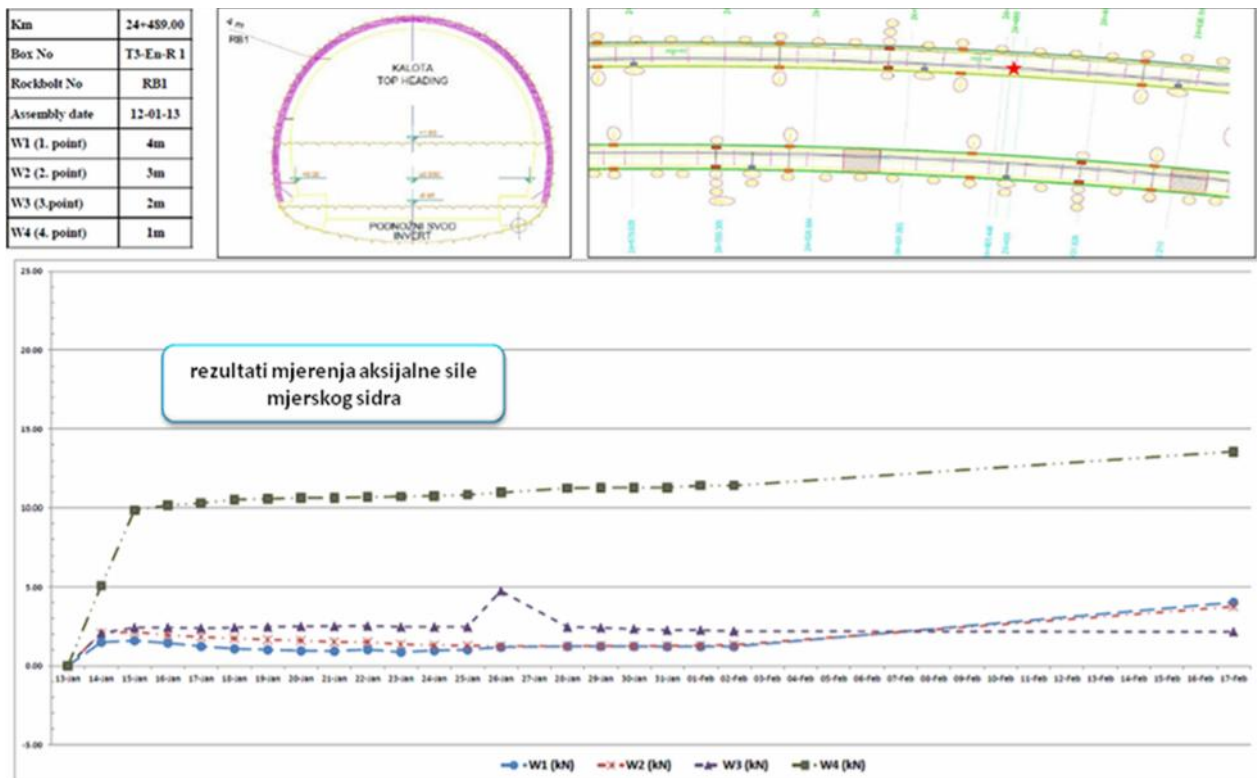




### Testno polje sa mikroarmiranim betonom – rezultati



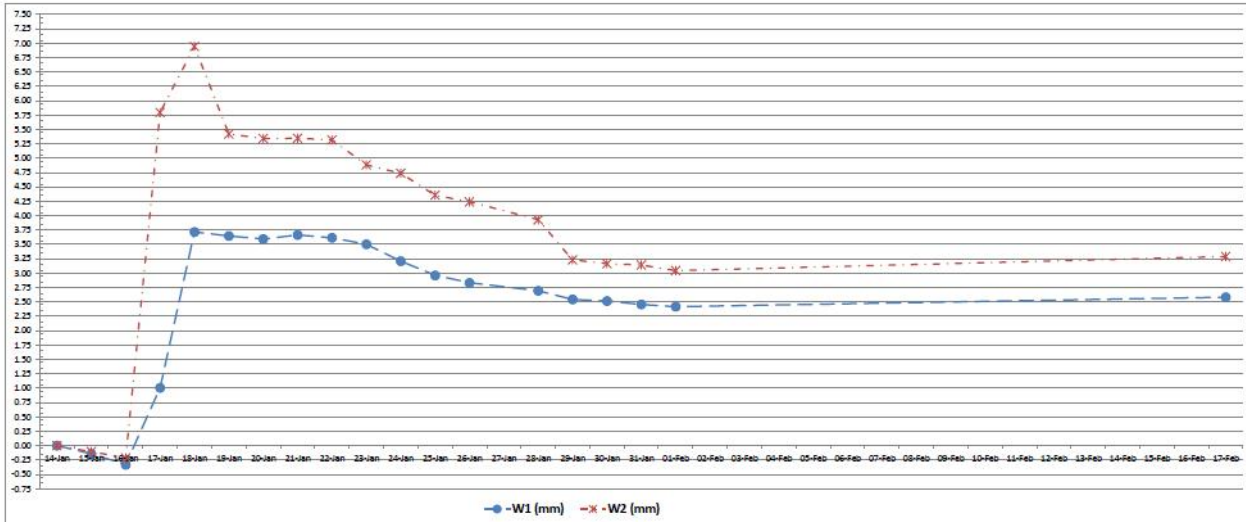
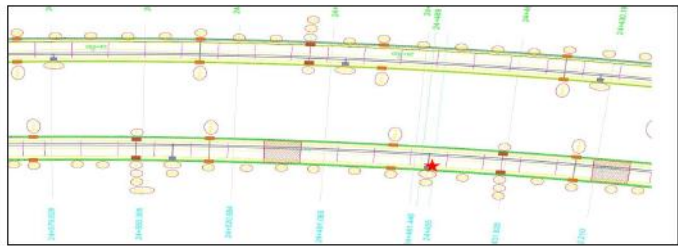
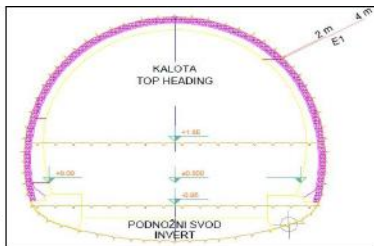
### Testno polje sa mikroarmiranim betonom – rezultati





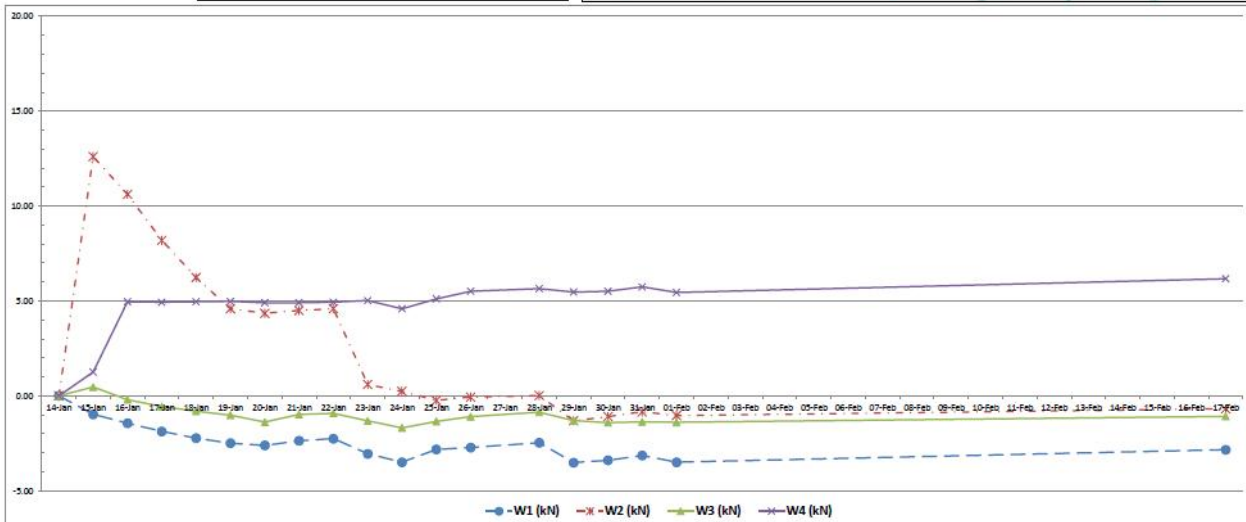
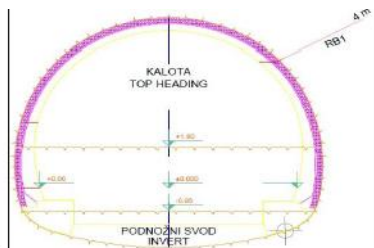
### Testno polje sa konvencionalnim betonom – uporedni rezultati

Km	24+455.00
Box No	T3-En-L 1
Exmtr No	E1
Serial Number	720576
Assembly date	13-01-13
W1	2m
W2	4m



### Testno polje sa konvencionalnim betonom – uporedni rezultati

Km	24+455.00
Box No	T3-En-L 1
Rockbolt No	RB1
Assembly date	13-01-13
W1 (1. point)	4m
W2 (2. point)	3m
W3 (3. point)	2m
W4 (4. point)	1m





Rezultati iz testnog polja pokazuju da su pomjeranja u ekstenzometrima manja te sile u mjernim sidrima veće u poređenju sa istim u konvencionalnoj oblozi, za date geološke uslove iskopa (RMR = 40)

Navedene razlike su veoma male, tako da se može zaključiti da obloga od mikroarmiranog prskanog betona pokazuje slično ponašanje kao i konvencionalna obloga sa mrežama i elinim lukovima, za date geološke uslove iskopa (RMR = 40)

U svim provedenim povratnim analizama, vrijednost momenta savijanja u oblozi ne prelazi 10kNm, što je niže od vrijednosti koje su ispitane i dokumentovane u literaturi za mikroarmirani prskani beton ( $M_{max} = 20kNm$ )