

Krešimir ŠARAVANJA
Davor POPIĆ
Vinko ŠARAVANJA

**KONTROLA KVALITETE BETONA I KOMPONENTI ZA
HE PEĆ MLINI (BIH)
QUALITY CONTROL OF CONCRETE AND CONCRETE
COMPONENTS FOR THE HPP PEC MLINI (B&H)**

**SAŽETAK
SUMMARY**

U ovom radu je dat kratak prikaz kontrole kvalitete betona pri izgradnji HE Peć Mlini, prve hidroelektrane izgrađene u BiH nakon 25 godina (oko 40 km zračne linije od Mostara, 75 km od Splita i 22 km od Jadranskog mora). Izgradnja je započeta izgradnjom tunela u listopadu 2001. godine i trajala je do lipnja 2004. godine. Predviđena vrijednost investicije je bila 68 milijuna maraka. Predviđena godišnja proizvodnja HE Peć Mlini je oko 82 GWh. In this paper a short review of the concrete quality control during construction of the HPP Pec Mlini, the first HPP constructed in B&H after 25 years, are presented (about 40 km distance from Mostar, 75 km from Split and about 22 km from Adriatic sea). The plant construction started by constructing the tunnel in October, 2001. The construction have been completed in June, 2004. The planned investments is about KM 68 M. The planned annual output of the HPP Peć Mlini is 82 GWh.

Mr. sc. Krešimir ŠARAVANJA, d.i.g., «IGH-Mostar» d.o.o. Mostar, Dubrovačka bb, i GF Sveučilišta u Mostaru, Kralja Zvonimira 14, Mostar, BiH
Davor POPIĆ, d.i.g., «IGH-Mostar» i GF Sveučilišta u Mostaru, BiH
Vinko ŠARAVANJA, d.i.g., «IGH-Mostar», BiH

1. UVOD

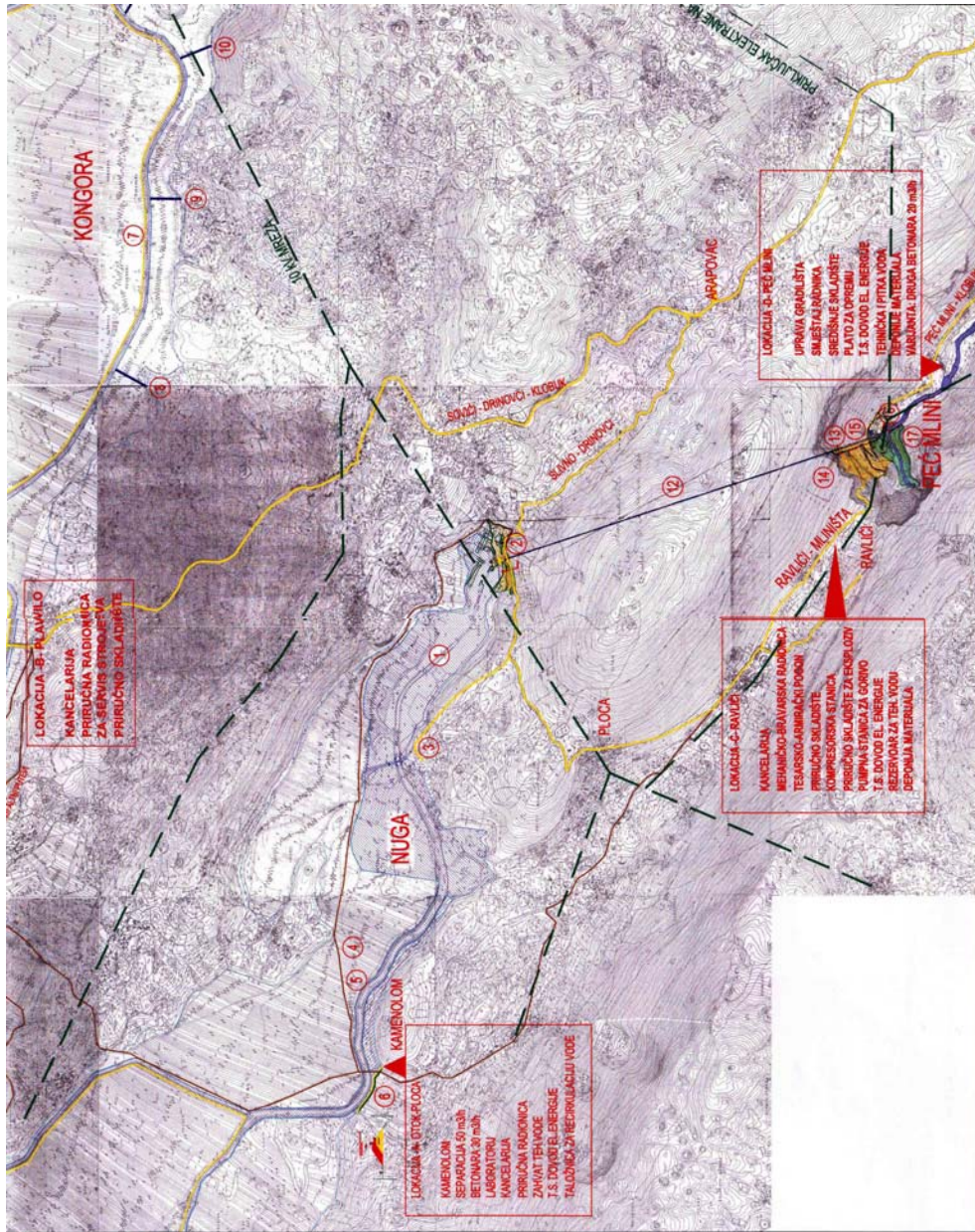
Hidroelektrana Peć Mlini, čiji je naručitelj JP "Elektroprivreda HZ Herceg-Bosne" d.o.o. Mostar, izgrađena je blizu mjesta Drinovci, općina Grude, Županija Zapadnohercegovačka, Bosna i Hercegovina (oko 40 km zračne linije od Mostara, 75 km od Splita i 22 km od Jadranskog mora). Energetski koristi vode rijeke Tihaljine na prirodnoj visinskoj razlici od 107 metara između Imotsko-grudskog polja – Nuga i strojarnice u podnožju brda Petnik na lokaciji Peć Mlini. Kroz brdo Petnik prokopan je 1951. godine tunel kroz koji je vršena evakuacija vode iz polja, što je djelomično smanjilo trajanje plavljenja polja. Prema tehničkom rješenju "Elektroprojekt" d.d. Zagreb, prva u nizu budućih hidroelektrana na slivu rijeke Tihaljine, HE Peć Mlini je derivacijska elektrana koja koristi vode rijeke Vrljice, te sa sjevera vode Grudskog vrila, koje se dovodnim kanalom Grudsko vrilo–Vrlika u duljini od 11 km dovode u akumulacijski bazen za dnevno izravnavanje voda površine 40 ha i volumena 800.000 m³.

Na ulazu u novi **hidrotehnički-dovodni (betonski) tunel** promjera 3,6 m, duljine 1.574 m i kapaciteta 30 m³/s, koji je izgrađen paralelno s postojećim na osnoj udaljenosti od 35 m, izgrađena je **ulazna građevina** (s taložnicom) visine oko 20 m sa rešetkom za čišćenje i tablastim zatvaračem na hidraulični pogon. Izlaz dovodnog tunela završava **betonskom samostojećom vodnom komorom**, visine 42 m, unutarnjih dimenzija 8,0 x 5,40 m, koja osigurava pouzdanost rada elektrane kod vodostaja u bazenu Nuga od 248 do 263 m n.m. Na vodnu komoru nastavlja se **zasunska komora** sa sigurnosnim tablastim zatvaračem na hidraulični pogon.



Sl. 1.-2. Nizvodni dio bazena Nuga s uređenim obalama, te starom i novom ulaznom građevinom u podvodne tunele

Na dvije vertikalne Francis turbine snage po 15 MW i protoka po 15 m³/s, koje su instalirane u **vanjskoj strojarnici** dimenzija 22,50 x 15,0 m u podnožju brda Petnik, voda se dovodi kroz čelični tlačni cjevovod dužine 160 m i promjera 2,6 m (debljina stijenki je 22 mm), koji je gornjim dijelom položen po kosini prirodnog terena, dok je drugim dijelom ukopan. U svom donjem dijelu cjevovod se račva na dva dijela, prema strojevima opremljenim turbinama i generatorima.



Sl. 3. Situacija objekata HE Peć Mlini
 (1-Bazen Nuga do kote 252 m n.n.; 2-Ulazna građevina; 12-Dovodni tunel;
 13-Izlazna građevina tunela; 14-Vodna komora; 15-Tlačni cjevovod; 16-Strojarnica)

Izgradnja je započeta izgradnjom tunela u listopadu 2001. godine i trajala je do lipnja 2004. godine. Predviđena vrijednost investicije je bila 68 milijuna maraka. Predviđena godišnja proizvodnja HE Peć Mlini je oko 82 GWh.



Sl. 4. Strojarnica sa izlazima iz tlačnih tunela: na novom – vodna komora i prijelaz na čelični cjevovod, a na starom - preljev i brzotok

Za potrebe izgradnje objekata u sklopu HE Peć Mlini angažirano je poduzeće «Konstruktor inženjering» d.d. Split – Predstavništvo Mostar. Iskop dovodnog tunela obavljen je klasično sustavom bušenja i miniranja, korištenjem bušačkog stroja (jumbo) s dvije grane, te eksplozivom uz upotrebu neelektričnih nonel upaljača. Betoniranje se obavljalo korištenjem čelične tunelske oplatae dužine 10 m uz prijenos hidrauličnim kolicima. Obloga tunela je armiranobetonska, debljine 30 cm. Radovi su se odvijali u tri smjene. Građenje ulazne građevine organizirano je sustavom miniranja. Betoniranje je provedeno upotrebom systemske DOKA oplatae. Beton se ugrađivao betonskom autopumpom. Iskopi za vodnu i zasunsku komoru izvedeni su uobičajeno kao vertikalna okna upotrebom eksploziva, te korištenjem bagera čekićara. Betoniranje se obavljalo u specijalnim oplataama, a ugradnja betona toranjskom dizalicom.

Stručni nadzor su vršili predstavnici Naručitelja, a kontrola kvalitete radova povjerena je «IGH–Mostar» d.o.o. Mostar, za kojeg je dio ispitivanja izvršio i «IGH» d.d. Zagreb-PC Split.

2. ISPITIVANJA KOMPONENTI BETONA

Kao komponente betona korišteni su:

- **drobljeni agregat** vapnenačkog porijekla sa separacije «Platica-Otok», Drinovci-Grude, koja se nalazi pod višegodišnjom kontrolom «IGH-Mostar», separiran u frakcije 0/4 mm, 8/16 mm i 16/32 mm, dok frakcija 4/8 mm nije korištena;
- **cement** oznake PC 30z 45S, proizvodnje «Dalmacijacement» d.d. Split;
- **voda** iz vodovoda tehničke vode;
- **aditivi (dodaci betonu)** za poboljšanje ugradljivosti svježeg betona, za povećanje otpornosti na mraz aerant, a za konstrukcije većih dimenzija usporivač:

- **superplastifikator** «Kemament L10», proizvodnje «Kema», Slovenija;
- **superplastifikator** «Tecnos 95» i «Tecnos M», proizvodnje «Tecnochem Italiana», Bergamo, Italija», u količini od 1,3 %, odnosno 1,5 %, u odnosu na masu cementa, koji osigurava Slump od 10-16 cm na mjestu ugradnje (za beton MB-40);
- za ugrađivanje betona kod konstrukcija većih dimenzija - **plastousporivač** «Plastard 18», proizvodnje «Tecnochem Italiana», Bergamo, Italija», u količini od 0,3 % mase cementa (doziran ručno), koja osigurava Slump na mjestu ugradnje 8-12 cm;
- **aerant** «Meta Air», u količini od 0,05 % u odnosu na masu cementa;
- **dodatak za zimsko betoniranje** «Mrazim», proizvodnje «KGGK» Karlovac, dodan zajedno s vodom u količini od 1,8 % u odnosu na masu cementa.

Na betonari su redovito uzimani kontrolni uzorci cementa na kojima su ispitivana osnovna svojstva: standardna konzistencija, vrijeme vezanja, stalnost volumena, finoća mliva, te čvrstoće. U razdoblju od srpnja 2002. do siječnja 2004. godine ispitano je ukupno 14 uzoraka, što je obrađeno u pojedinačnim izvještajima o ispitivanju cementa. Analizom rezultata ispitivanja zaključeno je da su ispitani uzorci cementa zadovoljili uvjete kvalitete.

Pored kontrole proizvodnje agregata na separaciji, tijekom građenja na betonari su svakog mjeseca uzimani uzorci agregata na kojima su ispitivani: granulometrijski sastav, sadržaj sitnih čestica, modul finoće, te sadržaj podmjernih i nadmjernih zrna. Rezultati ispitivanja agregata zadovoljavaju uvjete kvalitete propisane normama i tehničkom dokumentacijom.

U razdoblju od lipnja 2002. do lipnja 2004. godine ispitano je ukupno 25 uzoraka, što je obrađeno u pojedinačnim izvještajima o ispitivanju agregata.



Sl. 5. Separacija "Platica-Otok" Drinovci-Grude

Za spravljanje betona korištena je voda iz vodovoda tehničke vode. Ispitivanje kvalitete vode izvršeno je u kemijskom laboratoriju u Splitu.

Aditivi posjeduju uvjerenja o kvaliteti proizvođača, a njihov učinak u betonima je potvrđen prethodnim ispitivanjima. Kontrolna ispitivanja korištenih aditiva vršena su u Splitu.

3. ISPITIVANJA BETONA

Ugrađeni beton proizveden je u tvornici betona GP «Toming» d.o.o. Drinovci-Grude, koja se nalazila u blizini, ali izvan gradilišta.



Sl. 6. Betonara GP «Toming» Drinovci-Grude

Kontrolu proizvodnje betona provodili su proizvođač betona - interna kontrola, a vanjsku (dokaznu) kontrolu provodio je «IGH-Mostar». Tokom gradnje objekta izdavani su odgovarajući izvještaji koji se odnose na proizvodnju sposobnost betonare, homogenost proizvedene betonske mješavine i uvjerenja o kvaliteti proizvedenog betona. Betonara i proizvedeni beton su dobili prolaznu ocjenu.

Za transport betona od betonare do mjesta ugradnje, te omogućavanje kvalitetne ugradnje, korištene su automiješalice, pumpe za beton, oplatni vibratori, te pervibratori. Beton je ugrađivan u elemente građevina uz pomoć dizalice i korpe za beton, pumpe za beton ili direktno iz automiješalica na mjestima gdje je to bilo izvedivo.

Betoniranje je vršeno u razdoblju od 23.01.2003. godine do 07.04.2004. godine.

3.1. PRETHODNA ISPITIVANJA BETONA

Prethodna ispitivanja betona MB-30 za tunelsku oblogu provedena su u laboratoriju Sirobuja, Split od strane «Konstruktor inženjeringa» d.d. Split. Odabrani su ranije navedeni komponentni materijali.

Odabrani sastavi betonskih mješavina, dati projektima betona za pojedine građevine u sklopu objekta HE Peć Mlini, provjereni su od strane «IGH-Mostar» na gradilišnoj betonari prije početka radova.

3.2. KONTROLNA ISPITIVANJA BETONA

Od betona u svježem stanju je zahtijevano da se može transportirati do mjesta ugradnje i u oplati bez pojave odvajanja pojedinih sastojaka (segregacije) i da prilikom zbijanja ispuni

sav prostor u oplati i oko zapreka (armature). Prilikom uzorkovanja betonskih uzoraka za ispitivanje čvrstoće vršeno je ispitivanje konzistencije, mjerom slijeganja (Slump), a povremeno i sadržaja pora (uvučenog zraka) i volumne mase svježeg betona.

Kontrola sukladnosti s uvjetima projekta konstrukcije provođena je na mjestu ugradnje betona prema predviđenim programima uzorkovanja iz projekata betona koje je za pojedine objekte u sklopu HE Peć Mlini izradio «Konstruktor inženjering».

Ocjenjivanje postignute kvalitete i preuzimanje betona obavljeno je po partijama (skupinama) betona. Partiju betona su formirane po vrstama betona, klasi betona i razdoblju ugradnje (mjesečno), vodeći računa o broju uzoraka po partiji (min. 3, max. 30).

Prema programu ispitivanja ili na zahtjev nadzornog organa uzorkovano je ukupno 1.443 uzoraka betona oblika kocke brida 15 cm, koji su ispitani u Mostaru, od čega 1.287 uzoraka pri starosti betona od 28 dana, a preostali uzorci su ispitani nakon 60 i 90 dana, te korišteni za ispitivanje otpornosti na djelovanje mraza.

Prvo je ispitivana volumna masa očvrstlog betona pomoću hidrostatske vage, a zatim je ispitivana tlačna čvrstoća u umjerenoj preši marke «Controls» Italija, kapaciteta 3.000 kN.

Od 1.287 uzoraka formirana je 141 partija betona (1 partija MB-10, 1 MB-15, 8 MB-20, 133 MB-30 i 8 MB-40, od kojih nisu zadovoljile 4 partije, ali bez bitnog utjecaja).

Rezultati ispitivanja su dati u mjesečnim izvještajima «IGH-Mostar», kao i u Završnom izvještaju o kvaliteti ugrađenog betona (Knjiga 1 i Knjiga 2).

Skupljanje betona dovodnog tunela HE Peć Mlini, kojem je dodan aditiv «Tecnos M» vršeno je u Splitu (prethodno ispitivanje), a zatim je u izvršeno ispitivanje betona na objektu (kontrolno ispitivanje). Na uzorku oblika prizme dimenzija 15x15x75 cm, prva 24 sata vršena su očitavanja deflektometrom, a zatim narednih 56 dana deformetrom mjerne baze 600 mm, uz praćenje termohigrometrijskih uvjeta u kojima se uzorak nalazi. Rezultati ispitivanja skupljanja betonskih uzoraka (u mm/m) su pokazali male vrijednosti skupljanja. Analiza uzetih uzoraka, kao i prosječnih količina betona koji se odnose na 1 uzorak, po pojedinim objektima u sklopu objekta data je u Tablici 1.

Tablica 1: Pregled osnovnih podataka o betoniranju i uzorkovanju po objektima

Objekt	Kol. betona (m ³)	Razoblje betoniranja	Broj uzoraka	Broj m ³ /1 uzorak
Ulazna građevina	3.260	31.07.03.-06.08.03.	180	18
Dovodni tunel	12.851	13.08.02.-06.12.03.	498	26
Vodna i zasunska komora	3.721	23.01.03.-31.01.04.	205	18
Strojarnica i dr.	7.100	21.12.03.-07.04.04.	419	17
Tlačni cjevovod	3.500	02.07.03.-02.04.04.	141	25
UKUPNO	30.430	31.07.03.-07.04.04.	1.443	21

Statistički pokazatelji partija MB-30 dati su u Tablici 2.

Tablica 2: Pregled pokazatelja kontrole sukladnosti po objektima

Građevina	Uk. br.uz.	Kontrola sukladnosti	Partije po MB	Statist. pokazatelji (MPa)		
				X_n	S_n	f_{bk}
Ulazna građevina	180	141	16 MB-30 2 MB-40	41,8	4,92	35,5
Dovodni tunel	498	422	7 MB-20 27 MB-30 1 MB-40	38,8	4,26	33,3
Vodna i zasunska komora	205	149	34 MB-30	41,0	4,09	35,7
Tlačni cjevovod	141	120	15 MB-30	39,7	4,34	34,2
Strojarnica i dr.	419	355	1 MB-10 1 MB-15 1 MB-20 31 MB-30 5 MB-40	38,7	4,13	33,5
UKUPNO	1.443	1287	141	-	-	-

Marka vodonepropusnosti betona V-8 ispitivana je prema normi HRN U.M1.015. Ispitivanja su vršena na uzorcima oblika valjka dimenzija 150/150 mm. Nakon povećanja tlaka do 8 bara uzorci su izloženi cijepanju (brazilska metoda) da bi se kontrolirala dubina prodora vode u uzorak. Ukupan broj ispitanih uzoraka je bio 44, i to: ulazna građevina-2, dovodni tunel-14, vodna i zasunska komora-9, tlačni cjevovod-6, te strojarnica (i dr)-13.

Marka otpornosti prema djelovanju mraza ispitivana je prema normi HRN U.M1.016. Ispitivan je pad čvrstoće nakon 50, odnosno 100 ciklusa smrzavanja/odmrzavanja. Ukupan broj ispitanih je bio 3, od čega: ulazna građevina - 1 M 100, dovodni tunel - 1 M 50, te vodna i zasunska komora - 1 M 100.

4. ISPITIVANJE BETONSKOG ČELIKA

Betonski čelik za građenje isporučen je zajedno sa odgovarajućim potvrdama o kvaliteti. Pored toga uzimani su uzorci na kontrolna ispitivanja, i to:

- glatki čelik GA 240/360, profil 6 mm (1 ispitivanje), ispitan u Splitu;
- rebrasti čelik RA 400/500, profili 8 mm – 32 mm (155 ispitivanja), ispitan u Splitu;
- zavarene armaturne mreže, obostrano nosive Q188, Q131, Q335, Q785 (2 uzorka), Q385 i Q503, te uzdužno nosive mreže R335 (3 uzorka) i R425, ispitan od Instituta za strojarstvo Sveučilišta u Mostaru.

Rezultati ispitivanja odgovaraju uvjetima Propisa o tehničkim normama za čelične mreže, betonsko željezo i žice za prednapinjanje (SL, br. 41/85), izuzev manjih odstupanja armaturnih mreža.