



## 6. INTERNACIONALNI NAUČNO-STRUČNI SKUP GRAĐEVINARSTVO - NAUKA I PRAKSA

ŽABLJAK, 7-11. MART 2016.

---

*Marijana Lazarevska<sup>1</sup>, Ana Trombeva Gavriloska<sup>2</sup>, Meri Cvetkovska<sup>3</sup>, Miloš Knežević<sup>4</sup>*

### PRIMENA NEURALNIH MREŽA ZA UPRAVLJANJE GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA I PROGNOZA GRAĐEVINSKE PRODUKTIVNOSTI

#### **Rezime**

Neuralne mreže imaju širok spektar primene u različitim oblastima ljudskog života i koriste se za rešavanje brojnih tipova problemskih zadataka, od kojih se navode sledeći: upravljanje proizvodnim procesima, ekonomske i finansijske analize, izrada prognoznih modela, prognoza vremena, predviđanje zemljotresa, rešavanje optimizacionih problema, prognoziranje tržišne cene itd. Pozitivni aspekti veštačkih neuralnih mreža se primenjuju i za rešavanje različitih problema iz oblasti građevinarstva, principijelno za predviđanje i prognozno modelovanje, upravljanje projektima, planiranje, optimizaciju i donošenje odluka.

#### **Ključne riječi**

Neuralne mreže, upravljanje građevinskim projektima, građevinska produktivnost

### APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR MANAGEMENT OF CIVIL ENGINEERING PROJECTS AND PREDICTION OF CONSTRUCTION PRODUCTIVITY

#### **Summary**

Neural networks have a wide spectrum of application in different fields of human life and they can be used for solving numerous problems, such as: management of production processes, economic and financial analyses, prognostic models, prediction of time, optimization, prediction of market value etc.

The positive aspects of artificial neural networks can be also applied in civil engineering, for prediction and prognostic modeling, project management, planning, optimization and decision making process.

#### **Key words**

Neural networks, management of civil engineering projects, construction productivity

---

<sup>1</sup> Assist. Prof., PhD Civ. Eng., Faculty of Civil Engineering, Skopje, Macedonia, marijana@gf.ukim.edu.mk

<sup>2</sup> Assoc. Prof., PhD Civ. Eng., Faculty of Architecture, Skopje, Macedonia, agavriloska@arh.ukim.edu.mk

<sup>3</sup> Prof., PhD Civ. Eng., Faculty of Civil Engineering, Skopje, Macedonia, cvetkovska@gf.ukim.edu.mk

<sup>4</sup> Prof., PhD Civ. Eng., Faculty of Civil Engineering, Podgorica, Montenegro, knezevicmilos@hotmail.com

## 1. UVOD

Ideja za primenu veštačkih neuralnih mreža datira još iz prošlog veka, tačnije iz 1943. godine, kada se po prvi put u literaturi sreće zapis o pokušaju modelovanja biološkog neuralnog sistema. Reč je o objavljenom radu Vorena MekKulloha i Voltera Pitsa (pod nazivom "Logično računanje za ideju karakteristućnu za neuralne aktivnosti" [1, 5, 9].

Stremljenje u proučavanju rada neuralnog sistema i stvaranje veštačkog matematičkog modela inspiriranog radom ljudskog mozga, postao je predmet istraživanja velikog broja naučnika širom sveta. Izdvaja se činjenica da je prva primena algoritma za obučavanje veštačkih neuralnih mreža bila 1949. godine, od strane Donalda Heba [1, 5, 9]. Veliki uticaj na daljni razvoj veštačkih neuralnih mreža imao je istraživački rad Marvinina Minskog, konstruktor neurokompjuter nazvanog Snark u 1951. godini. Kao sledeći značajni momenat u istoriji razvoja neuralnih mreža se spominje otkrivanje jednoslojne neuralne mreže nazvane perceptron od strane Frenka Rozenblata. Upravo on, zajedno sa Čarlsom Vajtmanom i njihovi saradnici su uspeali da kreiraju prvi neurokompjuter, poznat pod nazivom Mark I [1, 5, 9]. U periodu od 1950. do 1960. napisane su knjige i objavljivani su radovi, pa su čak osnovane i kompanije čiji je cilj bio da se istraživanje, razvoj i primena neuralnih mreža za rešavanje različitih problema. Ipak, razvoj neuralnih mreža posle ovog perioda beleži zastoj od nekih dvadeset godina. Razlog za ovo se pripisuje neadekvatnom (ili nepostojećom) analitičkom pristupu istraživača, a i njihovom idealističkom ubeđenju da su samo na nekoliko koraka od otkrivanja veštačkog mozga. Upravo ovaj pesimistički zanos je doprineo diskriminaciji neuralnih mreža i izazvao nezainteresovanost kod mnogih istraživača [1, 5, 9].

Interes za neuralne mreže ponovo se pojavio, zahvaljujući istraživačkom radu Teuva Kohonena, Kunihika Fukušime i Stefana Grosberga. Ovi istraživači su razvili i dali teorijske postavke koje i dan danas predstavljaju osnovu za funkcioniranje višeslojnjih neuralnih mreža [1, 5, 9]. U istorijskom razvoju neuralnih mreža posebno se ističe Kohonen koji je otkrio nekoliko tipova neuralnih mreža koje se koriste čak i danas i nose njegovo ime [1, 5, 9]. Iz ovog perioda značajno je spomenuti i sledeće naučnike: Amari (1967.) koji je zaslužan za ideju o skrivenim slojevima u neuralnim mrežama, Bryson i Ho (1969.) koji su razvili algoritam dosta sličan backpropagation algoritmu, Werbos (1974.) koji je razvio backpropagation algoritam itd. [1, 5, 9, 16]. Sredinom osamdesetih godina bio je objavljen rad poznatog fizičara John Hopfield u kome se ističe pokušaj da se napravi veza između neuralnih mreža i fizičkih sistema. Od tog perioda pa sve do početka devedesetih godina 20. veka, neuralne mreže su se počele izučavati u velikom broju renomiranih univerziteta u SAD [1, 5, 9, 16].

Iako neuralne mreže postoje još od 1940. godine, praktično su se počele primenjivati čak u osamdesetim godinama 20. veka kada su bili otkriveni odgovarajući algoritmi koji su značajno povećali njihovu aplikativnost i upotrebljivost [1, 5, 9, 16].

U današnje vreme, proučavanje neuralnih mreža beleži kontinuirani razvoj i interes, a njihovo izučavanje u obliku predmetnih programa može se sresti na mnogo univerziteta širom sveta. Neuralne mreže se primenjuju za rešavanje sve većeg broja problema sa bilo kakvom specifičnošću i kompleksnošću. One nude idealno rešenje za različite tipove problema, kao što su prevođenje teksta u govor, prepoznavanje slova, rešavanje problema za koje ne postoji algoritamsko rešenje, modelovanje sistema sa nejasnim fizičkim

procesima, problemi koji su previše složeni da bi se mogli rešiti sa tradicionalnim metodama itd.

1989. godine, sa strane Adeli-ja i Yeh-a je objavljen prvi naučni rad u kome se razrađuje primena veštačkih neuralnih mreža u građevinarstvu. Autori su primenili model perceptrona, mreže bez skrivenih slojeva, za projektovanje čeličnih greda [1]. Od tada pa sve do danas u literaturi se može sresti veliki broj istraživanja koja razrađuju različite probleme iz ove oblasti, a u nastavku ću navesti neke od njih: konstruktorstvo, prognoza građevinske produktivnosti, projektovanje, planiranje i upravljanje građevinskim projektima, optimizacija, generisanje mreže konačnih elemenata, prognozno hidrološko modelovanje, geotehnika itd.

## **2. PRIMENA NEURALNIH MREŽA ZA UPRAVLJANJE GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA I PROGNOZA GRAĐEVINSKE PRODUKTIVNOSTI**

### **2.1. UPRAVLJANJE GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA**

U literaturi se sreću primeri o uspešnoj primeri veštačkih neuralnih mreža za projektovanje, planiranje i upravljanje građevinskim projektima. Mawdesly i Carr (1993.) su istraživali mogućnost primene neuralnih mreža za izradu mreža za planiranje projekata, čime bi se nadmašio nedostatak iskusnih planera za planiranje sve kompleksnijih projekata [1, 5]. William (1993.) je razvio model neuralne mreže sa backpropagation algoritmom za predviđanje promena u indeksu troškova gradnje. Murtaza i Deborah (1994.) su primenili neuralnu mrežu sa nenaglednim obučavanjem sa Kohonen algoritmom za donošenje odluka o građevinskoj modularizaciji [1, 5]. Mohammad i drugi (1995.) su primenili Hopfildovu neuralnu mrežu za određivanje optimalnog raspodela godišnjeg budžeta za nekoliko projekata (sanacije) [1, 5]. Savin i drugi (1996., 1998.) su istraživali primenu Hopfildove neuralne mreže, zajedno sa algoritmom Lagranžovih multiplikatora za optimizaciju, za izjednačenje resursa potrebnih za izgradnju objekata [1, 5]. Li (1996.) je koristio neuralnu mrežu za računsko modelovanje građevinskih troškova. Soemardi (1996) je koristio fazi neuralne mreže za donošenje odluka za izbor zidnog sistema sa više kriterijuma. Prognoza efektivnosti građevinskih kompanija je bila istraživana sa strane McKim i drugi (1996..) [1, 5]. Elazouni i drugi (1997) koriste backpropagation algoritam za računanje potrebe resursa za izgradnju, još u početnoj fazi projektovanja, a model su primenili na izgradnji betonskih zidova silosa. [1, 5]. Chua i drugi (1997.) su koristili neuralne mreže za identifikaciju ključnih faktora upravljanja koji imaju uticaj na budžet projekata [1, 5]. Al-Tabtabai i drugi (1997.) su primenili neuralnu mrežu sa backpropagation algoritmom za izradu postupka za odlučivanje koji bi se koristio od strane projektnih menadžera uključenih u proces monitoringa plana za izvođenje višespratnih zgrada [1, 5]. Adeli i Karim (1997.) matematički su formulisali problem planiranja projekata putem analize planiranja izgradnje autoputa. Zadatak su sveli na optimizaciju dinamike izgradnje sa ciljem minimiziranja direktnih troškova izgradnje. Nelinearnu optimizaciju su rešili pomoću neuralnog dinamičkog modela. Za bilo koje vreme trajanje izgradnje, model je bio u stanju da automatski generiše optimalan plan rada za minimalne troškove izgradnje. Bazirajući se na istom modelu neuralnih mreža, oni su razvili objektno orijentisan informacioni model za

planiranje izgradnje, optimizaciju troškova i upravljanje promenama u dinamici. Adeli i Wu (1998.) su razvili model sa neuralnim mrežama za računanje troškova izgradnje armiranih betonskih trotoara [1]. Hegazy i Aayed (1998.) su primenili pozitivne aspekte neuralnih mreža za razvijanje parametarskog modela za računanje troškova izgradnje autoputeva [1, 5]. Senouci i Adeli (2001.) su pripremili neuralni model za planiranje resursa, uzimajući u obzir međuzavisnost građevinskih aktivnosti, timski rad, rokove za izgradnju i troškove. Njihov model je bio baziran na minimizaciji ukupnih troškova izgradnje sa istovremenim izjednačavanjem resursa i planiranjem ograničenih resursa [1]. Knežević (2005.) je istraživao veštačke neuralne mreže i njihovu primenu za analize rizika pri realizaciji građevinskih projekata, kao i mogućnosti šire primene u analizi eksperimentalnih podataka. Primena neuralne mreže u izradi prognoznog modela za graničnu silu i maksimalne ugibe u pravcima glavnih centralnih osa inercije, za analizirane armiranobetonske vitke stubove., i u izradi prognoznog modela za tržišnu cenu koštanja stanova, pokazuju zadovoljavajuće rezultate [11, 12]. Al-Zwainy (2008) je razvio četiri modela neuralnih modela za računanje ukupnih troškova izgradnje autoputeva [3].

Veštačke neuralne mreže se upotrebljavaju i za modelovanje dinamičkih procesa, odnosno problema kod kojih izlazni vektor iz mreže nije jedinačan rezultat već serija rezultata u određenom vremenskom periodu. Zbog toga je uočena njihova uspešna primena kod simuliranja građevinskih procesa gde je potrebna prognoza ponašanja i karakteristika konstrukcije u toku vremena. Za razvoj novog prognoznog modela, neophodno je obezbeđivanje podataka i uzoraka za obučavanje mreže koji prikazuju ponašanje građevinskog procesa u određenim uslovima i okolnostima.

Podaci za obučavanje se mogu dobiti putem analize i posmatranja nekog procesa u toku, sintezom istorijskih podataka, putem iskustva ili korišćenjem prethodnih primera, putem eksperimenata ili preko neke numeričke analize. Svaki uzorak za obučavanje mora obuhvatiti ulazni vektor koji je predstavljen grupom vrednosti za parametre koje imaju uticaj na građevinski proces, i odgovarajući izlazni vektor koji predstavlja stanje procesa u određenom vremenskom periodu. Ovakva simulacija omogućava prognozno modelovanje budućih stanja nekog sistema ili procesa bazirajući se na neko prošlo ili sadašnje stanje. Kompiuterska simulacija građevinskih procesa predstavlja moćan alat za modelovanje u rukama projektnih menadžera i inženjera u procesu projektovanja, planiranja, računanja, monitoringa i kontrole svih tipova građevinskih aktivnosti. Ovaj pristup može biti uspešno primenjen za rešavanje različitih zadataka iz oblasti građevinarstva, kao na primer: određivanje prikladnog metoda izgradnje, izbor optimalne kombinacije građevinskih mašina, određivanje najpovoljnije raspodele radne snage, optimizaciju troškova, vremena i izgradnje, za simuliranje dinamičkog opterećenja konstrukcija izazvanog različitim opterećenju, za ekstrapolaciju vremenskih serija seizmičkog ubrzavanja u osnovi i kod objekata koji su pod uticajem zemljotresa, za modelovanje termodinamičkog ponašanja objekata i/ili njihovih konstruktivnih elemenata, za prognozu i predviđanje dinamičkog odgovora konstrukcija izloženih slučajnom opterećenju itd. Simulacija se može primeniti i za predviđanje verovatnog vremena trajanja projekta i njegovih troškova, za potrebe projektovanja i tenderske procedure, kao i za računanje uticaja nepredviđenih događaja na započetim ili već završenim građevinskim radovima. Brzo izvršavanje simulacije putem paralelnog procesiranja je predstavljalo podsticaj za veću primenu neuralnih mreža u

---

<sup>1</sup> Simulacija je dinamički proces u kom je model (u ovom slučaju građevinski proces ili sistem) izložen postupnoj (korak po korak) promeni stanja u toku vremena. Stanje modela u svakom koraku opisuje očekivano stanje realnog sistema u određenom vremenu (Flood, 1990.)

dinamičkom modelovanju, nasuprot klasičnim metodama za kompjutersko procesiranje simulacionih modela.

Osnova svake simulacije je da se modeluje sistem putem tačnog projektovanja šematskog dijagrama. Flood (1990.) je, pomoću metode dijagram toka, grafički prikazao tok i osnovnu logiku građevinskih aktivnosti: iskop, utovar, transport i istovaranje materijala, predstavljenih preko građevinskih mašina: dozer, utovarivači i kamioni [8]. Šematski prikaz je predstavljao osnovu modela za simulaciju, koga je dalje trebalo proširiti dodavanjem dopunskih informacija (na primer, vreme trajanje aktivnosti, kapacitet radnih organa građevinskih mašina itd). Taj model je omogućio vizuelni prikaz odvojenih sastavnih komponenti procesa koje se mogu modelovati pomoću posebnih neuralnih mreža, odnosno modula iz prethodno definisanih mreža, da bi se na kraju spojili međusobno stvarajući kompletnu neuralnu mrežu. Ulazni podaci i nivoa aktivacije u mreži odgovaraju početnom stanju modela, a izlaz iz mreže je stanje modela koje odgovara sledećoj tački u simulacionom vremenu. Ova rezultatna informacija se propušta preko mreže kao njen ulaz čime se izaziva drugi odgovor i odgovarajući izlaz, odnosno sledeće stanje modela. Ovaj proces se ponavlja sve dok stanje modela ne dostigne krajnju tačku simulacije. Flood je posmatrao dve posebne klase modula koji su potrebni za pravilno simuliranje građevinskih procesa: modul gde težinski koeficijenti u mreži mogu biti deterministički određeni, i modul gde se težinski koeficijenti određuju putem odgovarajućeg postupka za obučavanje mreže. Prvi je modul primenio na primeru deponije materijala koji je dobijen kao rezultat iskopa i istovaran kamionima. Drugi je modul objasnio pomoću primera neuralne mreže kojom se generišu vreme trajanja građevinskih aktivnosti koje imaju verovatnoću pojave saglasno predviđenom krivom distribucije. Pozitivni aspekt ovog pristupa je brzina procesiranja koja ne zavisi od veličine i kompleksnosti modela što doprinosi njegovoj jednostavnoj implementaciji za simulaciju različitih građevinskih procesa. Autori Flood i Christophilos (1996.) su primenili neuralne mreže za modelovanje dinamičkih građevinskih aktivnosti koje se odnose diskretno i stohastički, kao alternativu konvencionalnog metoda za simulaciju diskretnih događaja [6]. Kao osnovni motiv za razvoj ove tehnike oni navode potencijal koji imaju neuralne mreže za lakše modelovanje, posebno u slučaju kada nije raspoloživo dovoljno teorijsko znanje kojim je opisana i objašnjena zavisnost između sastavnih delova procesa. Ovakav pristup su oni primenili za modelovanje dve klase sistema građevinskih mašina, sistema sastavljenog od dozera i skrepera, i sistema sastavljen od utovarivača i kamiona. Ova istraživanja pokazuju da se neuralne mreže mogu uspešno primenjivati za izradu simulacionih modela u građevinarstvu.

## 2.2. PROGNOZA GRAĐEVINSKE PRODUKTIVNOSTI

U literaturi se mogu sresti primeri za primenu neuralnih mreža u građevinarstvu koje koriste modularni pristup za razvoj mreže. Takav je primer sa simulacijom građevinskih aktivnosti koja je bila cilj istraživanja od strane Flood-a (1990.). Neuralna mreža koju je on koristio za simulaciju građevinskog procesa je bila sastavljena od nekoliko modula, gde je svaki modul predstavljao neki podproces. Ovakva struktura mreže omogućuje modelovanje različitih procesa i jednostavan razvoj novih modula za simulaciju širokog spektara problema [8]. Modularizacija neuralnih mreža je bila primenjena za računanje karakteristika tovarnih kamiona putem napona koji su izazvani na tlu po kom se ti kamioni kreću (Gagarine i drugi 1992.). U ovom slučaju ulazni podaci mreže su bile vrednosti o opterećenjima koje su bile dobijene merenjem u određenim fiksnim tačkama na

tlu tokom jednog prolaza vozila, pri čemu svaki ulazni neuron predstavlja opterećenje u različitoj tački u toku vremena. Izlazni rezultati su prognozne vrednosti o brzini vozila, daljine između osovine i osnog opterećenja. Strukturno, neuralna mreža je bila organizirana u dva modula. Prvi sloj je predstavljen jednoslojnom mrežom kojom se određivala osnovna klasa kamiona. Drugi sloj je bio sastavljen od posebnih modula za računanje osnog rastojanja, osnog opterećenja ili brzine kamiona u zavisnosti od klase vozila. Modularizacija je omogućila obezbeđivanje odgovarajućeg obučavanja mreže i obezbeđivanje prihvatljivog stepena tačnosti u razumnom vremenskom periodu [7]. Slično ovome, autori Karshenas i Feng (1992.) su analizirali učinak građevinske mehanizacije za zemljane radove primenom neuralnih mreža. Oni su koristili mrežu sastavljenu od nekoliko paralelnih modula za prognozu brzina mašina u zavisnosti od određenih faktora okruženja [10]. Uzimajući u obzir činjenicu da se u današnje doba građevinske aktivnosti vrlo često izvode pomoću građevinskih mašina koje rade zajedno i formiraju tehnološke sisteme, sasvim je opravdan veliki interes inženjera za istraživanje ove oblasti. Upravo zato se u literaturi može sresti veliki broj pisanih radova u kojima su različiti autori objavili pozitivne rezultate za prognozu određenih karakteristika građevinskih mašina dobijenih pomoću neuralnih mreža. Ovdje ću spomenuti autore Schabowicz i Hola koji su uspešno primenili neuralne mreže za prognozu efektivnosti građevinskih mašina za izvođenje zemljanih radova (mašine za iskop i transport). Oni su analizirali koeficijente efektivnosti mehanizacionog procesa koje imaju veliki uticaj na ukopne troškove i benefite tehnološkog sistema, tačnije koeficijent efikasnosti po jedinici završenog rada (učinak mašine), indeks gubitaka zbog nerada mašina i koeficijent postignute transportne jedinačne cene. Kao ulazni parametri u mreži bili su korišćeni podaci o broju mašina za iskop i transport i njihova radna zapremnina, kao i kategorija puta po kojem su se iste kretale, za različite transportne daljine. Pomoću poznatih vrednosti o karakteristikama i tehničkim parametrima građevinskih mašina za zemljane radove, oni su obučili model neuralne mreže koji može poslužiti za kvalitetnu i verodostojnu prognozu koeficijenata efektivnosti građevinskih mašina za iskop i transport zemljanog materijala, što je od posebnog značaja u procesu projektovanja i izgradnje građevinskih objekata [14]. Tačna prognoza produktivnosti građevinske mehanizacije i opreme je kritična za kvalitetno i pravilno planiranje i kontrolu izvođenja građevinskih objekata. Zbog jedinstvenosti i neponovljivosti uslova za rad i promenljivosti okolne sredine, kao i zbog unikatnosti svakog građevinskog objekta, uticaj faktora za upravljanje radovima na produktivnost izgradnje je veoma kompleksan. Sve ovo donosi povećavanju složenosti računanja građevinske produktivnosti, čak i kada je reč o dobro poznatoj mehanizaciji, opremi i metodama za rad. Jedan od glavnih razloga za primenu neuralnih mreža za računanje produktivnosti izvedenih građevinskih radova je izbegavanje kompleksnosti direktnog preslikavanja spoljnih faktora uticaja i faktora za upravljanje radovima na produktivnost. Koristeći hipotezu da model neuralne mreže može da poboljša i pojednostavi računanje produktivnosti mašina [13], autori Seung C. Ok i Sunil K. Sinha su razvili prognozni model za računanje produktivnosti (praktični učinak) dozera. Upoređivanje rezultata dobijenih pomoću prognoznog modela izrađenog uz pomoć neuralnih mreža i rezultata dobijenih pomoću transformirane regresione analize je pokazalo da nelinearna veštačka neuralna mreža poseduje potencijal za poboljšavanje računanja produktivnosti građevinske mehanizacije. Autori Chao i Skibniewski su analizirali primere produktivnosti u izvođenju zemljanih radova, odnosno prilikom iskopa i transporta zemljanog materijala. Oni su razradili dva modula neuralnih mreža: za računanje kapaciteta građevinskih mašina za iskop, bazirajući se na uslovima rada, i za računanje efikasnost mašina, bazirajući se na karakteristikama operativnih elemenata. Rezultati sprovedenih

analiza i testova su pokazali da neuralne mreže poseduju potencijal za efikasnu prognozu građevinske produktivnosti [4]. Prognozni model sa višeslojnom neuralnom mrežom za računanje produktivnosti građevinskih mašina za iskop je bio napravljen i sa strane Tam-a, Thomasa Tong-a i Sharon Tse (2002.). Model se pokazao kao odličan računarski alat koji je pogodan za direktno preslikavanje nelinearne zavisnosti između iskopa kao građevinske aktivnosti i ponašanja građevinskih mašina kojima se rad izvršava [15]. Računanje građevinske produktivnosti pomoću neuralnih mreža je bilo istraživano i od strane AL-Zwainy-ja, Rasheed-a i Ibraheem-a (2012.). Oni su izradili model višeslojne neuralne mreže, obučavane pomoću backpropagation algoritma, i primenili su taj model za prognozu produktivnosti građevinskih završnih radova na podovima izrađenih od mermera [2]. Kao ulazni parametri bili su iskorišćeni podaci o deset faktora uticaja: starost, iskustvo, radna snaga, broj sprata, veličina ploča, uslovi bezbednosti, status zdravlja radnika, vremenski uslovi, uslovi gradilišta i dostupnost građevinskog materijala. Mreža je imala jedan izlaz - prognozna vrednost produktivnosti za završne poslove. Sprovedena analiza je pokazala da je izrađeni model sa neuralnim mrežama omogućio preciznu prognozu građevinske produktivnosti sa visokim stepenom tačnosti koeficijenta korelacije (89,55%) i procenat prosečne tačnosti od 90,9% [9]. Na sličan način AL-Zwainy (2012.) je primenio neuralne mreže za računanje produktivnosti građevinskih završnih radova sa kamenim pločama [3].

### 3. ZAKLJUČAK

Prednost neuralnih mreža se može uvideti u njihovoj sposobnosti da uče, mogućnosti koja ih približava prirodnom načinu funkcionisanja ljudi i realnog sveta. Ipak, za razliku od ljudske inteligencije, one mogu pronaći veze između podataka i pojava koji možda izgledaju potpuno haotične i nerazumljive, i mogu da generalizuju (mreža će dati kvalitetan izlaz čak i u slučaju kada su ulazni podaci nekompletni). Neuralne mreže imaju mogućnost tolerancije nedostataka i mogu da funkcionišu čak i ako dođe do oštećenja dela mreže. Razlozi zbog kojih se neuralne mreže često pokazuju kao bolji alat za računanje, u poređenju sa klasičnim metodama, nalaze se u njihovoj sposobnosti da analiziraju podatke sa greškama, da rešavaju probleme koji nemaju jednoznačno određeno rešenje i da uče iz prošlih podataka.

Kao nedostatak neuralnih mreža može se istaći njihova slaba sposobnost za objašnjenje njihovog rada i funkcionisanja. Naime, neuralna mreža daje rezultate za koje se može potvrditi da su kvalitetni, precizni i tačni, ali ne postoji mogućnost da se korisniku objasni kako je mreža došla do tih rešenja.

Rezultati velikog broja istraživanja napravljenih širem sveta pokazuju da neuralne mreže mogu rešiti skoro sve probleme i to bolje i kvalitetnije u poređenju sa tradicionalnim metodama modelovanja i statističkim metodama. Mreže predstavljaju sofisticiranu tehniku modelovanja sposobnu za rešavanje velikog broja kompleksnih problema. Veštačke neuralne mreže se odlikuju velikim potencijalom primene, ali su u isto vreme pridružene različitim ograničenjima i nejasnoćama. Iako se do današnjeg dana ne može u potpunosti razumeti i objasniti rad neuralnih mreža (šta se dešava u unutrašnjosti mreže?), ipak one nalaze sve veću primenu i sa pravom se nazivaju poslednji "krik" savremene tehnologije.

## LITERATURA

- [1] Adeli H: "Neural networks in civil engineering: 1989.–2000.", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 16, no. 2, 2002, pp. 126-142.
- [2] AL-Zwainy Faiq M. S., Rasheed Hatem A. and Ibraheem Huda Farhan: "Development of the construction productivity estimation model using artificial neural network for finishing works for floors with marble", *ARNP (Asian Research Publishing Network ) Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 7, No. 6, ISSN 1819-6608, 2012.
- [3] Al-Zwainy Faiq M. S.: "The Use of Artificial Neural Networks for Productivity Estimation of finishing Stone works for Building Projects", *Journal of Engineering and Development*. 16(2), 2012, pp. 42-60.
- [4] Chao Li-Chung and Miroslaw J. Skibniewski: "Estimating construction productivity: Neural-network-based approach", *Journal of Computing in Civil Engineering* 8, no. 2, ISSN 0887-3801, 2006, pp. 234-251.
- [5] Flood Ian and Nabil Kartam: "Neural networks in civil engineering. II: Systems and application", *Journal of Computing in Civil Engineering* 8, no. 2, 1994, pp. 149-162.
- [6] Flood Ian and Paul Christophilos: "Modeling construction processes using artificial neural networks", *Automation in Construction*, Volume 4, Issue 4, ISSN 0926-5805, 1996, pp. 307-320.
- [7] Gagarine Nicolas, Ian Flood and Pedro Albrecht: "Weighing trucks in motion using Gaussian-based neural networks", *IJCNN International Joint Conference on Neural Networks*, vol. 2, pp. 484-489, IEEE, 1992.
- [8] Ian Flood: "Simulating the construction process using neural networks", *Proceedings of the 7th ISARC – International Association for Automation and Robotics in Construction*, Bristol, United Kingdom, pp. 374-382, 1990.
- [9] Jeng Dong Sheng, D. H. Cha, and M. Blumenstein: "Application of Neural Networks in Civil Engineering Problems", *Proceedings of the International Conference on Advances in the Internet, Processing, Systems and Interdisciplinary Research (IPSI-2003)*, 2003.
- [10] Karshenas Saeed and Xin Feng: "Application of neural networks in earthmoving equipment production estimating", *Computing in Civil Engineering and Geographic Information Systems Symposium*, pp. 841-847, ASCE, 1992.
- [11] Knežević M. and 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.
- [12] Knežević M.: "Risk management of civil engineering projects", *doctoral dissertation, Civil Engineering Faculty of University in Belgrade, Serbia*, 2005.
- [13] Ok Seung C. and Sunil K. Sinha: "Construction equipment productivity estimation using artificial neural network model", *Construction Management and Economics* 24, no. 10, pp. 1029-1044, 2006.
- [14] Schabowicz K. and B. Hola: "Application of artificial neural networks in predicting earthmoving machinery effectiveness ratios", *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 8, no. 4, pp. 73-84, 2008.
- [15] Tam C. M., Thomas KL Tong and Sharon L. Tse: "Artificial neural networks model for predicting excavator productivity", *Engineering Construction and Architectural Management* 9, no. 5-6, pp. 446-452, 2002.
- [16] Werbos P. J.: "Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences", *Master thesis, Harvard University*, 1974.