

## PREMOŠTENJE ŠPILJE U TUNELU "VRATA"

**Jure Galić**

*Sedra građenje d.o.o.*

### Sažetak

Prikazuje se projekt premoštenja špilje u tunelu "Vrata" na Autocesti Rijeka-Zagreb u sklopu nadopune na puni profil autoceste. Kako ovakvi prirodni objekti predstavljaju nepremostivu zapreku projektiranom načinu gradnje tunela bilo je potrebno pristupiti projektiranju tehničkog rješenja za premoštenje špilje. Kod projektiranja novog objekta najprikladnije rješenje traženo je obzirom na skućene uvjete tunela, nosivost konstruktivnih elemenata budući da tunelska obloga predstavlja iznimno veliko opterećenje, te uklapanje ravnih prednapetih elemenata konstrukcije u horizontalnu krivinu u kojoj je postavljena geometrija ceste.

**Ključne riječi:** *krš, tunel, špilja, most*

### Abstract

Design is shown for bridging the cave found in the „Vrata“ tunnel, on the Rijeka – Zagreb highway. This was unsolvable problem for the accepted tunnelling method, the most appropriate solution was searched for taking care of the very small tunnel space, bearing capacity of structural elements as tunnel formwork is extremely heavy, and the needed fitting of the straight prestressed girders into the horizontal curve in which the highway is placed.

**Key words:** *karst, tunnel, cave, bridge*

### 1. Uvod

Trasa autoceste Rijeka – Zagreb, dionica Oštrovica-Vrata, prolazi izrazito teškim brdskim terenom. U II. fazi – dopuni na puni profil autoceste, dužina desne tunelske cijevi tunela "Vrata" iznosi  $L=262,00$  m od stac. u km 31+168,00 do stac. u km 31+430,00 (stacionaže su po osi desnog kolnika). Tijekom probijanja cijevi naišlo se na špilju koja se proteže ispod i kroz projektiranu tunelsku cijev približno od stac. u km 31+260 do približno stac. u km 31+305, te predstavlja nepremostivu zapreku projektiranom načinu gradnje tunela.

Projektom su predviđene sljedeće faze radova:

1. Stabilizacija stijenki špilje prema geotehničkom projektu;
2. Izrada nasipa u špilji koji bi služio kao podloga na kojoj će se betonirati nosači tunelske obloge i nosači kolnika;
3. Izrada temeljne grede upornjaka na koju se oslanjaju nosači;
4. Izrada nosača i kolničke konstrukcije;
5. Izrada tunelske obloge.

U nastavku je opisano tehničko rješenje kojime je omogućeno premoštenje spomenute špilje.

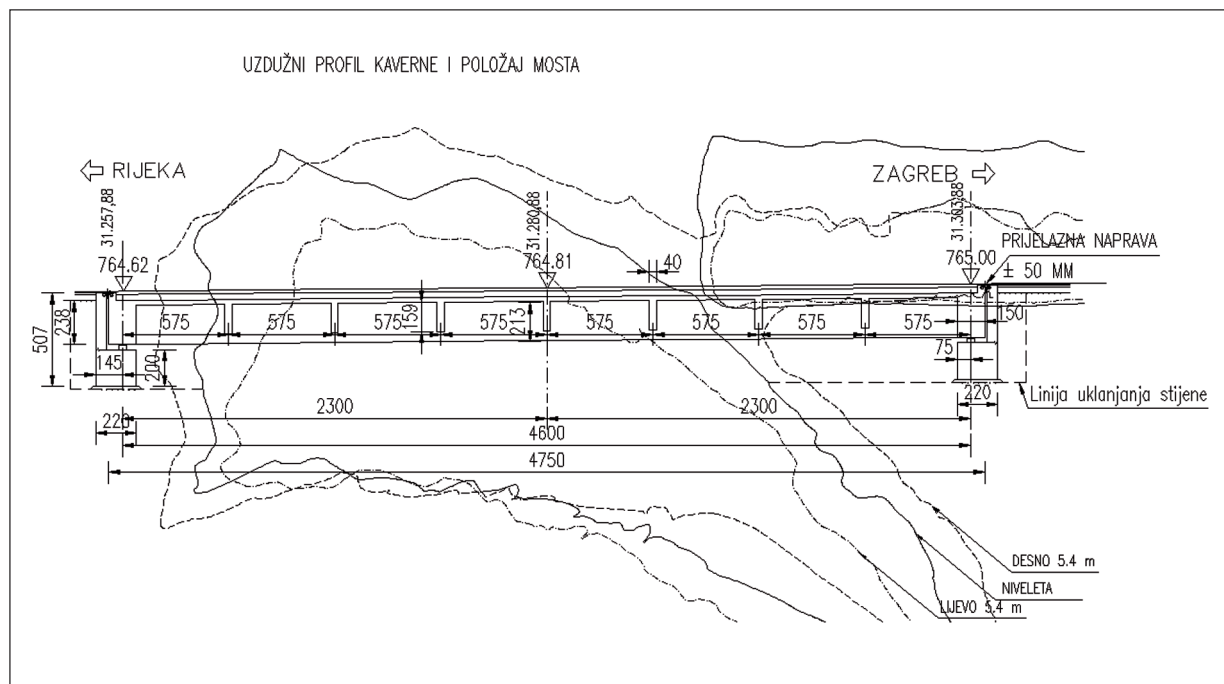
Rasponsku konstrukciju mosta kroz tunel "Vrata" sačinjavaju rubni nosači na koje je oslonjena tunelska obloga, te nosači kolnika na kojima je kolnička ploča i nenosivi slojevi kolničke konstrukcije. Konstrukcija tipa proste grede ima statički raspon od 46,0 m, dok je ukupna dužina nosača 47,5 m. Nosači se nakon betoniranja prednapinju kablovima u jednoj fazi.

Nakon izrade nosača i napinjanja kabela, izbetonirani su poprečni nosači i kolnička ploča, te se pristupilo izvedbi slojeva kolničke konstrukcije i elemenata odvodnje kolnika kako je predviđeno glavnim projektom tunela. Opisani tijekom radova prikazan je na Slici 5.

Navedeno rješenje odabrano je uzimajući u obzir dimenzije i oblik špilje koje su zorno prikazane na Slikama 1. i 2. Isto tako, budući je špilja novootkrivena i nepoznati su hidrološki uvjeti koji u njoj vladaju potrebno je osigurati otvor za komunikaciju radi istraživanja same špilje i kontrolnih pregleda konstruktivnih elemenata mosta.

Konstrukcija u potpunosti prati projektirane elemente trase tunela, tj. uzdužni nagib autoceste koji iznosi 0,833 %, a smještena je u horizontalnoj krivini radijusa 700,00 m.

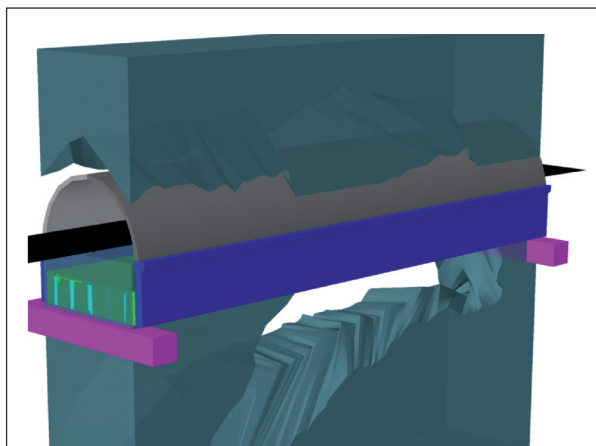
U poprečnoj dispoziciji smještene su kao i u tunelu dvije prometne trake širine 3,85 + 3,85



**Slika 1:** Uzdužni profil kaverne i položaj mosta

sa poprečnim nagibom 5%, te dva uzdignuta prolaza širine po 1,00 m. Visina uzdignutog rubnjaka je 20 cm, a slobodna visina u sredini kolnika iznosi 6,85 m. Geometrija intradosa tunelske obloge iznad nosača istovjetna je geometriji intradosa u tunelu.

Oba upornjaka U1 i U2 izvedeni su kao klasični upornjaci koji se preko sloja podložnog betona oslanjaju direktno na stijenu. Kako je projektom predviđeno, prvo je izvedena ležajna greda na koju se oslanjaju nosači, a nakon prednapinjanja nosača betonira se u drugoj fazi prsni zid upornjaka. Ležajna greda oba upornjaka široka jest 220, a visoka 200 cm. Ukupna visina upornjaka U1 iznosi 509 cm, a upornjaka U2 512



**Slika 2:** 3D prikaz špilje i premoštenja

cm. Na ležajnu gredu smješteni su neoprenski ležajevi dimenzija prema statičkom proračunu, te su direktno na njih betonirani nosači obloge i nosači kolnika. Upornjaci su izvedeni betonom klase C30/37, i armirani mekom armaturom B500.

## 2. Karakteristike poprečnog presjeka

Rubni nosači tunelske obloge i nosači kolnika izvedeni su od betona razreda čvrstoće C 50/60, a dobetonirani poprečni nosači i kolnička ploča C 30/37, i armirani se mekom armaturom B500. Nosači tunelske obloge su prednapeti sa po devet (9) kabela, a nosači kolnika sa po četiri (4) kabela. Prednapinjanje se nije smijelo izvoditi prije nego beton dostigne čvrstoću od 45 MPa radi osiguranja preuzimanja naprezanja u početnoj fazi. Tunelska obloga na mostu izvedena je od betona klase C25/30 kao i obloga u tunelu.

Rasponski sklop prikazan na Slici 3 formiran je od sljedećih elemenata:

- nosači tunelske obloge
- nosači kolnika
- kolnička ploča (betonirana povrh nosača kolnika)
- poprečni nosači nad ležajem (debljine 150 cm)
- poprečni nosači u polju na raznaku od 5,75 m (debljine 40 cm)

Betoniranjem ploče povrh nosača kolnika ostvaruje se zajedničko djelovanje svih nosača

u poprečnom presjeku. Sprezanje nosača i ploče ostvaruje se armaturom koja je ostavljena da viri iz gornje površine nosača, te trenjem betona pa je gornja ploha nosača ostavljena neobrađena. Zahtjevani poprečni nagib kolnika ostvaren je tamponskim slojem na koji se nadovezuju slojevi asfalta. Zajedničko djelovanje kolničke ploče i nosača obloge ostvareno je povezivanjem armaturom koja je ostavljena da viri iz bočne stranice nosača obloge.

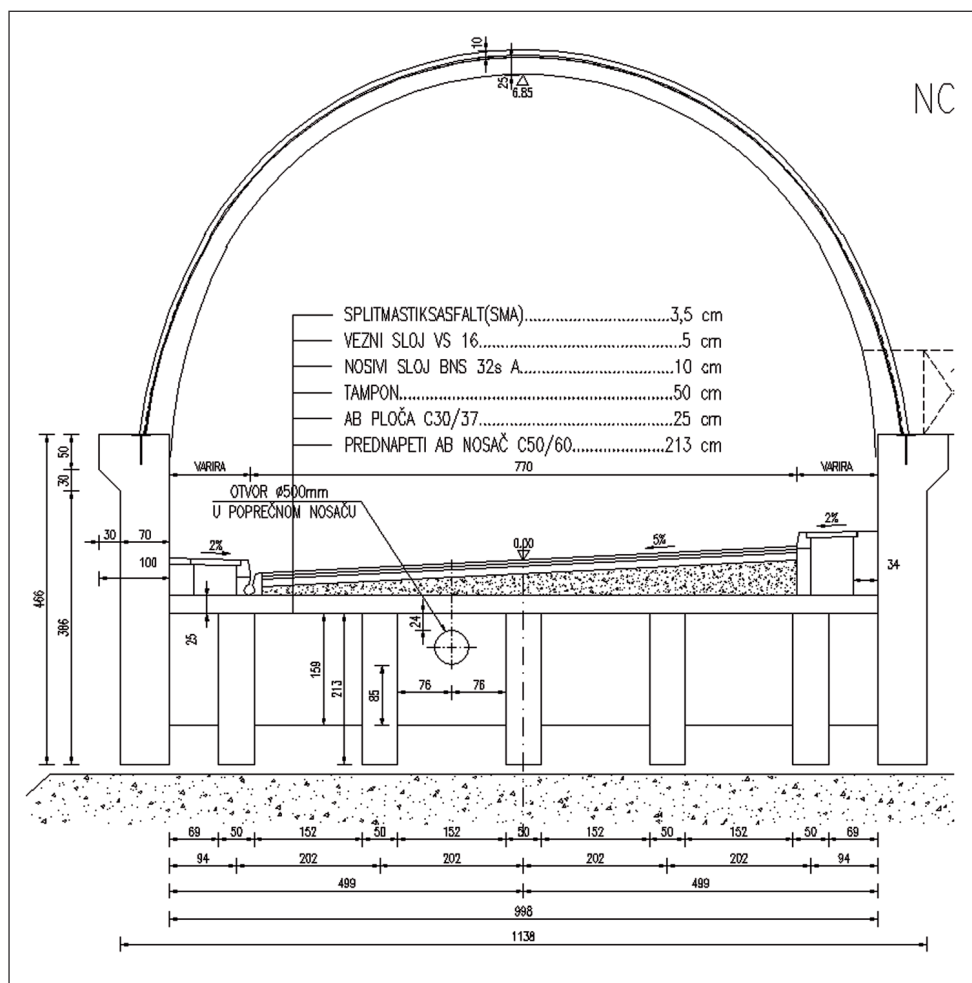
Konstrukciju kolnika u tunelima nije moguće izvoditi u etapama, što znači da se mora dimenzionirati i izvesti za ukupno projektno razdoblje. Kolničku konstrukciju čine slijedeći slojevi:

- habajući sloj debljine 3,5 cm – SMA 11
- vezni sloj debljine 5 cm – VS 16
- nosivi sloj debljine 10 cm - BNS 32s A
- nosivi sloj debljine 50 cm od zrnatog kamenog materijala 0/63 mm,  $M_s \geq 100 \text{ MN/m}^2$
- AB ploča kolnika

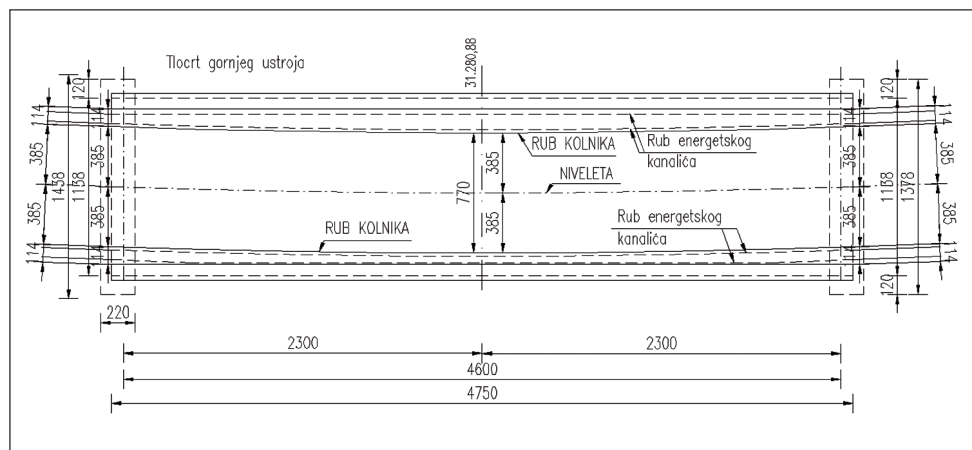
Iznad upornjaka U1 i U2 ugrađene su prijelazne naprave koje imaju mogućnost dilatiranja  $\pm 50 \text{ mm}$ , a posebna pažnja posvećena je kvalitetnom detaljiranju izrade hidroizolacije u području prijelaznih naprava, te na mjestima spoja tunelske obloge mosta i samog tunela te osiguranju njezine sveukupne funkcionalnosti, kako je prikazano na detaljima sa Slike 7.

### 3. Konstruiranje i detalji

Kako je vidljivo iz poprečnog presjeka prikazanog na Slici 3, geometrija intradosa obloge jednaka je u tunelu i na mostu. Iz tog razloga vertikalna tangenta na oblogu tunela poklapa se sa unutrašnjim rubom nosača obloge. Sami nosači oblikovani su sa istakama prema vanjskoj strani tako da omogućuju komunikaciju i transport radnika tijekom izvedbe obloge. Isto tako, funkcija istake jest i u tome da omogući uklapanje tunelske obloge koja je u horizontalnoj krivini radijusa 700,00 m i njeno kvalitetno sidrenje u nosače postavljene pravocrtno. Visina nosača



Slika 3: Poprečni presjek mosta sa tunelskom oblogom



Slika 4: Tlocrt mosta

definirana je potrebnim razmakom za smještanje prednapetih kabela.

Budući da iz tehnoloških razloga prednapeti nosači moraju biti ravni, potrebno je u njihovu geometriju uklopiti horizontalno zakrivljenu tunelsku oblogu. To se postiže istakama sa vanjske strane nosača, a princip uklapanja vidljiv je iz tlocrtnog prikaza mosta (Slika 4).

Tlocrtno uklapanje rezultiralo je povećanjem širine energetskog kanalića sa jedne strane, odnosno smanjenjem širine sa druge strane, no ostavljeno je dovoljno prostora za smještaj svih predviđenih instalacija. Unutrašnji rub nosača obloge fiksno definira rub energetskog kanalića.

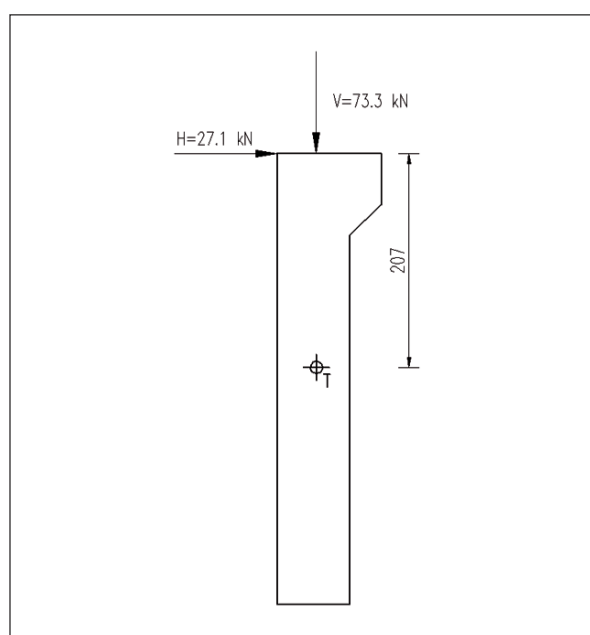
Budući da je potrebno osigurati vodonepropusnost tunelske obloge, posebna pažnja posvećena je rješavanju detalja spoja tunelske obloge na mostu sa tunelskom oblogom samog tunela. Na mjestu spoja postavlja se dilatacijska traka za brtvljenje od vulkanizirane gume. Traka je odabrana tako da može podnijeti deformacije konstrukcije uslijed skupljanja i puzanja, te eventualnih temperaturnih promjena, iako je u proračunskom modelu pretpostavljeno sa se konstrukcija nalazi u uvjetima konstantne temperature okoliša. Dodatno osiguranje dilatacijske trake postiže se prevlačenjem hidroizolacije tunela za cca 50 cm prema mostu, na sanirani dio svoda špilje.

Isto tako, velika pozornost posvećena je konstruiranju poprečnih nosača, budući da oslanjanje tunelske obloge daje reakciju čija horizontalna komponenta nije zanemariva, posebno zbrojena sa laganim ekscentricitetom nosača obloge koji nastaje uslijed izvedbe konzola sa vanjske strane. Shematski prikaz navedenih opterećenja dat je na Slici 6. Budući da se

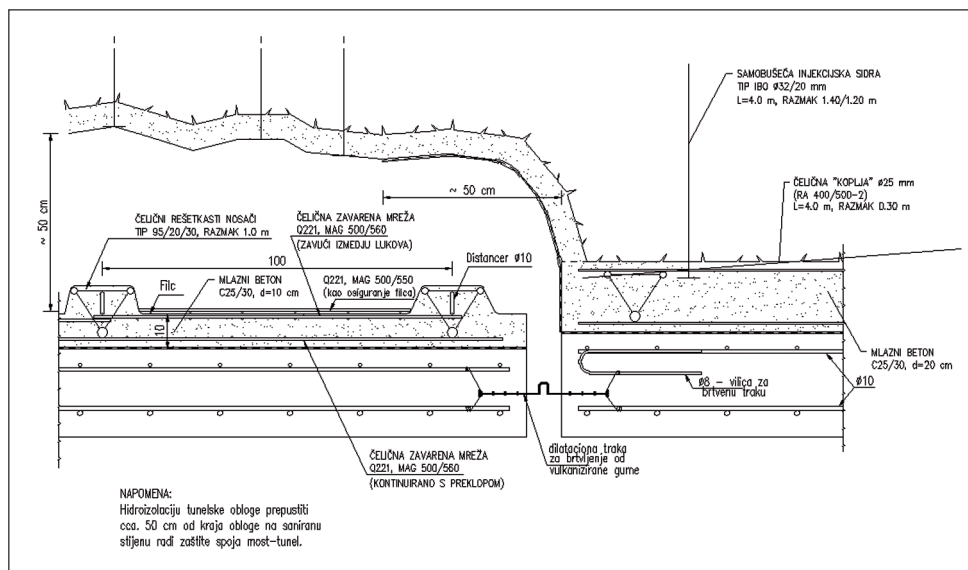
poprečni nosači izvode na licu mjesta nakon što su izbetonirani nosači obloge i kolnika,



Slika 5: Izvedeni glavni i sekundarni uzdužni nosači.



Slika 6: Reakcije obloge i podgrade kao opterećenje nosača



Slika 7: Detalj dilatacione brtve

detalji vođenja i preklapanja armature posebno su obrađeni da se osigura potreban prostor za kretanje radnika.

Opterećenje tunelskom oblogom i podgradnim sklopom zadano je kao stalni teret, s time da je razdvojeno u horizontalnu i vertikalnu komponentu prema slijedećoj skici. Tunelska obloga debljine je 25 cm, a podgrada 10 cm. Između podgrada i tunelske obloge lijepi se sloj hidroizolacije debljine 2 cm.

Budući su dimenzije nosača iznimno velike, a time i njihova težina, tehnologija izvođenja predviđa betoniranje nosača na licu mjesta. Prije izrade nosača bilo je potrebno izvesti nasip od dna kaverne do projektirane kote dna nosača. Nasip za betoniranje nosača izveden je sa pokosom 1:1,5 prema pravilima za izvođenje nasipa, kako bi se postiglo što manje slijeganje tla. Nasip je izveden ranije u odnosu na gornji ustroj (nosače, ploču i oblogu) da bi se minimizirao štetni utjecaj konsolidacije tla. Nasip je zbijan u slojevima do 30 - 50 cm debljine uz stalno vlaženje da bi se pri vrhu nasipa postigla zbijenost  $MS \geq 80$  MPa. Karakteristični detalj tijekom izvođenja radova prikazan je na Slici 5.

Da se osigura hidrogeološka funkcija špilje, te da se omogući otjecanje eventualno prisutnih

oborinskih voda u samoj špilji u dno nasipa se ugrađene su betonske cijevi  $\text{Ø}100$  cm.

Kao pripremu za izvođenje tunelske obloge, potrebno je bilo prije toga izbetonirati izgublenu betonsku oplatu, prema istim principima kao i za izvođenje tunelske podgrade. Podgrada se izvela na način da su čelični rešetkasti nosači postavljeni na razmaku 1,00 m, te je na njih postavljena čelična mreža Q221 u dvije zone. Čelični rešetkasti nosači sidreni se u nosače obloge na način da su zavareni za metalnu ploču ubetoniranu u vrh nosača. Nakon postavljanja armature, sa vanjske strane postavljen je sloj filca, te se betonirala izgubljena betonska oplata sa mlaznim betonom klase čvrstoće C25/30 kako je prikazano na slici 5. Slijedeći korak bilo je betoniranje tunelske obloge po kampadama koje odgovaraju dužini segmenta tunelske oplate. Betoniranje se izvodilo u slojevima visine 70 cm da se spriječi eventualno izbočavanje, a time i popuštanje izgubljene betonske oplate. Radi osiguranja periodičkih pregleda konstrukcije, kontrole i eventualne zamjene elastomernih ležajeva, te specijalističkih pregleda same špilje i podzemlja, predviđeni su otvori u tunelskoj oblozi neposredno prije upornjaka koji osiguravaju pristup osoblju navedenim elementima.



#### 4. Preporučena literatura

- Galić, Jure, Glavni projekt Tunel Vrata - most od st. 31.257,88 do st. 31.303,88, IPZ d.d., 2007.,
- Galić, Jure, Izvedbeni projekt Tunel Vrata - most od st. 31.257,88 do st. 31.303,88,, IPZ d.d., 2007.,
- EUROCODE 8: Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures Part 2: Bridges
- SOFISTIK, Allgemeiner Programm für statische und dynamische Analyse und Dimensionierung von Stahl-, Beton- und Verbundquerschnitten

#### AUTOR



##### Jure Galić

Mr.sc. Jure Galić, dipl. ing. građ., diplomirao na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 2001. godine, gdje je radio kao znanstveni novak na Zavodu za materijale: držao vježbe,

radio na tehničkoj dokumentaciji. (betonski kolnici, montažni elementi od lakog betona, mikro armirani, polimerom modificirani betoni, itd.). Magistrirao 2005. godine. Kao odgovorni projektant radio na tehničkoj dokumentaciji i statičkim proračunima armiranog i prednapetog

betona (adheziono i kabelsko prednapinjanje), projektatnski nadzor, tehnološki nadzor kontrole kvalitete betona, te uhodao do certificiranja proizvodni pogon u Jastrebarskom. Brinuo za kvalitetu i ispravnu primjenu materijala i tehnologija (miješanje, transporti ugradnja specijalnih betona). Stalni sudski vještak za graditeljstvo, izradio niz elaborata procjena vrijednosti nekretnina, i osiguranja dokaza u sudskim postupcima. 2009- 2014. direktor VG Vodoopskrba d.o.o., kasnije Predsjednik Uprave. Uvršten u popis najuspješnijih poduzetnika za 2010. i 2011. godinu prema portalu [www.poslovna.hr](http://www.poslovna.hr).