

UDK: 624.151.5:691.328(083.1)(045)

DEGRADACIJA BETONA I ARMATURE ARMIRANOBETONSKIH TEMELJA SA PREDLOGOM PREVENTIVNIH MERA ZAŠTITE OBUHVAĆENIH STRUČNOM REGULATIVOM

Zoran Bonić¹
Verka Prolović²
Darko Živković³
Ksenija Janković⁴

Rezime

Građevinske konstrukcije su tokom svog životnog veka izložene različitim agresivnim uticajima koji izazivaju njihovu degradaciju i smanjuju trajnost. Kada su u pitanju konstrukcije od armiranog betona, istraživanja su pokazala da se problem njihove trajnosti može svesti na probleme degradacije betona i armature u betonu. U radu je najpre ukratko data analiza agresivnih uticaja, a zatim predstavljene mere za sprečavanje degradacije betona i armature kod plitkih temelja. Posebna pažnja je poklonjena određivanju zaštitnog sloja betona temelja i proračunu temelja na osnovu graničnih stanja upotrebljivosti. Dat je paralelan prikaz ovih mera prema našem Pravilniku (BAB 87) i Evropskim normama (EN - Evrokod 2).

Ključne reči: *armirani beton, plitki temelj, agresivno delovanje, degradacija, trajnost*

¹ mr, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet – Niš

² dr, redovni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet - Niš

³ mr, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet – Niš

⁴ dr, viši naučni saradnik, IMS - Beograd

1. UVOD

Dosadašnja iskustva u izgradnji i trajanju građevinskih konstrukcija pokazuju da postoje brojni problemi koji dovode do teških oštećenja, a ne retko i rušenja konstrukcija. Razloge za ova dešavanja treba tražiti u greškama u proračunu same konstrukcije ili njene interakcije sa tlom, zatim u primeni neodgovarajućih ili nekvalitetnih građevinskih materijala, nestručnom izvođenju konstrukcija itd. Kada su u pitanju problemi u konstrukciji čiji je uzrok vezan za fundiranje, najčešće su to nepravilne procene uticaja vlage i vode na temeljno tlo, ali se njihov štetan uticaj može javiti i kod betona temelja. Osim toga, kod pravilno projektovanih i izvedenih konstrukcija od betona i armiranog betona, koje se najčešće primenjuju u građevinarstvu i koje su predmet ovog rada, javlja se problem dužine njihovog životnog veka ili trajnosti.

Naime, do polovine sedamdesetih godina pitanju trajnosti betonskih i armiranobetonskih konstrukcija nije posvećivana nikakva pažnja jer se smatralo da su skoro večite. Međutim, problemi koji su se javili na izvedenim objektima i velika materijalna sredstva uložena u njihovu sanaciju, pokazali su da su beton i armirani beton vrlo osetljivi na uticaje agresivne sredine i da ovom problemu treba posvetiti dužnu pažnju. Danas je njihova trajnost vrlo važan ako ne i osnovni problem građenja betonom. Na njegovom rešavanju rade brojni istraživači, institucije i stručne organizacije.

Istraživanja pokazuju da se problem trajnosti armiranobetonskih konstrukcija može svesti na probleme degradacije betona i armature u betonu. Ovaj rad je posvećen degradaciji armiranobetonskih elemenata koji se nalaze u tlu – temeljima.

2. DEGRADACIJA BETONA

Tokom životnog veka građevinskog objekta beton je izložen različitim agresivnim uticajima koji izazivaju njegovu degradaciju a potiču iz okoline ili su vezani za korišćenje objekta. Možemo ih svrstati u tri osnovne grupe uticaja: fizičke, hemijske i biološke.

Najdrastičniji oblik fizičkog uticaja koji dovodi do degradacije betona je dejstvo mraza. Naime, voda koja se zadržava u porama i pukotinama smrzava se na niskim temperaturama i izlaže beton često vrlo visokim pritiscima (i do 220 MPa). Štetno dejstvo mraza se u fundiranju najčešće sprečava izborom odgovarajuće dubine temeljenja, izradom tampon sloja od šljunka ispod temelja, izradom

odgovarajuće drenaže i izvođenjem adekvatne izolacije od vlage i vode delova objekata koji su u tlu.

Ostali oblici mehaničke degradacije betona i betonskih konstrukcija povezani su sa pojavom prslina usled skupljanja, temperaturnih razlika i usled različitog termičkog širenja agregata i cementnog kamena i dr. Osim toga, treba pomenuti i prekoračenje nosivosti i ciklično opterećivanje i rasterećivanje konstrukcije što uzrokuje stvaranje prslina i utire put drugim agresivnim uticajima.

Uobičajna mesta pojave pobrojanih mehanizama napada na beton locirana su neposredno iznad površine terena, retko na visini većoj od 50cm, u zavisnosti od visine kapilarnog penjanja vode.

Pod hemijskim uticajima koji dovode do degradacije betona obično smatramo uticaje koji su posledica hemijskih reakcija agresivnih jedinjenja iz okoline objekta i samih sastojaka cementnog kamena. Njihovi štetni uticaji dovode do posledica koje se jednim imenom mogu nazvati korozija betona. Ovde treba pomenuti kristalizaciju soli u betonu usled kapilarnog penjanja vode bogate solima kroz tlo i temelju konstrukciju. Najprisutnija je u predelima sa značajnom koncentracijom hlorida u tlu, podzemnoj vodi i u atmosferi što je najčešće u priobalnim područjima toplih mora i kod konstrukcija gde je izražena primena soli za odmrzavanje (kolovozne konstrukcije). Inače, sam proces kristalizacije je po svom mehanizmu sličan dejstvu mraza. Iz ove grupe procesa degradacije betona najpoznatije je delovanje sulfata koji izazivaju sulfatnu koroziju betona. Brzini sulfatne agresije pogoduje naizmenično sušenje i vlaženje što je čest slučaj kod temelja.

Vrlo važan hemijski proces koji dovodi do degradacije betona je i karbonatizacija. Pod tim podrazumevamo reakciju kalcijum hidoksida (Ca(OH)_2), koji je inače sastavni deo cementnog kamena, sa ugljen dioksidom (CO_2) iz vazduha. Najpre se ugljen dioksid rastvara u pornoj vodi i formira ugljenu kiselinu a zatim ona reaguje sa kalcijum hidroksidom iz betona gradeći kalcijum karbonat. Nastali kalcijum karbonat utiče na povećanje mehaničke čvrstoće i smanjivanje poroznosti i propustljivosti betona. Međutim, ukoliko se vrši obnavljanje vode (što je čest slučaj kod temelja koji su u vezi sa podzemnim vodama ili se nalaze u sredini sa mogućim kapilarnim penjanjem vode) višak ugljen dioksida će izazvati rastvaranje kalcijum karbonata što dovodi do njegovog ispiranja i smanjenja čvrstoće a povećanja poroznosti i propustljivosti betona. Osim na kalcijum hidroksid proces karbonatizacije utiče na raspadanje i ostalih sastojaka cementnog kamena i dovodi do formiranja hidrata oksida silicijuma, aluminijuma i gvožđa. Međutim, osnovna posledica

karbonatizacije betona je opadanje alkalnosti betona što je važan preduslov početka korozije armature.

I najzad pod biološkim uticajima podrazumevamo dejstvo vegetacije gde se razvijanjem korenja biljaka i drveća šire postojeće pukotine.



Slika 1 Degradacija betona usled dejstva vode i mraza



Slika 2 Degadacija betona usled dejstva soli

3. DEGRADACIJA ARMATURE

Korozija armature je složen elektrohemijski proces, gde brzina napredovanja zavisi od propustljivosti, električnog potencijala i električne otpornosti betona.

Korozija armaturnog čelika se odvija u prisustvu vode i kiseonika gde nastaje oksid gvožđa poznat pod nazivom rđa. Razvojem korozije se na površini betona pojavljuju smeđe mrlje i karakteristične prsline duž armaturnih šipki, naročito u uglovima elemenata, gde su najviše izložene prodiranju agresivnih materija u beton. Kako rđa ima veći zapreminu od čelika pri razvoju korozije dolazi do prskanja i loma betona i otvara se put daljem proboju agresivnih materija.

Treba reći da se prsline do 0,4 milimetra obično same zapunjavaju prljavštinom i rđom tako da zbog toga nisu opasne za trajnost konstrukcije te se upravo na ovu veličinu ograničava širina dozvoljene prsline u slabo agresivnoj sredini (BAB 87).

U normalnim uslovima suve sredine beton dobrog kvaliteta, zahvaljujući svom alkalnom karakteru, štiti čeličnu armaturu od korozije. Visoka pH vrednost cementnog kamena, koja potiče kalcijum hidroksida i ostalih alkalija nastalih u procesu hidratacije cementa, utiče na stvaranje tankog zaštitnog sloja stabilnih fero-oksida na površini čelika koji čine tzv. pasivnu zaštitu armature sprečavajući tako dalji razvoj rđe. Ovaj sloj je nepropustan i stabilan sve dok je pH-vrednost betona oko njega dovoljno visoka ($pH > 11$). Međutim, kada se sloj stabilnih fero-oksida naruši dejstvom jako korozivnog okruženja koje uslovljava pojavu karbonatizacije, delovanje kiselih rastvora (koje snižavaju alkalnost sredine) ili ako je količina hlorida u vodi unutar pora oko armature značajna, dolazi do depasivizacije armature i početka njene korozije.

Najvažniji uzrok korozije čelika u betonu je kontaminacija hloridima. Početak depasivizacije dejstvom hlorida zavisi od odnosa Cl/OH jona u pornoj vodi betona u dodiru sa armaturom. Ukoliko je taj odnos veći od 0,6 gvožđe više nije zaštićeno od korozije i zaštitni sloj postaje nestabilan i propustan za hloride. Joni hlora koji su prodrli do armature hemijski reaguju sa njom i nastaje gvožđe hlorid koji u dodiru s vodom prelazi u gvožđe hidroksid (rđu). Zbog nepouzdanosti podataka o količini vezanih i slobodnih hlorida u određenom betonu, većina propisa i stručnih preporuka daje kao dopustivu granicu jona hlora u betonu ukupnu količinu hlorida (vezanih i rastvorenih) u odnosu na masu cementa u betonu. Ova vrednost je obično od 0,4% do 0,6%. Na ovu granicu odlučujuće

utiču kvalitet i vlažnost betona. Kvalitet betona je pritom određen debljinom i propustljivošću zaštitnog sloja koja zavisi od vodocementnog faktora i kvaliteta nege betona.

Hloridi mogu na različite načine dospeti u beton. Tako agregat i voda mogu sadržati hloride, a visoki sadržaj hlorida u betonu mogu biti posledica kalcijum hlorida kao aditiva za ubrzavanje hidratacije cementa. Zbog toga je u novije vreme zabranjena upotreba aditiva na bazi hlorida. U beton hloridi mogu dospeti iz morske vode i atmosfere a u našim krajevima najčešće primenom soli za odmrzavanje.

Kao što je već rečeno proces karbonatizacije betona snižava pH vrednost betona čime se stvaraju uslovi za depasivizaciju armature. Većina istraživanja i merenja na terenu pokazuju, da proces karbonatizacije smanjuje pH vrednost betona na 8 do 9 što je dovoljno da dođe do razaranja zaštitnog oksidnog filma i otvaranja puta koroziji armature.

Građevinsko tlo je vrlo složeno i međusobno različito po svom sastavu tako da to neizbežno utiče i na njegovu agresivnost prema betonu i armaturi. Osim sastava tla i klimatski faktori kao što su količina padavina i temperatura značajno utiču na svojstva tla i njegovu agresivnost. Tako se agresivnost tla prema betonu i armaturi može kretati od zanemarljive do vrlo intezivne.

Na agresivnost tla u prvom redu utiče njegova vlažnost odnosno sadržaj vode u porama i kapilarima. U sitnozrnim vrstama tla (prašine i gline) ona je značajna, zbog kapilarnog penjanja, i u periodima bez padavina, dok su krupnozrna tla (peskovi i šljunkovi) upravo iz ovih razloga manje agresivna.

4. MERE ZA SPREČAVANJE DEGRADACIJE BETONA I ARMATURE

Poboljšanja kvaliteta betona u smislu što niže poroznosti i što veće kompaktnosti od najveće je važnosti za dobijanje veće trajnosti konstrukcija. Beton spravljen sa nižim vodocementnim faktorom imaće visoku kompaktnost, usporiće prodor vode i hlorida do armature, kao i proces karbonatizacije. Takođe, upotreba odgovarajućih vrsta cemenata, u zavisnosti od mogućih uzročnika agresije od velike je važnosti za otpornost i trajnost betona u agresivnoj sredini.

U cilju sprečavanja efekata degradacije betona i armature kod armiranobetonskih konstrukcija propisi mnogih zemalja na različite načine definišu preporuke kojima se ona sprečava. Najčešće

su to maksimalno dopušten sadržaj hlorida u betonu, odnosno minimalna debljina zaštitnog sloja betona.

Osim toga istraživanja na ovom planu stalno dovode do novih načina, postupaka i materijala u svrhu nepropusnosti betona za vodu, vodenu paru, razne gasove, kao i difuziju rastvorenih soli. To su najčešće različita sredstva u vidu premaza kao dodatna zaštita površine betona, zatim hidrofobne impregnacije, katodna zaštita armature, primena nerđajuće armature itd.

5. ZAŠTITNI SLOJ BETONA I PRORAČUN NA OSNOVU GRANIČNIH STANJA UPOTREBLJIVOSTI PREMA BAB87

Radi predupređenja opisanih oblika degradacije naš još uvek važeći Pravilnik za beton i armirani beton iz 1987. godine (BAB 87) predviđa da ukupna količina hlor-jona u armiranom betonu, u odnosu na količinu cementa, ne sme biti veća od 0,4%. Za obezbeđivanje trajnosti konstrukcija naš Pravilnik definiše i najmanji zaštitni sloj betona do armature i zahteva proračun elemenata od armiranog betona (gde spadaju i temelji), osim prema teoriji graničnih stanja nosivosti i na osnovu graničnih stanja upotrebljivosti.

Prema našem Pravilniku najmanji zaštitni sloj betona do armature (uključujući i uzengije) određuje se u zavisnosti od vrste elementa, odnosno konstrukcije, stepena agresivnosti sredine u kojoj se element nalazi, marke betona, prečnika armature i načina izvođenja, odnosno ugrađivanja betona. Tako se za betoniranje temelja u slabo agresivnim sredinama preporučuje minimalni zaštitni sloj od $a_0=2,0\text{cm}$. Ovako usvojen minimalni zaštitni sloj betona može se uvećati za 0,5cm za elemente i konstrukcije u umereno (srednje) agresivnim sredinama i za najmanje 1,5 cm za elemente i konstrukcije u jako agresivnim sredinama. Osim toga moguće su korekcije za +0,5cm ukoliko površine elementa, odnosno konstrukcije posle betoniranja nisu ili su veoma teško dostupne kontroli (npr. temelji) i za dodatnih +0,5 cm za betone marke manje od MB25.

Tako je na osnovu navedenog minimalni zaštitni sloj betona za temelje u umereno agresivnim sredinama iznosi: $2.0 + 0.5 + 0.5 + 0.5 = 3.5\text{cm}$ (za temelje od MB manje od 25). Imajući u vidu da se često u statičkim proračunima pod zaštitnim slojem betona ne podrazumeva rastojanje od donje površine temelja do armature, kako je definisano Pravilnikom, već rastojanje do težišta zategnute armature, obično se usvaja zaštitni sloj betona u debljini od 5.0cm.

Članom 75 Pravilnik zahteva da se svi armiranobetonski elementi, pa prema tome i temelji, računaju prema graničnim stanjima nosivosti i prema graničnim stanjima upotrebljivosti.

Proračun prema graničnim stanjima upotrebljivosti obuhvata proračun prema graničnim stanjima prslina i proračun prema graničnim stanjima deformacija. Proračun se zasniva na dokazima da širine prslina i deformacije armiranobetonskih elemenata u toku eksploatacije nisu veće od graničnih vrednosti određenih u zavisnosti od potrebne trajnosti i funkcionalnosti konstrukcije objekta. Obzirom da su deformacije temelja, kao prelaznih elemenata od konstrukcije ka podlozi, zanemarljive u odnosu na deformaciju podloge, pri projektovanju temelja je prevashodno potrebno obratiti pažnju na proračun prema graničnim stanjima prslina.

Kada je reč o proračunu prslina Pravilnik previđa dokaz da karakteristične širine prslina a_k armiranobetonskih elemenata u toku eksploatacije, uzimajući u obzir uticaje skupljanja i tečenja betona u toku vremena, nisu veće od graničnih širina prslina a_u (odnosno $a_k \leq a_u$).

Za karakterističnu širinu prslina a_k usvaja se vrednost koja je za 70% veća od srednje širine prslina a_s , koja se određuje zavisno od srednjeg rastojanja između prslina l_p i srednje dilatacije zategnute armature ε_{as} ($a_s = l_p \cdot \varepsilon_{as}$). Najveće vrednosti graničnih širina prslina a_u , u zavisnosti od agresivnosti sredine i trajanja uticaja date su Tabelom 18 Pravilnika (član 113).

Temelje, u najvećem broju slučajeva, možemo svrstati u drugu kategoriju, odnosno smatrati da se grade u sredini srednje agresivnosti.

Najveće vrednosti graničnih širina prslina a_u iz Tabele 18 Pravilnika odnose se na armiranobetonske elemente sa najmanjim zaštitnim slojem betona propisanim Pravilnikom. Za armiranobetonske elemente sa većim zaštitnim slojevima betona (kao što je to slučaj sa temeljima), najveće vrednosti graničnih širina prslina a_u , srazmerno se mogu povećati najviše do 50% od vrednosti prikazanih u pomenutoj tabeli ali najviše do 0,4 mm.

Proračun prema graničnim stanjima prslina nije neophodan za armiranobetonske elemente sa glatkom armaturom GA 240/360 ili sa rebrastom armaturom RA 400/500, koji se nalaze u sredini slabe ili srednje agresivnosti ukoliko primenjeni prečnik šipki \emptyset i koeficijent armiranja zategnute površine betona μ_z , izražen u procentima, ispunjavaju uslov: $\mu_z(\%) \geq \frac{\emptyset}{k_p \cdot a_u}$. Ovde koeficijent

k_p za glatku armaturu GA 240/360 iznosi 35, a za rebrastu armaturu RA 400/500 iznosi 30.

6. ZAŠTITNI SLOJ BETONA I PRORAČUN NA OSNOVU GRANIČNIH STANJA UPOTREBLJIVOSTI PREMA EVROKODU 2

Evrokod 2 definiše zaštitni sloj kao rastojanje između površine armature koja je najbliža površini betona (uključujući i uzengije) i najbliže površine betona. Zaštita armature od korozije i zaštita betona od nepovoljnih uticaja sredine zavisi od debljine zaštitnog sloja betona i kompaktnosti i kvaliteta betona. Kvalitet i kompaktnost zaštitnog sloja postižu se tako što se vodi računa o maksimalnom vodocementnom faktoru i minimalnoj količini cementa što uslovljava klasu čvrstoće betona obzirom na trajnost, koja je u direktnoj zavisnosti od klase izloženosti konstrukcije uticajima sredine. Tako Evrokod 2 posebnom tabelom definiše zahtevanu klasu čvrstoće za beton obzirom na klasu izloženosti konstrukcije. Temelji se u najvećem broju slučajeva mogu svrstati u klasu izloženosti XC2 (obzirom na koroziju armature) i klase XA1 i XA2 (obzirom na oštećenja betona). Za ove klase izloženosti minimalne klase čvrstoće betona su: C25/30 za klasu izloženosti XC2 i klasa čvrstoće C30/37 za klase izloženosti XA1 i XA2. Ovako preporučena klasa čvrstoće betona zbog uslova sredine može biti veća od klase čvrstoće betona koju zahteva proračun konstrukcije, tako da se kao konačna uzima veća klasa čvrstoće betona.

Evrokod 2 definiše nominalni zaštitni sloj betona na sledeći način:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

gde je c_{min} minimalni zaštitni sloj dok Δc_{dev} predstavlja povećanje minimalnog zaštitnog sloja da bi se uzela u obzir odstupanja pri izvođenju. Minimalni zaštitni sloj c_{min} osim zaštite armature ima zadatak da obezbedi siguran prenos sila prijanjanja betona i armature i otpornost na dejstvo požara.

Greške prilikom izvođenja se se tolerišu na taj način što se c_{min} uvećava za Δc_{dev} , za koje se u Evrokodu 2 preporučuje 10mm.

Za beton koji se ugrađuje preko neravnih površina Evrokod 2 dozvoljava usvajanje i većih tolerancija, odnosno većih vrednosti za Δc_{dev} . Povećanje treba da odgovara razlikama koje izazivaju neravnine ali zaštitni sloj betona treba da bude najmanje 40mm za beton koji se ugrađuje preko pripremljene podloge (sloj mršavog

betona ili hidroizolacije) i 75mm za beton koji se ugrađuje direktno na tlo.

U granična stanja upotrebljivosti definisana ovom regulativom spadaju ograničenje napona, kontrola prslina i kontrola ugiba (deformacija). Ukoliko je fundament u toku eksploatacionog veka izložen nekim specifičnim dejstvima (npr. vibracijama) tada se kontrolišu i granična stanja upotrebljivosti na ta dejstva.

Kontrola ugiba, kao što je ranije pomenuto, uglavnom nije od primarnog značaja pri dokazivanju graničnih stanja upotrebljivosti kod fundamenata. Sa druge strane, prekoračenje napona u betonu i armaturi, odnosno prekoračenje granične vrednosti širine otvora prslina, direktno i nepovoljno utiču na funkciju i trajnost konstrukcije.

Ograničenje napona u betonu svodi se na ograničenje napona pritiska radi izbegavanja pojave prslina, mikroprslina i tečenja betona. Rezultat nastanka prslina je smanjenje trajnosti armirano betonske konstrukcije. Što se tiče armature, vrši se ograničenje napona zatezanja radi izbegavanja neelastičnih dilatacija, prevelikih veličina prslina ili deformacija.

Uzroci nastanka prslina mogu biti različiti i gotovo je nemoguće sprečiti njihov nastanak, već je potrebno kontrolisati i sprečiti ekspanziju prslina, tj. potrebno je ostvariti da je:

$$w_k \leq w_{\max}$$

gde je sa w_k označena karakteristična širina prslina, a sa w_{\max} granična vrednost računске širine prslina. U zavisnosti od namene i prirode konstrukcije preporučene vrednosti za w_{\max} date su Tabelom 7.1N u [2].

Proračun širine prslina može se uprostiti tako što se uvede ograničenje prečnika armature ili ograničenje rastojanja šipki armature.

Važno je napomenuti da se u armiranobetonskim elementima javlja poseban rizik od pojave prslina velike širine u presecima kod kojih dolazi do nagle promene napona. Što se fundamenata tiče, pažnju treba obratiti mestima nagle promene poprečnog preseka i zonama u blizini koncentrisanih dejstava. U svakom slučaju, poštovanjem odredaba vezanih za zahteve konstrukcijskih detalja armature, i ove zone su, prethodno navedenim postupkom sračunavanja širine prslina, potpuno obezbeđene.

7. ZAKLJUČAK

Kako su temelji posle završetka objekta obično teško pristupačni, prevashodno je potrebno obratiti pažnju prevenciji štetnih uticaja eventualnih agresivnih delovanja nego lečiti njihove posledice. Zbog toga je sa aspekta fundiranja vrlo važno pravilno projektovati temelje u agresivnim sredinama imajući pri tom u vidu pravilno izabranu vrstu cementa i kvalitet ugrađenog betona sa jedne strane i minimalnu debljinu zaštitnog sloja, tampon sloja šljunka ispod i oko temelja, usvajanje adekvatnih drenažnih mera i eventualnu zaštitu armature pre ugradnje sa druge strane.

Napomena: Rad je u okviru istraživanja na Projektu TR 16021 koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Srbije

8. LITERATURA

- [1] A.M. Nevil: Svojstva betona, Građevinska knjiga, Beograd, 1976
- [2] Grdić Z., Ranković S.: Klasifikacija i zahtevi u domenu tehnologije betona prema evropskim normama i upređenje sa važećim domaćim pravilnikom, Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu 20, str. 107-122, Niš, 2004
- [3] Evrokod 2: Proračun betonskih konstrukcija-prevod, Građevinski fakultet Beograd, 2006
- [4] Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton, Službeni list SFRJ, 1987
- [5] Prolović V., Bonić Z.: Plitko temeljenje objekata prema Evrokodu 7, Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu 20, str. 55-62, Niš, 2004
- [6] Prolović V., Bonić Z.: Finite difference method application in design of foundation girder of variable cross-section loaded on ends, Facta Univeritatis, Univerzitet u Nišu, Series Arcitecture and Civil engineering, Vol. N° 1, str. 179-185, Niš 2008
- [7] Topličić-Ćurčić G., Grdić Z., Despotović I., Ristić N.: Vodonepropustljivost betona spravljenog sa drobljenim mineralnim agregatima, Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu 23, str. 143-150, Niš, 2008