

Primljen / Received: 5.12.2011.

Ispravljen / Corrected: 5.7.2012.

Prihvaćen / Accepted: 12.7.2012.

Dostupno online / Available online: 30.7.2012.

# Prognostički model za određivanje požarne otpornosti AB stupova

## Autori:



<sup>1</sup>Mr.sc. **Marijana Lazarevska**  
marijana@gf.ukim.edu.mk



<sup>2</sup>Prof.dr.sc. **Miloš Knežević**  
milosknezevic@hotmail.com



<sup>1</sup>Prof.dr.sc. **Meri Cvetkovska**  
cvetkovska@gf.ukim.edu.mk



<sup>3</sup>Prof.dr.sc. **Nenad Ivanišević**  
nesa@grf.bg.ac.rs



<sup>1</sup>Prof.dr.sc. **Todorka Samardžioska**  
samardzioska@gf.ukim.edu.mk



<sup>4</sup>Prof.dr.sc. **Ana Trombeva - Gavriloska**  
agavriloska@arh.ukim.edu.mk

Prethodno priopćenje

[Marijana Lazarevska, Miloš Knežević, Meri Cvetkovska, Nenad Ivanišević, Todorka Samardžioska, Ana Trombeva-Gavriloska](#)

## Prognostički model za određivanje požarne otpornosti AB stupova

U radu je prikazan prognostički model za određivanje požarne otpornosti armiranobetonskih stupova izloženih standardnom požaru sa svih strana. Predloženi model primjenjuje koncept umjetnih neuralnih mreža čiji su ulazni parametri rezultat prethodno provedene numeričke analize. Dan je kratak opis procesa modeliranja, kao i odgovarajući primjer primijenjenog prognostičkog modela.

### Ključne riječi:

neuralne mreže, požarna otpornost, numerička analiza, AB stup

Preliminary note

[Marijana Lazarevska, Miloš Knežević, Meri Cvetkovska, Nenad Ivanišević, Todorka Samardžioska, Ana Trombeva-Gavriloska](#)

## Fire-resistance prognostic model for reinforced concrete columns

The prediction model used for defining fire resistance of reinforced concrete columns exposed to standard fire from all four sides is presented in the paper. The proposed model relies on the concept of artificial neural networks, in which numerical analysis results are used as input parameters. A brief description of the modelling process is given, and an appropriate example of the neural network prognostic model is presented.

### Key words:

neural network, fire resistance, numerical analysis, RC column

Vorherige Mitteilung

[Marijana Lazarevska, Miloš Knežević, Meri Cvetkovska, Nenad Ivanišević, Todorka Samardžioska, Ana Trombeva-Gavriloska](#)

## Prognostisches Modell zur Feststellung des Brandwiderstands von Stahlbetonsäulen

In der Arbeit ist das prognostische Modell zur Feststellung des Brandwiderstands von Stahlbetonsäulen dargestellt, die bei einem üblichen Brand von allen Seiten ausgesetzt sind. Das vorgeschlagene Prognosemodell verwendet das Konzept künstlicher, neuraler Netze, deren Eingangsparameter Resultat der durchgeführten numerischen Analyse sind. Es ist eine kurze Beschreibung des Modellierungsprozesses sowie ein entsprechendes Beispiel des angewandten prognostischen Modells gegeben.

### Schlüsselwörter:

Neurale Netze, Brandwiderstand, numerische Analyse, Stahlbetonsäule

<sup>1</sup> Sveučilište u Skopju, Građevinski fakultet

<sup>2</sup> Sveučilište u Podgorici, Građevinski fakultet

<sup>3</sup> Sveučilište u Beogradu, Građevinski fakultet

<sup>4</sup> Sveučilište u Skopju, Arhitektonski fakultet

## 1. Uvod

Umjetne neuralne mreže (u daljnjem tekstu neuralne mreže) tipičan su primjer modernog interdisciplinarnog područja koje daje osnovna znanja pri rješavanju većeg broja različitih i složenih inženjerskih problema koji se ne mogu riješiti na drugi način (primijenjujući tradicionalne metode modeliranja ili statističke metode). Neuralne mreže pripadaju skupini simboličkih metoda za inteligentni proračun i obradu podataka i one djeluju u skladu s načelima tzv. mekog računarstva [1, 2]. Nadahnuće za uspostavljanje, razvoj i primjenu umjetnih neuralnih mreža proizlazi iz pokušaja razumijevanja rada ljudskog mozga i iz težnje stvaranja umjetnog "inteligentnog" sustava koji bi se mogao koristiti za procesiranje podataka, tipično za ljudski mozak. Uglavnom zbog toga su umjetne neuralne mreže vrlo slične biološkim neuralnim mrežama i prikazane su kao njihov pojednostavljeni matematički model. Obje mreže imaju sličnu strukturu, funkciju i tehniku obrade podataka i sličnu metodologiju izračuna [3, 4].

Neuralne mreže su sposobne prikupljati, memorirati, analizirati i obrađivati brojne podatke dobivene eksperimentalno ili numerički. Zbog toga su neuralne mreže često bolja proračunska i prognostička metoda u odnosu na neke od klasičnih i tradicionalnih metoda proračuna. One su ilustracija sofisticirane tehnike modeliranja koje se mogu koristiti za rješavanje mnogih složenih problema [5 – 9]. Neuralne mreže mogu vrlo uspješno predviđati podatke i za izradu prognostičkih modela koji bi mogli riješiti razne inženjerske probleme i zadatke. Trenirane neuralne mreže služe kao analitičko sredstvo za kvalificirano prognoziranje rezultata za sve ulazne podatke koji nisu uključeni u proces učenja mreže [5 – 9]. Njihov rad je prilično jednostavan i lak, ali su točne i precizne. Ti pozitivni učinci u potpunosti opravdavaju njihovu primjenu kao prognostičkog modela u inženjerskim istraživanjima.

## 2. Određivanje požarne otpornosti armirano-betonskih stupova

### 2.1. Opće odredbe

Pojam "vatra" odnosi se na svaki nekontrolirani plamen u blizini konstrukcije izazvan gorenjem zapaljivih materijala ili same konstrukcije, što rezultira mogućim štetama i/ili ljudskim ozljedama. Veliki ekonomski i ljudski gubici koji bi se mogli dogoditi tijekom ranog kolapsa konstrukcije su glavni razlozi za provođenje kvalitetnog projektiranja uz zajamčenu sigurnost i stabilnost. Danas, osim osnovnih zahtjeva za stabilnost, kvalitetu i upotrebljivost konstrukcije, mnoge zemlje uvode i dodatne zahtjeve koji se odnose na stabilnost i nosivost konstrukcije u određenom vremenu požarnog djelovanja.

U Republici Makedoniji u prošlosti nije bilo posebnih propisa za standardiziranje procesa projektiranja koji bi uključili i kontrolu ponašanja konstrukcije za vrijeme požara, ali brzi razvoj građevinarstva i dominacija visokih konstrukcija nametnuli su zahtjev za osiguranje stabilnosti i sigurnosti konstrukcije i u slučaju požarnog djelovanja. Proces uvođenja europskih normi, koji je u tijeku, pridonijet će u tom smislu.

Propisima definirano vrijeme za koje konstrukcija mora ostati stabilna i sigurna u slučaju izloženosti požarnom djelovanju zapravo je vrijeme u minutama koje predstavlja požarnu otpornost konstrukcije. Dužina toga razdoblja pravno je obvezujuća gotovo u svakoj zemlji, a ovisi o: visini građevine, broju stanova, površini, kapacitetu, sadržaju i namjeni građevine, udaljenosti od vatrogasnih postrojbi i vatrogasnih brigada, kao i o primijenjenom sustavu protupožarne zaštite same konstrukcije [10].

Požarna otpornost konstrukcije može biti određena na temelju procjene požarne otpornosti cijele konstrukcije ili, što je najčešći slučaj, na temelju procjene požarne otpornosti svakog konstrukcijskog elementa (stupovi, grede, ploče, zidovi i sl.). Požarna otpornost pojedinih konstruktivnih elemenata je razdoblje (u minutama) od početka požara sve do trenutka kada element doseže svoj granični kapacitet (graničnu čvrstoću, stabilnost i deformabilnost) ili dok element gubi svoju funkciju razdvajanja.

Osnovni uvjet za požarnu otpornost konstrukcije i/ili njenih elemenata dan je sljedećim izrazom:

$$t_p \leq t_u \quad (1)$$

gdje " $t_p$ " predstavlja propisima definiranu požarnu otpornost konstrukcije ili elementa (rang požarne otpornosti), dok " $t_u$ " predstavlja eksperimentalno ili analitički procijenjeno vrijeme požarne otpornosti kad su konstrukcija ili njeni elementi izloženi standardnom požarnom testu.

Propisima definirana požarna otpornost može se postići primjenom različitih konstrukcijskih mjera (pravilan oblik, dimenzije elemenata, statički sustav itd.) ili s nekim posebnim mjerama zaštite (termoizolacija itd.). Mjere zaštite su različite i izbor najviše ovisi o vrsti građevnog materijala koji treba biti zaštićen. Različiti građevni materijali (beton, čelik, drvo) različito se ponašaju na visokim temperaturama koje se javljaju u slučaju požara i oni moraju biti tretirani u skladu s njihovim individualnim karakteristikama [10, 11].

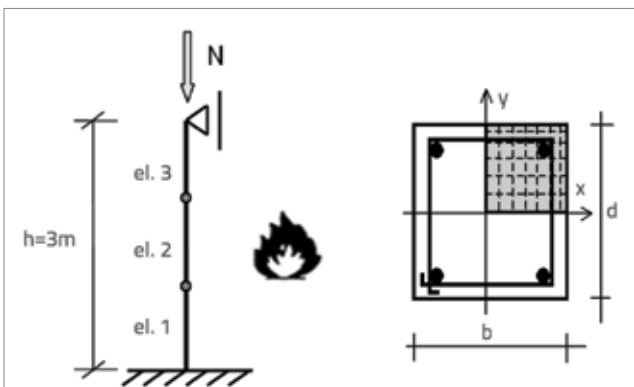
Iako je propisano vrijeme požarne otpornosti iznimno važno za kvalitetu i sigurnost svake konstrukcije, u Makedoniji još uvijek ne postoji pravno obvezujući propis za to, pa taj vrlo velik nedostatak treba u skoroj budućnosti otkloniti.

## 2.2. Određivanje požarne otpornosti AB stupova - numerička analiza

Numerička analiza koja se odnosi na ponašanje centrično opterećenih armiranobetonskih stupova izloženih standardnom požaru sa svih četiriju strana detaljno je provedena na Građevinskom fakultetu u Skopju [10]. Rezultat je ovog istraživačkog rada i računalni program FIRE (Fire REsponse). Taj je program namijenjen za određivanje nelinearnog ponašanja armiranobetonskih elemenata i ravninskih okvirnih konstrukcija izloženih požarnom opterećenju. Program provodi nelinearnu vremensku analizu protoka topline (modul FIRE-T) i analizu nelinearnog naponskog i deformacijskog stanja konstrukcije kada je, osim osnovnog opterećenja, izložena i požarnom opterećenju (modul FIRE-S). U programu FIRE proračun se provodi metodom konačnih elemenata u kombinaciji s vremenskom integracijom.

Primjenom programa FIRE analizirano je ponašanje centrično opterećenih stupova izloženih standardnom požaru ISO 834 (preporučuje se u Eurocode 1, dio 1.2). Definiran je utjecaj geometrije elemenata, debljine zaštitnog betonskog sloja, tip agregata, razred betona, postotak armiranja i intenzitet aksijalne sile. U ovom slučaju uvjeti oslanjanja i dužina elementa imaju zanemariv utjecaj na požarnu otpornost stupova, tako da oni nisu varirani [5, 10].

Model analiziranog AB stupa prikazan je na slici 1. Stup je izložen standardnom požaru sa sve četiri strane presjeka, a uvjeti oslanjanja su: upet na donjoj strani i slobodno oslonjen na gornjoj strani, što omogućava slobodno širenje u uzdužnom smjeru.



Slika 1. Armiranobetonski stup izložen na standardni požar sa svih strana

Analize su provedene za različite vrijednosti aksijalne sile  $N$ , za različite dimenzije presjeka stupa (20x20, 30x30, 40x40 i 50x50 cm), kada debljina zaštitnog sloja betona varira od 2 do 4 cm, a koeficijent opterećenja  $\alpha$  varira od 0 do 0,5 ( $\alpha = N / N_{ult}$ ;  $N$  je primijenjena aksijalna sila, a

$N_{ult}$  je ultimativna aksijalna sila za isti stup). Na temelju rezultata dobivenih numeričkim analizama, konstruirane su krivulje požarne otpornosti [5, 10]. Te se krivulje mogu koristiti za određivanje požarne otpornosti AB stupova koji nisu bili numerički analizirani. Neke od tih krivulja bit će predstavljene u ovom radu i uspoređene s krivuljama dobivenima iz prognostičkog modela na osnovi neuralnih mreža.

## 2.3. Određivanje požarne otpornosti AB stupova - modeliranje s neuralnim mrežama

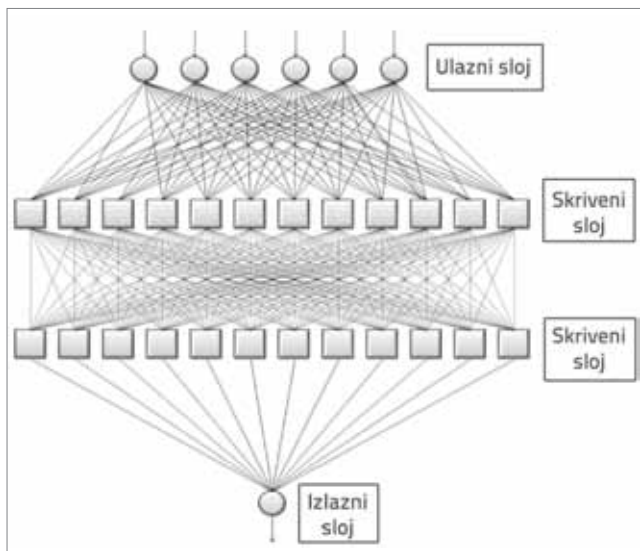
Primjena neuralnih mreža za izgradnju jednog prognostičkog modela koji se može koristiti za predviđanje vremena požarne otpornosti konstrukcija i/ili njihovih elemenata jest od goleme važnosti za proces projektiranja u graditeljstvu. Istraživanja pokazuju da je većina eksperimentalnih modela za određivanje požarne otpornosti elemenata iznimno skupa, a numerički modeli obično su komplicirani i zahtijevaju duže vrijeme. Zato suvremeni i jednostavni modeli, kao što je modeliranje putem neuralnih mreža, može uvelike pomoći, posebno u onim slučajevima kada su neke prethodne numeričke ili eksperimentalne analize već napravljene.

Cilj istraživanja prikazanog u ovom radu jest izgradnja jednog prognostičkog modela za generiranje požarne otpornosti centrično opterećenih armiranobetonskih stupova (u daljnjem tekstu AB stupova) za bilo koji ulazni podatak, za slučaj kad je primijenjena neuralna mreža "nahranjena" podacima iz numeričke analize provedene prema [10]. Na početku postavljen je matematički model neuralne mreže s danim *ulaznim podacima* (podaci za dimenzije presjeka, postotak armature, debljine zaštitnog betonskog sloja, tip agregata i razina vanjskog opterećenja) i tako uspostavljena mreža trenirana je upotrebom dostupnih numeričkih podataka. Nakon procesa treniranja neuralna je mreža testirana za ostale ulazne podatke koji nisu bili uključeni u proces obuke, a ostvareni rezultati uspoređeni su s rezultatima numeričke analize.

Prvi korak u procesu modeliranja jest definiranje arhitekture neuralne mreže i određivanje ulaznih parametra [12, 13]. Za ovaj inženjerski problem korišteni su sljedeći ulazni parametri: dimenzije stupova ( $b$  i  $d$ ), razred betona ( $f_c=25$  MPa i  $f_c=35$  MPa), debljina zaštitnog betonskog sloja ( $a$ ), postotak armiranja ( $\mu$ ), koeficijent opterećenja ( $\alpha$ ) i tip agregata (S-silikatan i C-karbonatan). Međutim, analize provedene pomoću računalnog programa FIRE i primjenom prognostičkog modela na bazi neuralnih mreža pokazale su da razred betona (C 20/25 ili C 30/37) ima neznatan utjecaj na požarnu otpornost AB stupova [5, 10]. To je razlog zašto ovaj parametar više nije analiziran, pa je neuralna mreža trenirana sa sljedećim ulaznim parametrima: dimenzije

poprečnog presjeka stupova, debljina zaštitnog betonskog sloja, postotak armiranja, tip agregata i koeficijent opterećenja.

Izlazni parametar modela neuralnih mreža jest: požarna otpornost AB stupova, izražena kao vrijeme u satima (t). Za treniranje izabrana je višeslojna neponavljajuća neuralna mreža (s jednim ulaznim slojem, dva skrivena sloja i jedan izlazni sloj, slika 2.). Svaki skriveni sloj ima 12 unutrašnjih neurona.



Slika 2. Model neuralne mreže koji se koristi za analizu požarne otpornosti AB stupova

Kao aktivacijska funkcija korištena je logistička (sigmoidna) funkcija (2) prema [12, 13].

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

Neuralna mreža je trenirana s poboljšanim "backpropagation" algoritmom (podaci iz skupine za treniranje povremeno su vraćani kroz mrežu) [12 - 15]. Generirani izlazni podaci uspoređeni su s očekivanima. U onim slučajevima kod kojih se javila razlika između vrijednosti očekivanih i dobivenih podataka, provedeno je prilagođavanje težinskih koeficijenata na osnovi preporuka danih u literaturi [12, 13].

Proces treniranja proveden je sa specijaliziranim programom koji radi pod MS Excel [12, 13] i provodi se kroz 500 ciklusa. Za obuku mreže korištene su 104 grupe ulaznih podataka, od kojih 10 pripada skupini podataka za provjeru valjanosti mreže (oko 10%). Na početku procesa treniranja utvrđena je izražena razlika između izlaznih vrijednosti i očekivanih, ali nakon treninga, mreža je počela generirati točnije rezultate. Na kraju, da bi se provjerila kvaliteta i točnost mreže, obavljeno je kontrolno testiranje. Mreža je

testirana pomoću 10 različitih grupa podataka koji nisu bili korišteni za učenje i usavršavanje procesa. Ta testiranja dala su odlične rezultate.

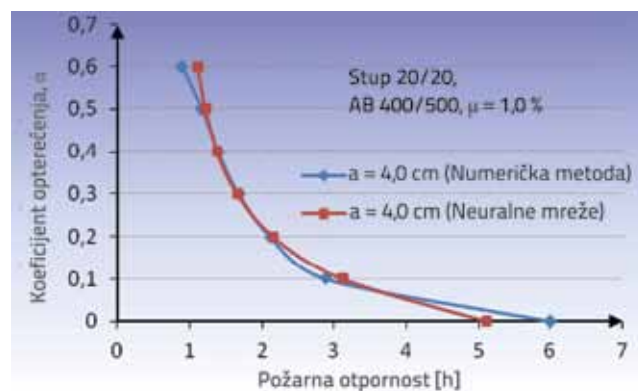
### 3. Analiza rezultata proračuna

Rezultat istraživanja je požarna otpornost analiziranih armiranobetonskih stupova, izražena u satima. Uspoređene su vrijednosti požarne otpornosti dobivene pomoću računalnog programa FIRE (numerička analiza) i generirane pomoću neuralnih mreža te je ustanovljeno da su vrijednosti gotovo iste. Ta činjenica dovodi do zaključka da su neuralne mreže izvrsni prognostički model. U tablici 1. prikazan je i uspoređen jedan dio rezultata provedene analize primjenom oba modela.

Rezultati prikazani u tablici 1. pokazuju da kada se koriste ulazni podatci iz grupe podataka za učenje, neuralne mreže mogu generirati vrlo precizne vrijednosti za požarnu otpornost armiranobetonskih stupova koji su izloženi požaru sa svih strana.

Da bi se provjerila kvaliteta i točnost mreže proveden je i kontrolni test. Neuralna mreža je testirana pomoću 15 različitih grupa podataka koji nisu bili korišteni za proces učenja i treniranja mreže. Ispitivanje je dalo odlične rezultate, a usporedba nekih od tih rezultata prikazana je u tablici 2.

Jednostavniji pristup je da se usporede krivulje požarne otpornosti dobivene na osnovi dviju analiza (numeričke i neuralnih mreža). Krivulje požarne otpornosti AB stupova opožarenih sa svih strana, dobivene iz numeričkih analiza i iz modeliranja primjenom neuralnih mreža, prikazane su na slikama 3., 4., 5. i 6. Te krivulje predstavljaju utjecaj obrađenih parametara (dimenzije stupa, debljina zaštitnog betonskog sloja, postotak armiranja, tip primijenjenog agregata i koeficijent opterećenja) na požarnu otpornost analiziranih stupova.



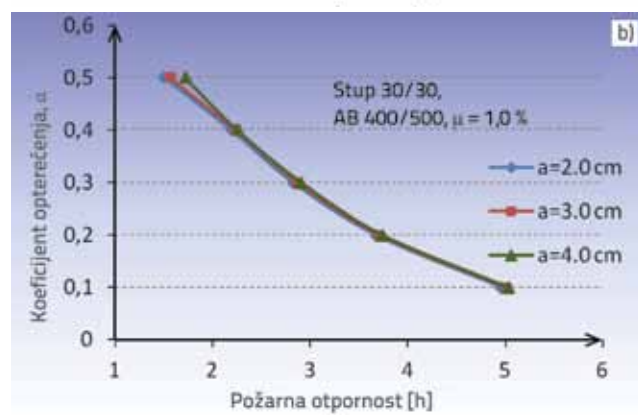
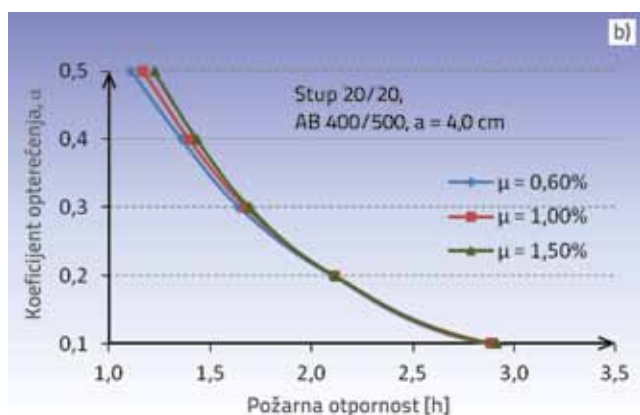
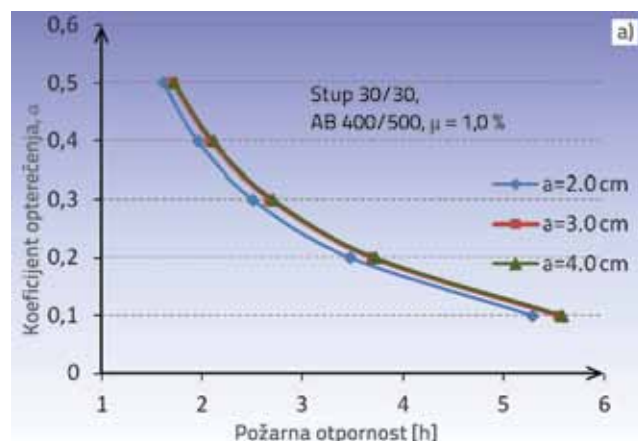
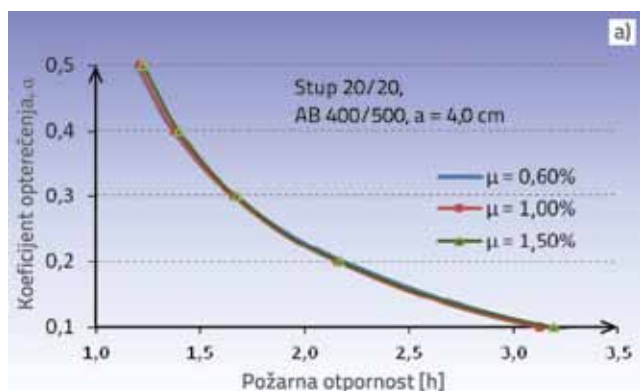
Slika 3. Usporedba krivulja požarne otpornosti dobivenih primjenom objiju metoda (debljina betonskog sloja  $a = 4,0$  cm)

Tablica 1. Pregled rezultata ostvarenih primjenom računalnog programa FIRE i prognošičkog modela na bazi neuralnih mreža (grupa podataka za treniranje mreže)

| ULAZNI PODACI           |      |   |                              |   | IZLAZNI PODACI<br>(požarna otpornost [h]) |                     |                   |
|-------------------------|------|---|------------------------------|---|---|---------------------|-------------------|
| Dimenzije stupa<br>[cm] |      | Debljina zaštitnog<br>betonskog sloja<br>[cm] | Postotak<br>armiranja<br>[%] | Tip agregata<br>S - silikatni ili<br>C - karbonatni | Koeficijent<br>opterećenja                | Numerička<br>metoda | Neuralne<br>mreže |
| b                       | d    | a   | $\mu$                        | S ili C   | $\alpha$                                  | t                   | t                 |
| 20,0                    | 20,0 | 2,0   | 1,0                          | S   | 0,1                                       | 2,825               | 2,798             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,4                                       | 1,261               | 1,257             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,5                                       | 0,956               | 1,132             |
| 20,0                    | 20,0 | 2,0   | 0,6                          | S   | 0,1                                       | 2,845               | 2,784             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,2                                       | 2,085               | 1,912             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,3                                       | 1,615               | 1,495             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,4                                       | 1,285               | 1,273             |
| 20,0                    | 20,0 | 3,0   | 1,0                          | S   | 0,5                                       | 0,965               | 1,144             |
|                         |      |   |                              | C   | 0,1                                       | 3,65                | 3,485             |
|                         |      |   |                              | C   | 0,2                                       | 2,7                 | 2,650             |
|                         |      |   |                              | C   | 0,3                                       | 2,125               | 2,136             |
| 20,0                    | 20,0 | 4,0   | 1,5                          | C   | 0,4                                       | 1,725               | 1,773             |
|                         |      |   |                              | C   | 0,5                                       | 1,375               | 1,493             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,1                                       | 2,91                | 3,116             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,2                                       | 2,115               | 2,072             |
| 20,0                    | 20,0 | 5,0   | 1,0                          | S   | 0,4                                       | 1,435               | 1,322             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,5                                       | 1,224               | 1,176             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,1                                       | 2,84                | 2,957             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,2                                       | 2,09                | 2,045             |
| 30,0                    | 30,0 | 3,0   | 1,0                          | S   | 0,3                                       | 1,61                | 1,601             |
|                         |      |   |                              | C   | 0,1                                       | 6,3                 | 6,682             |
|                         |      |   |                              | C   | 0,2                                       | 4,75                | 4,848             |
|                         |      |   |                              | C   | 0,3                                       | 3,75                | 3,602             |
| 30,0                    | 30,0 | 4,0   | 1,0                          | C   | 0,5                                       | 2,05                | 2,096             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,2                                       | 3,74                | 3,724             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,4                                       | 2,255               | 2,110             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,5                                       | 1,72                | 1,729             |
| 40,0                    | 40,0 | 3,0   | 1,0                          | C   | 0,1                                       | 9,65                | 9,496             |
|                         |      |   |                              | C   | 0,2                                       | 7,25                | 7,663             |
|                         |      |   |                              | C   | 0,3                                       | 5,725               | 5,703             |
|                         |      |   |                              | C   | 0,4                                       | 4,375               | 4,148             |
| 40,0                    | 40,0 | 4,0   | 1,0                          | S   | 0,1                                       | 7,95                | 8,181             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,2                                       | 5,775               | 5,833             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,3                                       | 4,35                | 4,188             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,4                                       | 3,45                | 3,196             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,5                                       | 2,5                 | 2,558             |
| 50,0                    | 50,0 | 2,0   | 1,0                          | S   | 0,1                                       | 9,55                | 9,712             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,2                                       | 7,95                | 8,078             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,3                                       | 6,15                | 6,041             |
|                         |      |   |                              | S   | 0,4                                       | 4,35                | 4,447             |

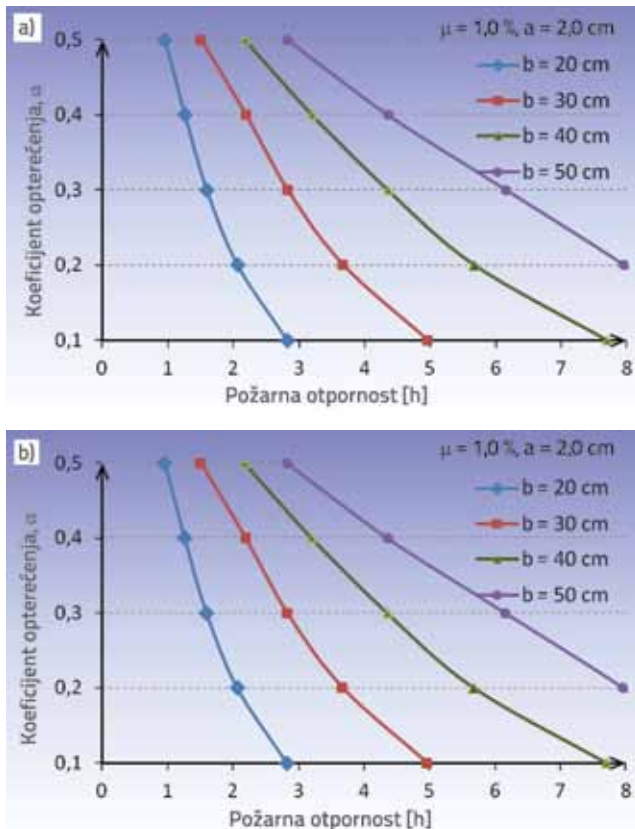
Tablica 2. Pregled rezultata ostvarenih primjenom računalnog programa FIRE i prognostičkog modela na bazi neuralnih mreža (grupa podataka za testiranje mreže)

| ULAZNI PODACI        |    |   |                        |   | IZLAZNI PODACI<br>(požarna otpornost [h]) |                  |                |
|----------------------|----|---|------------------------|---|---|------------------|----------------|
| Dimenzije stupa [cm] |    | Debljina zaštitnog betonskog sloja [cm] | Postotak armiranja [%] | Tip agregata S - silikatni ili C - karbonatni | Koeficijent opterećenja                   | Numerička metoda | Neuralne mreže |
| b                    | d  | a                                       | $\mu$                  | S ili C                                       | $\alpha$                                  | t                | t              |
| 20                   | 20 | 4                                       | 0,60                   | S   | 0,20                                      | 2,105            | 1,987          |
| 20                   | 20 | 4                                       | 1,00                   | S   | 0,40                                      | 1,395            | 1,329          |
| 20                   | 20 | 2                                       | 1,50                   | S   | 0,10                                      | 2,810            | 2,873          |
| 20                   | 20 | 5                                       | 1,00                   | S   | 0,40                                      | 1,270            | 1,354          |
| 30                   | 30 | 3                                       | 1,00                   | S   | 0,20                                      | 3,710            | 3,695          |
| 30                   | 30 | 3                                       | 1,00                   | C   | 0,40                                      | 2,975            | 2,731          |
| 40                   | 40 | 2                                       | 1,00                   | S   | 0,20                                      | 5,675            | 5,617          |
| 40                   | 40 | 3                                       | 1,00                   | C   | 0,50                                      | 2,925            | 3,024          |
| 50                   | 50 | 3                                       | 1,00                   | C   | 0,40                                      | 5,800            | 5,706          |
| 50                   | 50 | 3                                       | 1,00                   | C   | 0,20                                      | 8,150            | 8,189          |



Slika 4. Krivulje požarne otpornosti za različite postotke armiranja; a) neuralne mreže, b) računalni program FIRE

Slika 5. Krivulje požarne otpornosti za različite debljine zaštitnog sloja; a) neuralne mreže, b) računalni program FIRE



Slika 6. Krivulje požarne otpornosti za različite dimenzije stupova: a) neuralne mreže, b) računalni program FIRE

Može se vidjeti da su odgovarajuće krivulje izrađene na temelju rezultata numeričkog proračuna i na temelju

rezultata iz neuralnih mreža slične i daju vrlo bliske rezultate. Rezultati istraživanja pokazali su jednostavnost i pozitivne aspekte korištenja neuralne mreže za rješavanje inženjerskih problema. Nakon usporedbe obiju metoda može se zaključiti da umjetne neuralne mreže predstavljaju odličan alat za prognošičko modeliranje i mogu se koristiti za određivanje požarne otpornosti armiranobetonskih stupova, posebno u onim slučajevima kada ne postoje (ili postoje vrlo malo) eksperimentalni i/ili numerički rezultati.

#### 4. Zaključak

Prvi podatci o neuralnim mrežama datiraju iz godine 1940., ali je njihova praktična primjena započela 40 godina kasnije, s otkrićem odgovarajućih algoritama koji značajno utječu na povećavanje primjenjivosti. Danas postoje mnoga istraživanja o neuralnim mrežama, i one su predmet proučavanja na mnogim svjetskim sveučilištima. Neuralne mreže su primjer za sofisticirane tehnike modeliranja i kao metoda za rješavanje različitih teških i složenih inženjerskih problema pronašle su svoju praktičnu primjenu u različitim područjima.

Primjena neuralnih mreža za prognošičko modeliranje koje se može koristiti za predviđanje požarne otpornosti konstrukcija i njihovih elemenata jest od goleme važnosti za proces projektiranja u građevinarstvu. Većina je eksperimentalnih modela za određivanje požarne otpornosti iznimno skupa, a analitički modeli su komplicirani i zahtijevaju duže vrijeme. Zato suvremeni tip analize, kao što je modeliranje putem neuralnih mreža, može itekako pomoći, posebno u onim slučajevima kada su već napravljene neke prethodne analize.

#### LITERATURA

- [1] Baum, E.B.: *Capabilities of Multilayer Perceptrons*, Journal of Complexity, vol. 4, 1988.
- [2] Baum, E.B., Haussler, D.: *What Size Net Gives Valid Generalization*, Neural Computation, vol. 1, 1989.
- [3] Chen A. M., Lu H.M., Hecht-Nielsen R.: *On the geometry of feed forward neural network error surfaces*, Neural computations, pp. 910-927, 1993.
- [4] Leshno, M., Lin, V.Y., Pinkus, A., Schocken S.: *Multilayer Feed forward Networks with a Nonpolynomial Activation Function Can Approximate any Function*, Neural Networks, vol.6, 1993.
- [5] Lin, T.D., Zwiers, R.I., Burg, R.G., Lie, T.T., McGrath, R.J.: *Fire resistance of reinforced concrete columns, PCA Research and development bulletin RD101B*, Skokie, Illinois: Portland Cement Association, 1992
- [6] Vouk, D., Malus, D. and Carević, D.: *Neural networks and their application in water management*, Građevinar 63 (2011) 6, pp. 547-554
- [7] Werbos, P. J.: *"Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences"*, Master thesis, Harvard University, 1974.
- [8] Zejak, R.: *"Prilog analizi vitkih armiranobetonskih elemenata sa kosim savijanjem"*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2003.
- [9] Žagar, Z., Janjuš, G.: *"Use of neural networks in the design of wooden structures"*, Građevinar 54 (2002) 10, pp. 577-583
- [10] Cvetkovska, M.: *Nonlinear Stress Strain Behavior of RC Elements and Plane Frame Structures Exposed to Fire*, Doctoral dissertation, Civil Engineering Faculty in Skopje, "Sts Cyril and Methodius" University, Macedonia, 2002.
- [11] Bazant, Z.P., Kaplan, M.F.: *Concrete at High Temperature: Material Properties and Mathematical Models*, London: Longman Group Limited, 1996.
- [12] Knežević, M.: *Risk management of civil engineering projects*, doctoral dissertation, Civil Engineering Faculty, University in Belgrade, Serbia, 2005.
- [13] Knežević, M., Zejak R.: *Neural networks – application for usage of prognostic model of the experimental research for thin reinforced-concrete columns*, scientific research work, Materials and constructions, 2008.
- [14] Grossberg S.: *Classical and instrumental learning by neural networks*, Progress in theoretical biology, vol. 3, pp. 51-141, New York: Academic Press, 1974.
- [15] Rumelhart, D.E., Hinton G.E., Williams R. J.: *Learning internal representations by error propagation*, Parallel distributed processing, vol. 1, pp. 318-62. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.