



PROVJERA NOSIVOSTI KONSTRUKCIJE CRKVE SV. JAKOVA U MEĐUGORJU

prof.dr.sc. **Mladen Glibi** , dipl.ing.gra .
Građevinski fakultet
Sveučilišta u Mostaru
Branimir Velić , mag.gra .

Sažetak: U radu je prikazana provjera nosivosti konstrukcije Crkve sv. Jakova u Međugorju. Pri tomu, napravljena je provjera o tome koliko sigurnost ima konstrukcija Crkve koja je projektirana 1967. godine prema važećim normama, u odnosu prema sadašnjim propisima tj. Eurokodovima: EN1, EN2, EN7 i EN8. Kvaliteta tla je sa dopuštenom nosivošću od 200 kN/m².

Ključne riječi: Crkva sv. Jakova u Međugorju, provjera konstrukcije prema Eurokodovima.

TESTING THE BEARING CAPACITY OF THE STRUCTURE OF ST. JAMES CHURCH IN MEDJUGORJE

Abstract: The paper presents a test of bearing capacity of the structure of St. James Church in Medjugorje. In doing so, safety of the church designed in 1967 was tested according to the standards in effect in relation to current standards, i.e. Eurocodes: EN1, EN2, EN7 and EN8. The quality of soil is with the allowable bearing capacity of 200 kN/m².

Key words: St. James Church in Medjugorje, structure testing according to Eurocodes



1. UVOD

Rad se sastoji od izrade 3D modela Crkve sv. Jakova u Međugorju te stati kog i seizmi kog prora una te dimenzioniranja glavnih nosivih elemenata konstrukcije u ra unalnom programu Tower 6. Prora un stati kih, seizmi kih utjecaja i dimenzioniranje je provedeno po europskim normama Eurocod.

Objekt se nalazi na nadmorskoj visini od 200 m.n.m. te u u IX. seizmi koj zoni. Centralni prostor Crkve širine 21,10m i dužine 27,60m podijeljen u 2 reda sa po 5 stupova, u 6 popre nih pojaseva. Osnovni nosivi sustav ini 5 ramova sa po 3 polja od kojih je srednje polje nadvišeno za 5,00m. U visini gornjih pre ki ramovi su ukru eni uzdužnim gredama POZ 103, te se krovno optere enje svodi preko stupova rama u tlo, time se rastere uje POZ 104 koja nosi nadvišeni dio zida srednjeg trakta visine 5,00 m.



Slika 1. Pogled na Crkvu

Nosivost temeljnog tla je srednje nosivosti od 200KN/m^2 . Dubina temeljenja je min. 80cm. Temelji se sastoje od temeljnih traka širine 80cm, debljine 140cm i temeljnih stupova dimenzija $140 \times 140\text{cm}$, debljine 87cm. Tornjevi su dodatno optere ni težinom zvonika i njegovom konstrukcijom sa dodatnih cca. 1000Kg, tj $0,55\text{KN/m}'$ po opsegu zidova. Na krovnu konstrukciju je nanoseno dodatnih $0,5\text{KN/m}^2$ kao težinu snijega. Na POZ 103 autor je usvojio 3KN/m više od onoga što je dobio analizom optere enja, kao i 6KN/m više u POZ 104.



Zidovi su građeni kombinacijom betona MB 110 i kamena što je simulirano u Toweru, ortotropnim zidanim zidom slikih karakteristika. Pokrov je kupa kanalicapoložena u sloj maltera, na sitno-rebrastu plohu tipa „Avramenko“, koja je zaštićena propisanom hidroizolacijom, u Toweru je pokrov simuliran AB plohom iste težine te nije analiziran nego samo dimenzioniran.

Osnovni materijal za izradu konstrukcije je:

Beton:

MB 110 (MB 11),
 MB 160 (MB 16),
 MB 220 (MB 22),
 MB 300 (MB 30).

Armatura :

GA 240/360.

Rad sadrži:

- po starom pravilniku:

Statički i seizmički proračun
 Plan oplata
 Nacrte armature

- po EUROKOD-u:

Statički i seizmički proračun,
 Modalnu analizu
 Dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije
 Analizu rezultata

1.1. Probijanje temelja

Prema Eurocod-u temelji samci nisu zadovoljili uvjet kriti nog presjeka, kod temelja sa pravokutnim kapitelom:

$$d_{krit} = 1,5 * d + 0,56 * \sqrt{l_1 * l_2}$$

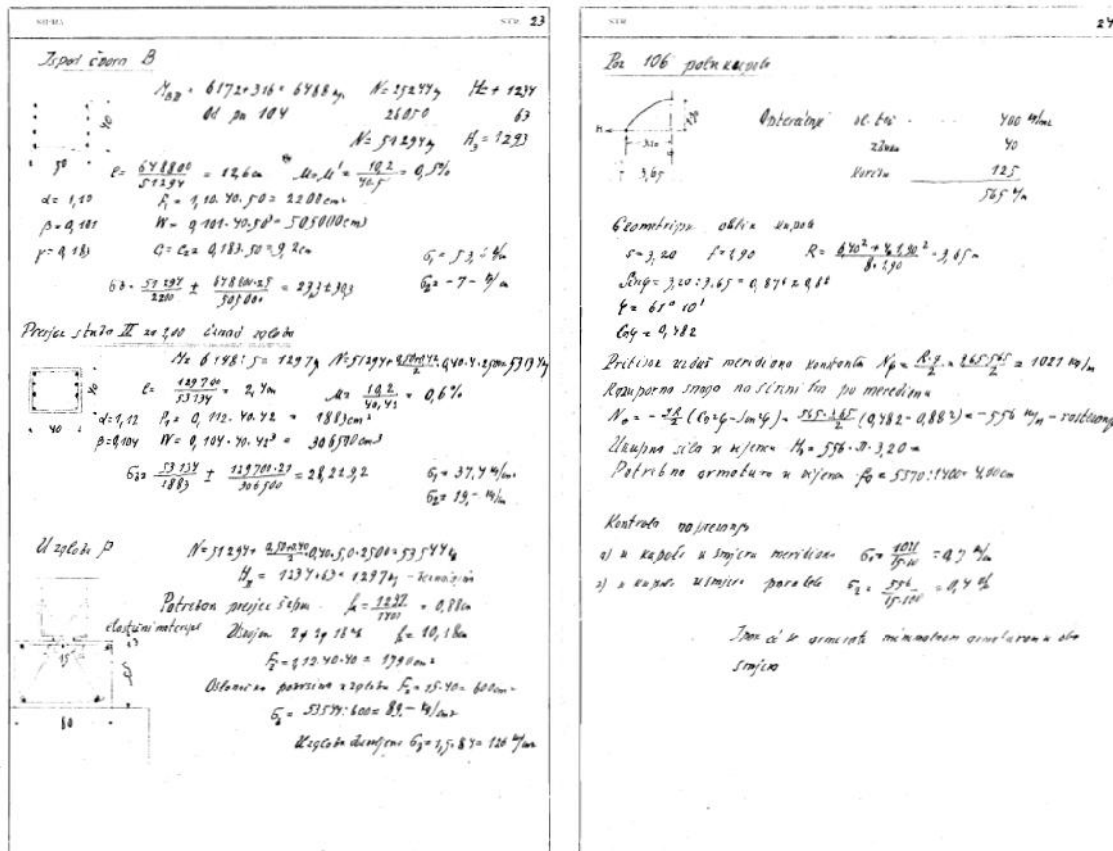
$$l_1 = l_2 = l_{cl} + 2 * L_H = 40 + 2 * 20 = 80cm$$

$$Pa je d_{krit} = 1,5 * d + 0,56 * \sqrt{l_1 * l_2} = 175,3cm$$

dok je u ovom slučaju maksimalno moguće 70cm na dimenzije samca od 140*140cm sa debljinom od 90cm (87cm statičke visine)+kapitel. Ovakve rezultate smo dobili zbog velike debljine temelja jer se smatra da se napon raspoređuje pod kutom od 33,7 stupnjeva.



2. STATI KI I SEIZMI KI PRORA UN PO STAROM PRAVILNIKU

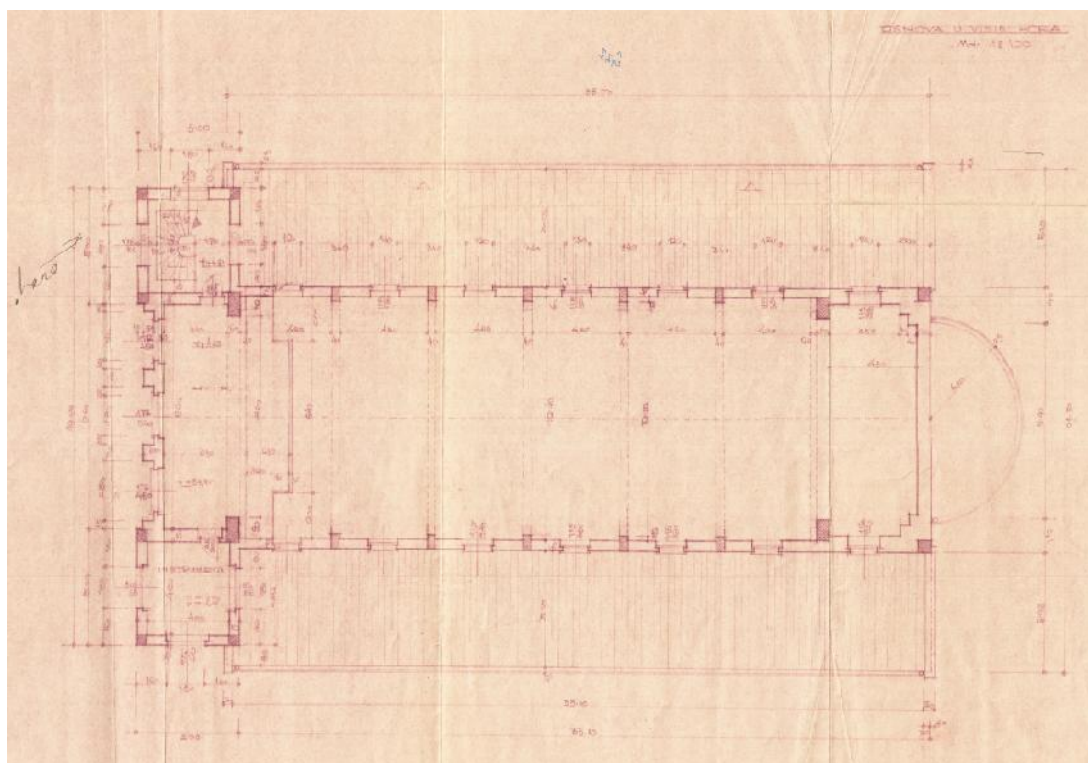


Slika 2. Prikaz iz stati kog prora una, 1967. godina

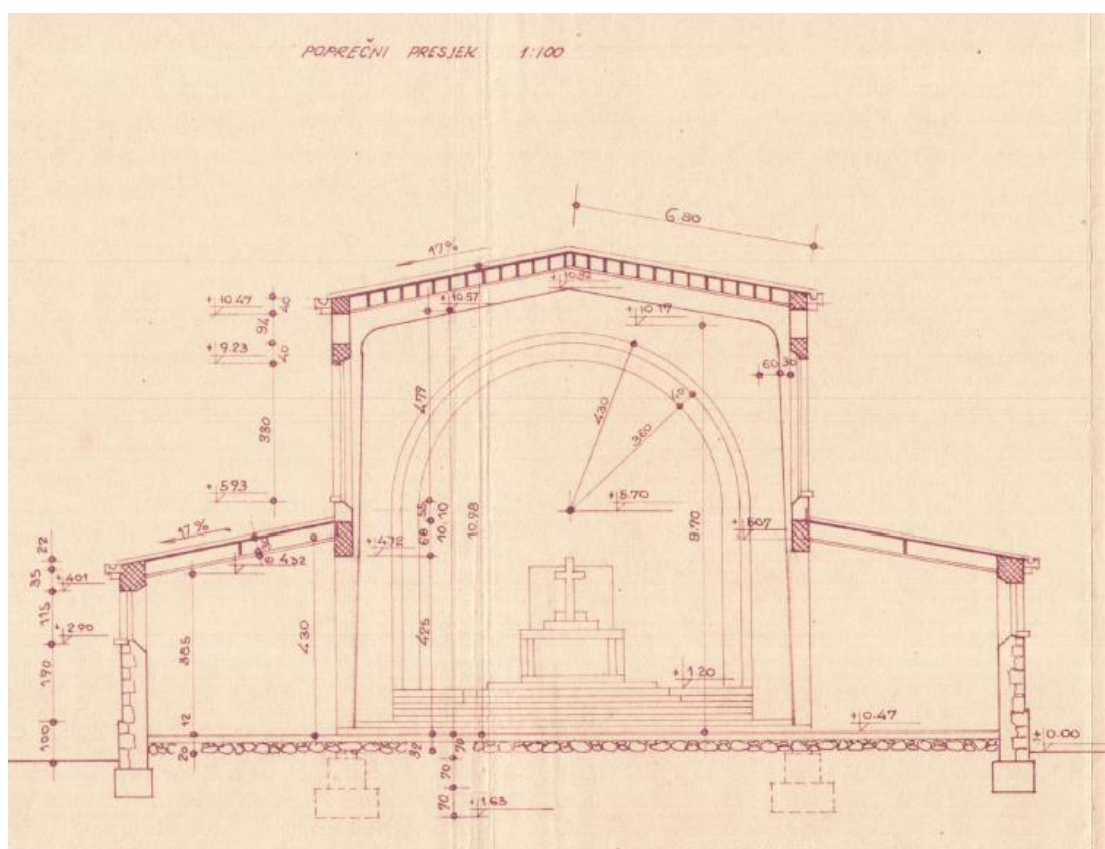
Tehni ki opis iz 1963 godine, 27.8., Dubrovnik zapo inje s:

Na ravnom terenu zapo eta je izgradnja crkve. Na postoje im zidovima predvi a se daljnja izgradnja. Raspored prostorija za crkvu je sljede i: glavni ulaz, krstionica, stubište za hor i zvonik, prostor za sprema, ulaz za zvonik, glavni brod crkveni i presbitorij, sakristija i bo ni izlaz.

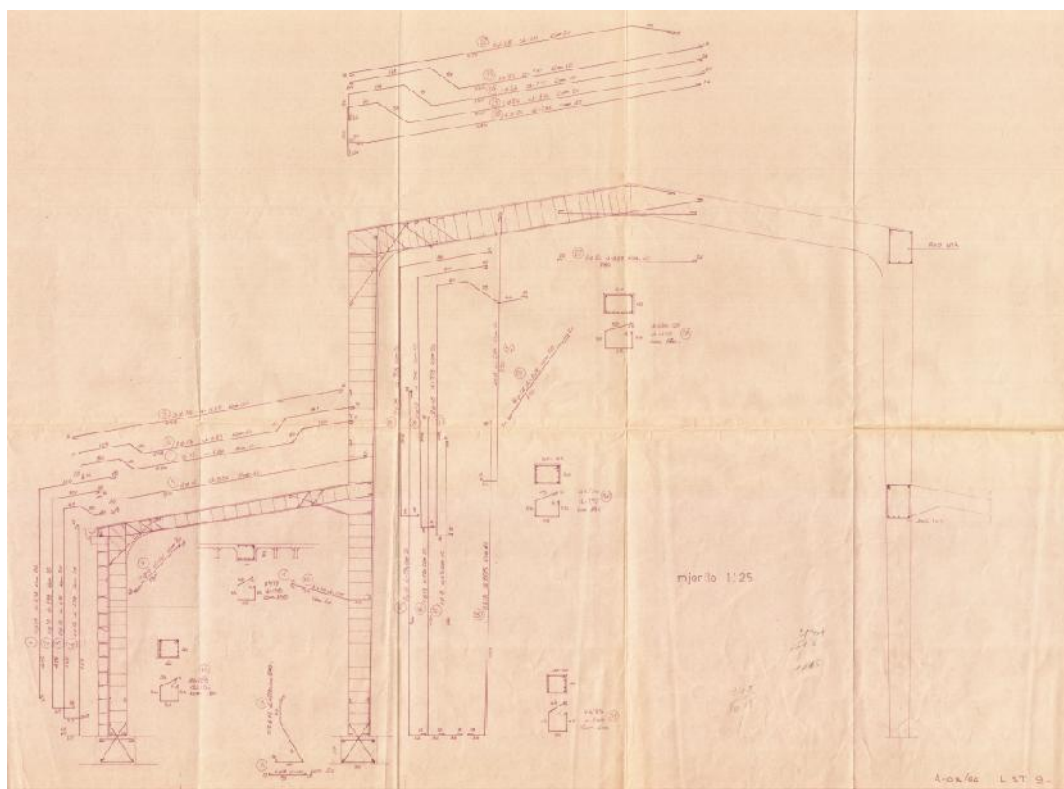
Gradnja se predvi a od tvrdog materijala: stope, temelji srednji i stupovi od betona, zidovi dijelom od kamena i betona, armirano betonska ramovska konstrukcija broda crkve, sa armiranim betonom, stupcima kontraforima, krov na dvije vode, sa me ukonstrukcijom od herbat nosa a "Avramenko". Krov pokriven salonitnim plo ama, utvr en me u letve, s me u prostorom od betonske podloge sa hidroizolacijom. U crkvi se predvi a elektro instalacija.



Slika 3. Tlocrtna osnova crkve



Slika 4. Popre ni presjek crkve



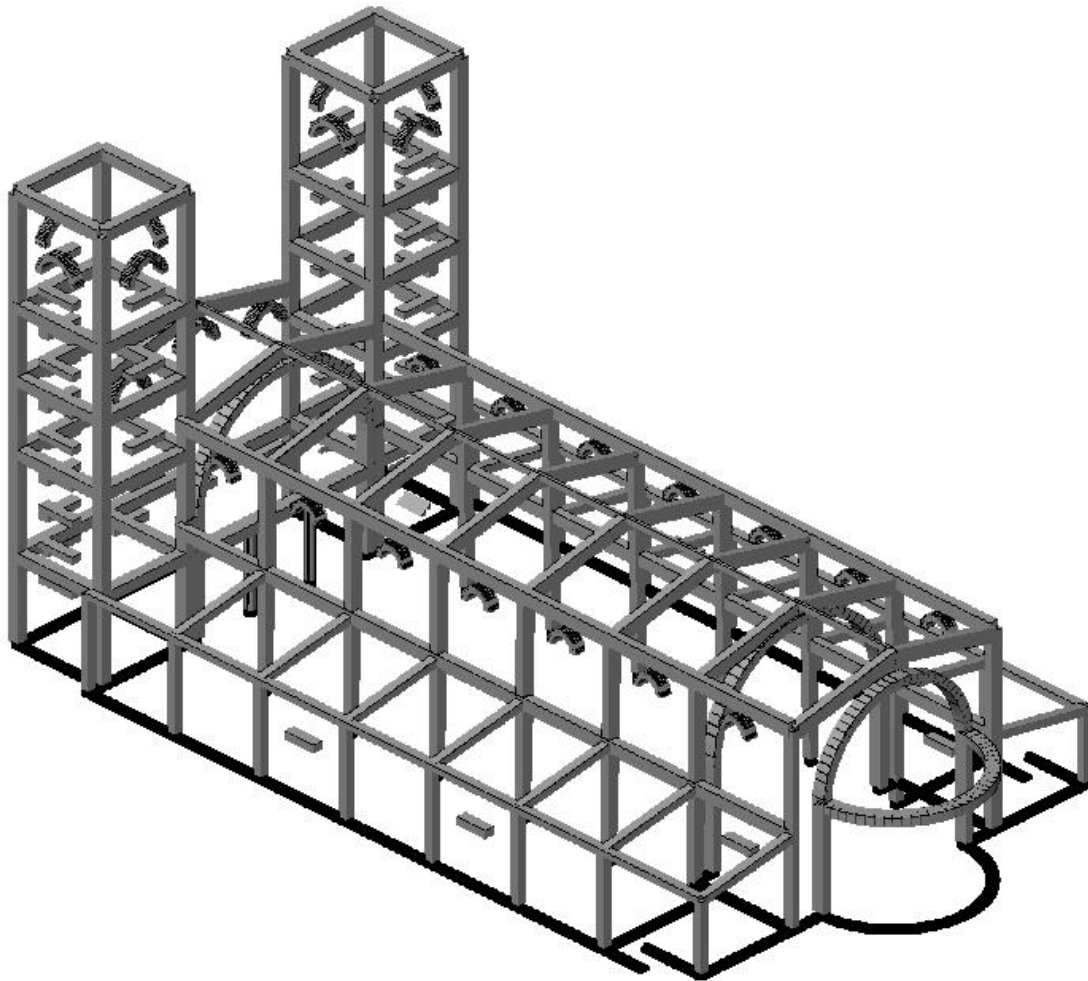
Slika 6. Armatura ramova

U dijelu projekta (koji se odnosi na stari projekt) obrađeno je sljedeći dio proračuna:

- statički i seizmički proračun,
- dimenzioniranje pozicija,
- provjera napona u tlu ispod temeljnih traka i temelja samaca.



3. STATI KI I SEIZMI KI PRORA UN PO EUROCODU



Slika 5. Model crkve

Prema EC-u rađunato je sljedeće:

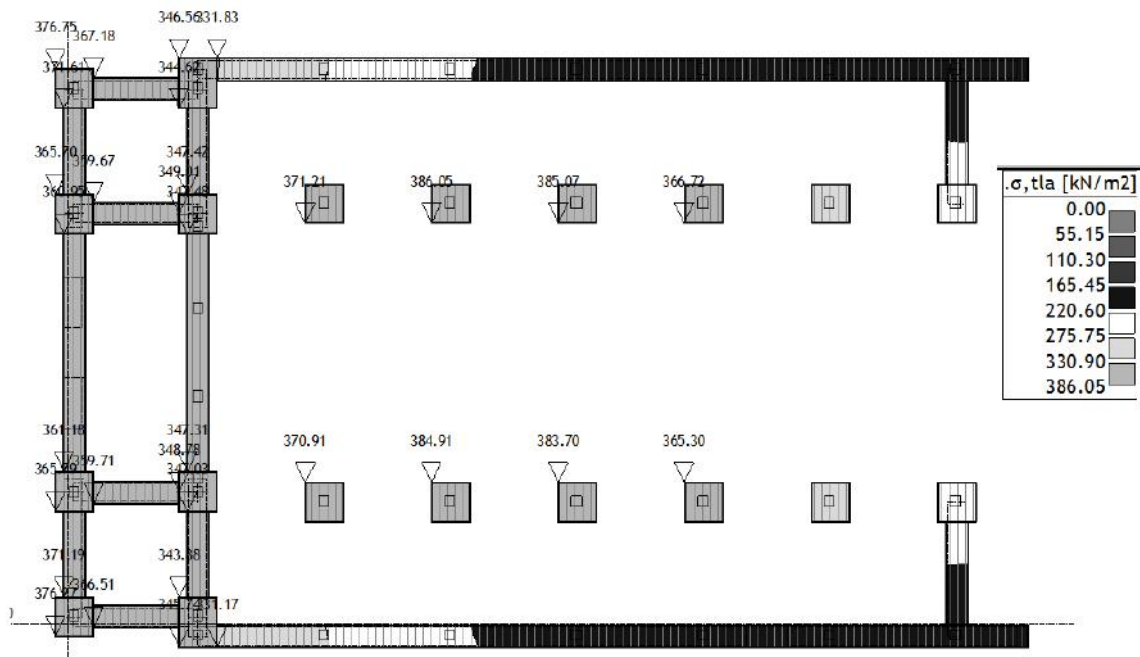
- Seizmički proračun
- Dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije - grede i stupovi
- Dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije – ploče
- Probijanje temelja samca



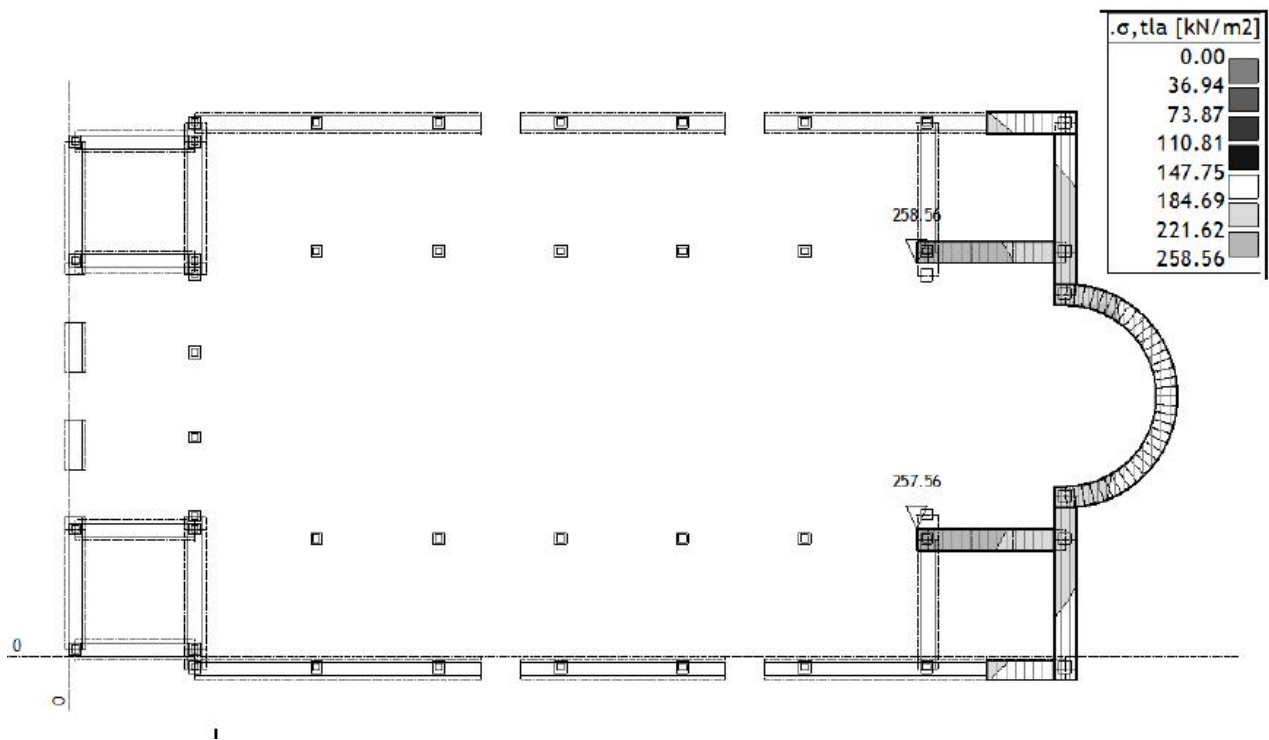
Provjera nosivosti konstrukcije crkve sv. Jakova u Međugorju

Broj pozicije	Podclje	Dio	Udužina (cm ²)		Poprečna	Pomoćni stupac	Usvojeni postotak potrebne armature	U postotku (veća/manje)	Tower (cm ²)		Odnos stvarne armature iz Towera		
			Potrebna	Usvojena					Udužna	Poprečna	Udužna	Poprečna	
1.	POZ 100	Usvojio ploču tešine pokriva											
2.	POZ 101	Usvojio ploču tešine pokriva											
3.	POZ 101	M 0-1	2,18	5,24	6/20-35	2,68	245%	115%	7,66	min	-30%	min(8/15)	
		M 1	3,72	4,62	6/20-35	2,68	124%	24%	8,65	min	-47%	min(8/15)	
		M 1-2	7,52	7,9	6/20-35		151%	17%	8,82	2,41	-57%	9%	
		M 2	2,76	3,06	6/20-35	2,68	111%	11%	8,77	min	-67%	min(8/15)	
4.	I/UZ 103a	M 2-2	1,52	3,8	6/20-25	2,63	250%	150%	0,90	1,51	-56%	36%	
		Serižak	gore	3,06	6/25	2,63	oslonac		1,01	1,24	205%	36%	
5.	POZ 109	niže	3,06	6/25	2,63		niže		1,7	1,74	-4%	36%	
		M U 1	12,82	19,86	6/20-25	2,68	111%	11%	5,4	min	302%	min(8/15)	
		M 1-2	14,62	14,02	6/20-25	2,68	92%	38%	8,12	6,5	49%	60%	
		M 2	6,24	8,22	6/20-25	2,68	133%	33%	3,11	min	194%	min(8/15)	
6.	POZ 105	M 2	12,35	12,02	6/20-35	2,68	98%	-2%	8,01	5,58	51%	51%	
		M 2-2	7,12	8,22	6/20-25		116%	16%	3,08	min	174%	min(8/15)	
		M 0-1	8,55	8,22	6/20-25		97%	-3%	1,8	0	351%	min(8/15)	
		M 1	9,77	10,02	6/20-25		103%	3%	3,4	0	136%	min(8/15)	
7.	POZ 102a (desno)	M 1-2	9,91	6,76	6/20-35		63%	-17%	1,7	0	113%	min(8/15)	
		M 2	7,94	8,04	6/20-25		101%	1%	3,4	0	136%	min(8/15)	
		M 2-2	5,02	6,28	6/20-25	2,68	125%	25%	2,9	0	117%	min(8/15)	
8.	I/UZ 102b (lijevo)	gore	2,01	6/20-25	2,68			11,07	6,28	82%	59%		
		colic	2,01	6/20-25	2,68			0	6,28	min	-59%		
9.	I/UZ 102 (3)	E-A	10,4	12,72	6/20-25	2,68	97%	-5%	2,12	min	507%	min	
		fa	10,8	10,18	6/20-25	2,68	94%	-6%	2,12	min	380%	min	
		C-B											
		fb	12,22	10,38	6/25	2,26	89%	17%	10,0	0	7%	min	
		fa	8,7	12,72	6/25	2,26	146%	46%	10,83	0	17%	min	
		B-F											
		fb	12,22	10,38	6/25	2,26	89%	-17%	10,86	0	-8%	min	
		fa	8,7	12,72	6/25	2,26	146%	46%	10,73	0	19%	min	
		POZ 102 (2)	A-B										
		A	+	14	14,07	6/25	2,68	101%	1%	12,83	11,34	10%	-77%
		-	1,68	8,03	6/25	2,68	359%	290%	0	11,34	konstruktivna	17%	
	x<0,7	+	14,45	14,07	6/25	2,68	97%	-3%	1,15	min	1123%	min(8/15)	
		-	3,5	6,03	6/25	2,68	172%	72%	0	min	konstruktivna	min(8/15)	
	x=1,7	+	9,22	10,05	6/25	2,68	109%	9%	2,1	min	375%	min(8/15)	
		-	2,94	6,03	6/25	2,68	705%	105%	0	min	konstruktivna	min(8/15)	
	w=3,14	+	4,20	6,03	6/25	2,68	141%	41%	3,62	min	67%	min(8/15)	
		-	9	10,05	6/25	2,68	112%	12%	1,69	min	895%	min(8/15)	
	x<1	+	4,66	6,03	6/25	2,68	129%	29%	0	min	konstruktivna	min(8/15)	
		-	7,08	7,07	6/25	2,68	100%	0%	5,82	6,59	21%	-60%	
	B	+	6,14	7,07	6/25	2,68	115%	15%	0	6,59	konstruktivna	-60%	
POZ 107 (1)	A-B												
A	+	14	14,07	6/25	2,68	101%	1%	11,59	10,31	21%	-74%		
	-	1,68	6,03	6/25	2,68	359%	290%	0	10,31	konstruktivna	-74%		
x<0,7	+	14,45	14,07	6/25	2,68	97%	-3%	1,15	min	1123%	min(8/15)		
	-	3,5	6,03	6/25	2,68	172%	72%	0	min	konstruktivna	min(8/15)		
x=1,7	+	9,22	10,05	6/25	2,68	109%	9%	2,1	min	375%	min(8/15)		
	-	2,94	6,03	6/25	2,68	205%	105%	0	min	konstruktivna	min(8/15)		
w=3,14	+	4,29	6,03	6/25	2,68	141%	41%	1,17	min	90%	min(8/15)		
	-	9	10,05	6/25	2,68	112%	12%	1,73	min	895%	min(8/15)		
x<1	+	4,66	6,03	6/25	2,68	129%	29%	0	min	konstruktivna	min(8/15)		
	-	7,08	7,07	6/25	2,68	100%	0%	6,57	7,33	8%	-64%		
B	-	7,08	7,07	6/25	2,68	100%	0%	6,57	7,33	8%	-64%		
10.	POZ 106	B	6,14	7,07	6/25	2,68	115%	15%	0	7,23	konst	-64%	
		C											
		C-D-C											
		U	20,1	27,14	6/15	3,73	135%	35%	31,1	15,96	-13%	-76%	
		x<1,00	3,08	27,14	6/15	3,73	881%	781%	3,8	6,1	899%	-59%	
		w=1,5	3,86	27,14	6/25	2,68	698%	598%	3,8	0	614%	min(8/15)	
		w=2,9	9,62	27,14	6/25	2,68	297%	187%	11,68	0	98%	min(8/15)	
		w=5,1	34,4	36,10	6/25	3,73	305%	3%	30,7	7,25	18%	49%	
		U	31,8	31,67	6/15	3,73	100%	0%	35,82	7,25	14%	-19%	
		11.	POZ 107	gore	15,0	16,93				15,08		6%	
	colic		16,93				7,35		124%				
12.	POZ 108	M U 1	5,3	8,01	6/25	2,28	151%	51%	2,67	5,54	200%	59%	
				1,6	6/25	2,28		gornje	11,67	5,54	-86%	-59%	
13.	POZ 109	M 1	8,14	9,24	6/25	2,28	114%	14%	8	min	16%	min(8/15)	
		M 1-2	4,08	6,9	6/25	2,28	169%	69%	10,95	5,85	-37%	-67%	
14.	POZ 110	Serižak nad svim otvornima											
15.	POZ 111	1,2	1,55	6/25	2,28	128%	28%	1,51	4,22	1%	min(8/15)		
16.	POZ 112	Nosivi smjer	6,05	7,07			117%	17%	4,01	0	76%	nema rubne arm.	
		Razdjelna		0,76					0,807	0	-65%		
17.	POZ 113	smjer x	3,25	4,02			124%	24%	4,38	0	-8%	nema rubne arm.	
		smjer y	7,4	4,52			113%	13%	4,4	0	3%	nema rubne arm.	
17.	POZ 113	smjer x	6,32	6,05			95%	-5%	2,81	0	115%	nema rubne arm.	
		smjer y	6,32	6,05			95%	-5%	2,77	0	118%	nema rubne arm.	

Tablica 1. Analiza armiranja konstrukcije



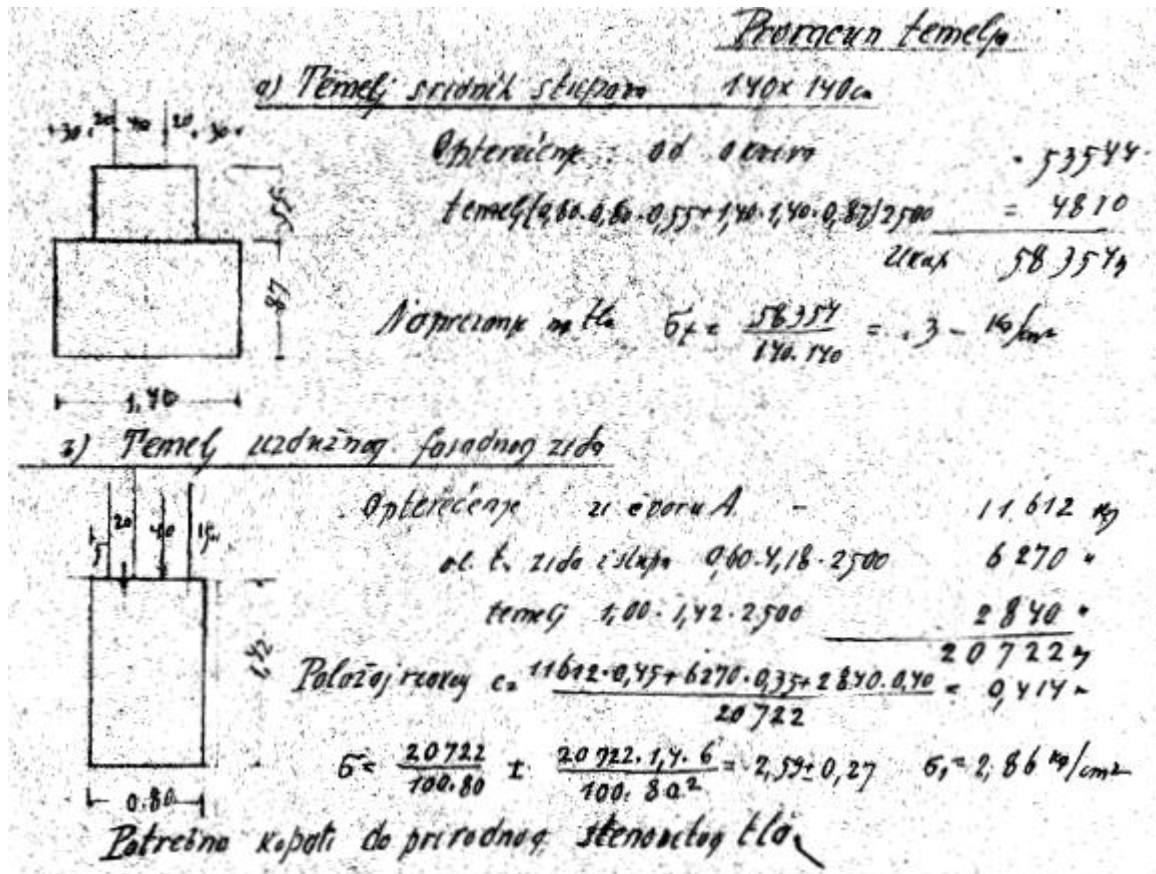
Slika 7. Naponi ispod oslonaca-prednja strana



Slika 8. Naponi ispod oslonaca-zadnja strana



Projekant Crkve sv. Jakova primjetio da dolazi do povećanih napona u tlu, te je naložio da se temelji ukopaju dublje tj. do prirodno stjenovitog tla. Taj dio proračuna je priložen ispod.



Slika 9. Stari proračun temelja

2. MIŠLJENJE O SIGURNOSTI KONSTRUKCIJE

Konstrukcija kao cjelina nije imala značajnijih odstupanja u usvojenoj armaturi. Iako je projektant na par mjesta nakon izvršene analize opterećenja uveo ta ista opterećenja 20-30% iz osobnih razloga, vjerojatno je bio nesiguran u način raspodjele opterećenja na 3D konstrukciji ili u točnost proračuna koji je koristio u to vrijeme 60-ih godina.

Na dosta pozicija armatura nije zadovoljila nešto strože EC propise, po pitanju minimalne armature. Stoga je povećana opasnost od krčkog loma. Većina greda je za minimalnu poprečnu armaturu imala $\phi 6/25$ što po EC-u ne prolazi. Što se tiče uzdužne armature POZ 103 nije zadovoljila, ali ona leži na zidu tako da nije ugrožena cjelokupna sigurnost. U pločama nije stavljena rubna armatura a po EC-u ona treba iznositi 1/4 Armature iz polja.



Najveća nesigurnost proizlazi iz nedovoljne nosivosti temeljnog tla koje je nosivosti cca. 200kPa, dok su rezultati dobiveni u računalnom programu Tower 6 iznosili cca. 370kPa ispod temelja samaca te 350kPa ispod temeljnih traka. Mjerodavni su bili temelji u okolini tornjeva.

Čak je i projektant u proračunu vidio da se naponi u tlu kreću od 270-300kPa te je dao opasku da se moraju temelji dublje ukopati. U radu su se dobili nešto veći rezultati jer projektant nije u analizi opterećenja uračunao težinu zvonika i popratne konstrukcije te nije usvajana moguća težina snijega (usvojio sam $0,5\text{KN/m}^2$), kao i to da je proračun rađen na 3D modelu pa je moguće da dođe do drugačije raspodjele opterećenja.

Iz ovoga bi se dalo zaključiti da bi moglo doći do popuštanja tla pod temeljima tornjeva te njihovog zakošenja. Ovaj problem se mogao riješiti temeljenjem zvonika na temeljnoj plohi, time bi se naponi spustili do dozvoljenih vrijednosti.

LITERATURA

EN 1991-1-1 (2002) (English): Eurocode 1: Actions on structures

EN 1992-1-2 (2004) (English): Eurocode 2: Design of concrete structures

EN 1997-1 (2004) (English): Eurocode 7: Geotechnical design

EN 1998-1 (2004) (English): Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance

EC2: Proračun betonskih konstrukcija, Prof.dr.Života Perišić