

**Doc. dr Bojan MATIĆ, dipl. inž. građ.<sup>1</sup>**  
**Prof. dr Vlastimir RADONJANIN, dipl. inž. građ.<sup>1</sup>**  
**Doc. dr Goran MLADENVIĆ, dipl. inž. građ.<sup>2</sup>**  
**Danka MATIĆ, prof. mat.<sup>1</sup>**

## **RAZVOJ MODELA ZA PREDVIĐANJE TEMPERATURA POVRŠINE KOLOVOZA PRIMENOM NEURONSKIH MREŽA**

0352-2733,46 (2013), p. 128-159

UDK: 625.85.042:004.032.26  
IZVORNI NAUČNI ČLANAK

### **Rezime**

Uticaj klimatskih faktora na kolovozne konstrukcije je posebno izražen jer su direktno izloženi njihovom uticaju. Bitno je utvrditi koji faktor i koliko utiče, kako na životni vek kolovozne konstrukcije tako i na bezbednost saobraćaja – posebno u zimskim mesecima. Ranijim istraživanjima je utvrđeno da je ambijentalna temperatura vazduha jedan od najvažnijih činilaca. Mnogi istraživači su pravili modele kojima se predviđa temperatura kolovoza u zavisnosti od jednog ili više faktora, pošto se pokazalo da temperatura kolovoza utiče na fizičko-mehaničke karakteristike kolovoza. Stoga je potrebno poznavati tem-

---

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd  
Rad primljen septembra 2013.

peraturu površine kolovoza, ali i na određenoj dubini, a u cilju što kvalitetnijeg projektovanja, izbora odgovarajućih materijala i kasnijeg održavanja kolovoza. Raniji modeli su uglavnom formirani pomoću statističkih metoda. U ovom radu je prikazan model koji predviđa temperaturu površine kolovoza pomoću neuronskih mreža.

**Ključne reči:** kolovoz, model, predviđanje, neuronske mreže

## **DEVELOPMENT OF A MODEL FOR SURFACE PAVEMENT TEMPERATURE PREDICTING USING NEURAL NETWORKS**

### **Abstract**

Effects of climate factors onto pavement constructions are very noticeable since they are exposed to their impact. It is important to determine the factor and to what extent it makes its impact, both to the lifespan of the pavement construction as well as to the traffic safety – especially during the winter months. Earlier researches have established that the ambient temperature is one of the most important factors. Many researchers have created models that predict pavement temperatures depending on one or several factors, since it has been proven that the pavement temperature affects physical and mechanical characteristics of pavement. Therefore, we have to be aware of the t surface pavemen temperature, but also on

a depth, aiming to reach the best design possible, select appropriate construction material and road maintenance. Previous models have mainly been created using statistical methods. This paper shows a model that predict surface pavement temperature using neural networks.

**Key words:** pavement, model, predicting, neural networks

## 1. UVOD

### *1.1. Uvod u problem*

Poslednjih decenija dolazi do naglog porasta primene bitumenom obavijenih materijala kod izrade nosećih i završnih slojeva kolovozne konstrukcije. Debljine ovih slojeva su često veće od 20 cm tako da se svakodnevno, širom sveta ugrađuju ogromne količine asfaltnih materijala u slojeve novih ili pojačanih kolovoznih konstrukcija. Tako široka primena postavlja zahteve za preciznim poznavanjem osobina materijala pri vrlo različitim uslovima koji se u praksi javljaju, pa se u tom smislu u svetu vrše mnogobrojna istraživanja. Kao osnovni zadatak postavlja se određivanje fizičko-mehaničkih osobina materijala pri uslovima koji odgovaraju uslovima u stvarnoj kolovoznoj konstrukciji, a u tu svrhu je kod bitumenom vezanih materijala vrlo značajno odrediti njihove karakteristike u opsegu temperatura koje će se javljati u kolovoznoj

konstrukciji, uz posebno razmatranje dejstva ekstremnih temperatura [13].

Pojava visokih temperatura u najtoplijim periodima godine može znatno da poveća uticaj viskozne komponente u ponašanju asfaltne mešavine i da dovede do većih deformacija kolovoza, naročito pri dejstvu teško opterećenog točka koji se sporo kreće ili miruje (ekstremna slučaj su autobuske stanice, saobraćajne trake za teška vozila na uzbrdici i sl.).

Iz ovog razloga je naročito važno utvrditi opasnost od pojave deformacije u uslovima ekstremnih temperatura i pre svega utvrditi visinu i dužinu trajanja tih temperatura, kao i detaljno analizirati saobraćajno opterećenje. Najveći saobraćajni špic javlja se, između podneva i završetka radnog vremena kada je temperatura najviša i kada su asfaltni slojevi najpodložniji stvaranju trajnih deformacija. S druge strane, u zimskim uslovima, najniže temperature u kolovoznoj konstrukciji su u jutarnjim časovima, u vreme jutarnjeg saobraćajnog špica. Tada postoji opasnost od nastajanja pukotina usled savijanja slojeva pod saobraćajnim opterećenjem pri istovremenom dejstvu znatnih unutrašnjih napona zatezanja nastalih u materijalu usled niskih temperatura.

S obzirom na dosadašnja iskustva, kontinentalni deo naše zemlje je područje kome se velika pažnja mora posvetiti temperaturnoj osetljivosti asfaltnih mešavina, jer hladne zime ne dozvoljavaju primenu tvrdih asfaltbetona, a topla leta uslovljavaju suprotan zahtev. Rešenje

se može tražiti kroz primenu bitumena sa malom temperaturnom osetljivošću, primenu elastomera i pogodnog granulometrijskog sastava mineralne mešavine kojim će se obezbediti čvrst i stabilan skelet asfaltnog sloja [6].

## ***1.2. Primena neuronskih mreža***

Dosadašnji modeli za predviđanje temperatura površine kolovoza uglavnom su uspešno primenjivani statističkim metodama - kod linearnih problema, a kako neuronske mreže mogu da savladavaju i nelinearne probleme i uz to su primenljive i kada podaci nisu potpuni to im daje prednost u praktičnoj primeni.

Generalno, neuronske mreže pogodne su za rešavanje problema u slučajevima kada rešenje problema nije moguće algoritamski definisati, kada je potrebno ekstrahovati određeni patern iz datog skupa podataka i kada ima dovoljno prethodnih primera koji omogućavaju obučavanje mreže [3].

Kako poslednjih godina dolazi do eksponencijalnog rasta razvoja savremenih računara i softverskih alata to je dovelo i do brzog razvoja i sve veće upotrebe i neuronskih mreža jer korisnici, zahvaljujući računarima koji su laki za upotrebu, mogu da rade sa mrežama bez poznavanja složenih principa neuronskog računanja.

Sem toga, neuronske mreže pokazale su se uspešnim i u oblastima u kojima tradicionalni računarski sistemi nisu davali zadovoljavajuća rešenja jer nisu uključivali ljudski faktor koji ima itekako važan uticaj.

Kod neuronskih mreža ovaj faktor je uključen jer mreža prvo „uči“ iz podataka o slučajevima koje je rešavao čovek pa onda, opremljena tim znanjima, pristupa rešavanju problema. Jasno je da mreže na nivou sadašnjeg razvoja nisu ni približno efikasne kao čovek, ali ipak imaju jednu od prednosti u odnosu na njega – „mašinsku racionalnost“.

Tolerantne na neizvesnost i parcijalnu istinu neuronske mreže uspešno se koriste u medicini, finansijama, građevinarstvu, fizici i td. za rešavanje problema predviđanja, klasifikacije i kontrole. Veštačke neuronske mreže takođe su veoma korisne za rešavanje problema iz oblasti prepoznavanja oblika, pisanih i izgovorenih reči.

Neuronske mreže predstavljaju novu generaciju sistema za procesiranje informacija koji poseduju mogućnost da uče, memorišu, prepoznaju a takođe i da generalizuju pravila [3]. One su u stanju da prepoznaju smisao u komplikovanim ili nepotpunim podacima i da u njima pronađu obrasce koje ne mogu ljudi, a ni kompjuterska tehnika zbog složenosti istih.

## **2. PREGLED LITERATURE**

Jedan od prvih istraživača koji je razmatrao problem proračuna maksimalnih temperatura kolovoza na osnovu izveštaja vremenskih uticaja je bio Barber 1957 godine [1]. Razmatran je kolovoz kao polu-beskonačna masa u kontaktu sa vazduhom. Ukupna dnevna radijacija je pro-

cenjena na osnovu geografske širine posmatranog kolovoza uzimajući u obzir njen uticaj na temperaturu vazduha blizu površine. Dempsey (1970 ) je razvio simulacioni model baziran na teoriji toplotne provodljivosti i energetske ravnoteže na površini kolovoza. *Strategic Highway Research Program* (SHRP) je formirao Long-Term Pavement Performance (LTTP) program 1987 godine kao 20-godišnje istraživanje za bolje definisanje karakteristika kolovoza na licu mesta-na terenu. 64 (LTTP) lokacije su izabrane kao deo *Seasonal Monitoring Program* (SMP). SMP lokacije su izabrane kako bi se dobili podaci o uticaju temperaturnih varijacija na konstruktivne osobine kolovoza (test defleksija), definisanje klimatskih uslova merenjem ambijentalnih temperatura i padavina, merenje temperatura donjih slojeva, sadržaja vlažnosti i dubine smrzavanja [4]. Kao rezultat SMP istraživanja, projektovanje asfaltnih slojeva prema SUPERPAVE (*Superior Performing Asphalt Pavement*) metodi se zasniva na očekivanim minimalnim temperaturama vazduha i maksimalnom sedmodnevnom prosečnom temperaturom vazduha. Najniža temperatura vazduha se smatra jednaka najnižoj temperaturi kolovoza. Maksimalna sedmodnevna prosečna temperatura vazduha se koristi za proračun maksimalnih temperatura kolovoza, prema *Superpave*-u [4].

Od početnih (SHRP) testova do SMP, modeli koji definišu temperaturu kolovoza su razvijani da bi pomogli u formiranju odgovarajućih asfaltnih slojeva i dati su u

uslovima PG (Performance Grade). Na primer PG 48-16 označava da je očekivani temperaturni opseg od minimalnih  $-16^{\circ}\text{C}$  do najviše sedmodnevne prosečne temperature  $48^{\circ}\text{C}$ . Poređenje odabranih PG i stvarnih temperatura kolovoza je proučavao Mohseny and Symons (1998), Lukanen et al. (1998), Bosscher et al. (1988) [10, 5, 2]. Ove visoke i niske temperature su vodič za odabir odgovarajućih asfaltnih veziva - bitumena i mešavina, kako ne bi došlo do nepoželjnih deformacija i pukotina. Istraživanja Park et al. (2001), and Marshal et al., (2001) obezbeđuju empirijski model koji omogućava korisniku procenu temperaturnog profila kolovozne konstrukcije u toku bilo kog dela dana [12, 11].

Praćenjem temperatura u Srbiji i analizom podataka takođe je utvrđeno da ambijentalna temperatura ima najveći uticaj na temperaturu kolovoza [6, 9, 13]. Formirana su dva modela koja predviđaju maksimalnu i minimalnu temperaturu površine kolovoza. Prvi model koji je baziran na podacima iz osamdesetih i devedesetih godina prošlog veka i model na bazi podataka iz 2010-12. godine. Zbog uticaja klimatskih promena u poslednjih trideset godina na prostorima Srbije prvi model [7] daje manje precizne rezultate u odnosu na model koji je razvijen kasnije, na bazi podataka koji su mereni tokom 2010-2012. godine.

Model za predviđanje minimalne temperature površine kolovoza može se predstaviti sledećom jednačinom [9]:

$$Y_{p,\min} = 0,910 \cdot X_{a,\min} - 0,415 \quad (1)$$



gde je:

$Y_{p,\min}$  predviđena minimalna dnevna temperatura površine kolovoza, °C;

$X_{a,\min}$  izmerena maksimalna dnevna temperatura vazduha, °C.

U okviru doktorske disertacije (Matić B., 2012) su formulisana i dva modela koja predviđaju maksimalnu temperaturu površine kolovoza. Prvi model je razvijen na osnovu podataka koji su preuzeti iz magistarskog rada [13] kod koga je koeficijent korelacije 0,972651 i standardana greška modela 3,0016 °C. Drugi model je formulisana na osnovu podataka sakupljenih tokom 2010-2012. godine kod koga je koeficijent korelacije 0,90777 i standardana greška modela 4,24378 °C. Pri analizi podataka, na osnovu srednje apsolutne greške koja iznosi 3,1356 °C, može se zaključiti da je za predviđanje maksimalnih temperatura površine kolovoza takođe bolji drugi model, koji se može predstaviti na sledeći način:

$$Y_{p,\max} = 1,269329 \cdot X_{a,\max} + 1,459487 \quad (2)$$

gde je:

$Y_{p,\max}$  predviđena maksimalna dnevna temperatura površine kolovoza, °C;

$X_{a,\max}$  izmerena maksimalna dnevna temperatura vazduha, °C.

Formulisani su i modeli koji predviđaju dnevnu temperaturu površine kolovoza, uključujući sezonske uticaje

Tabela 1.- Srednja apsolutna greška modela

Model	Srednja apsolutna greška (Mean Average Error, MAE), °C	
	maxTk	minTk
I model (Matić et. al, 2011)	4,743167	3,8976
II model (Matić et. al, 2012)	<b>3,1356</b>	<b>0.7044</b>

[8]. Modeli su razvijeni na osnovu podataka izmerenih tokom 2010-2012. godine. Modeli kao ulazne promenljive uključuju pored ambijentalne temperature i dan u godini. Koeficijenti korelacije i standardna greška modela su redom: 0,81655 i 1,8667 °C za period od januara do marta; 0,92612 i 3,5506 °C za period od aprila do juna; 0,9306 i 2,826 °C za period od jula do septembra i 0,95235 i 1,5187 °C za period od oktobra do decembra.

Druga grupa modela kao ulazne promenljive uključuje, pored ambijentalne temperature i dana u godini i vlažnost vazduha. Koeficijenti korelacije i standardana greška ovih modela su redom: 0,82098 i 1,82051 °C za period od januara do marta, 0,934873 i 3,3423 °C za period od aprila do juna; 0,9309 i 2,81960 °C za period od jula do septembra i 0,954136 i 1,490732 °C za period od oktobra do decembra. Na osnovu koeficijenta korelacije, standardane greške i srednje apsolutne greške modela može se zaključiti da se ovi modeli mogu koristiti sa odgovarajućom tačnošću za predviđanje dnevnih temperatura površine kolovoza [8]:

Tabela 2.- Srednja apsolutna greška modela koji predviđaju dnevnu temperaturu površine kolovoza [8]

Nezavisne promenljive	Srednja apsolutna greška (Mean Average Error, MAE), °C			
	Januar - Mart	April - Jun	Jul - Septembar	Oktobar - Decembar
Temperatura vazduha, dan u godini	1,284492	2,799148	<b>2,158237</b>	1,123356
Temperatura vazduha, dan u godini, vlažnost	<b>1,283519</b>	<b>2,613486</b>	2,162538	<b>1,082358</b>

Izraz koji se koristi za period od januara do marta može se predstaviti na sledeći način:

$$y_3 = 0,353672x_1 + 0,029246x_2 - 0,001897x_3 - 0,096510 \quad (3)$$

gde je:

- $y_3$  predviđena temperatura površine kolovoza, °C;
- $x_1$  ambijentalna temperatura, °C;
- $x_2$  vrednost dana u godini, važi za period od januara do marta (1-90);
- $x_3$  vlažnost, %.

Izraz koji se koristi za period od aprila do juna može se predstaviti na sledeći način:

$$y_3 = 0,99835x_1 + 0,09227x_2 - 0,09338x_3 + 10,67201 \quad (4)$$

gde je:

- $y_3$  predviđena temperatura površine kolovoza, °C;  
 $x_1$  ambijentalna temperatura, °C;  
 $x_2$  vrednost dana u godini, važi za period od aprila do juna (1-91);  
 $x_3$  vlažnost vazduha, %.

Izraz koji se koristi za period od jula do septembra može se predstaviti na sledeći način:

$$y_3 = 0,955390x_1 + 0,059185x_2 + 2,790362 \quad (5)$$

gde je:

- $y_3$  predviđena temperatura površine kolovoza, °C;  
 $x_1$  ambijentalna temperatura, °C;  
 $x_2$  vrednost dana u godini, važi za period od jula do septembra (92-1).

Izraz koji se koristi za period od oktobra do decembra može se predstaviti na sledeći način:

$$y_3 = 0,56688x_1 + 0,06271x_2 + 0,02110x_3 - 1,84295 \quad (6)$$

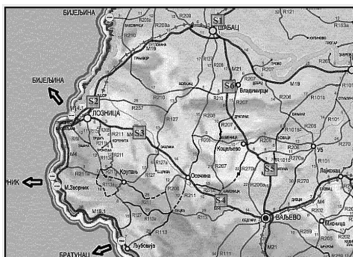
gde je:

- $y_3$  predviđena temperatura površine kolovoza, °C;  
 $x_1$  ambijentalna temperatura, °C;  
 $x_2$  vrednost dana u godini, važi za period od oktobra do decembra (92-1);  
 $x_3$  vlažnost vazduha, %.

### 3. RAZVOJ MODELA ZA PREDVIĐANJE TEMPERATURA POVRŠINE KOLOVOZA POMOĆU NEURONSKH MREŽA

#### 3.1. Podaci i metodologija

Oprema koja je korišćena za praćenje uticaja ambijentalnih uslova na temperaturu površine kolovoznih konstrukcija je deo projekta između JP „Putevi Srbije“ i švedske vlade, odnosno firme „COMBITECH“. JP „Putevi Srbije“ su omogućili Fakultetu tehničkih nauka korišćenje izmerenih podataka u naučne svrhe. Trenutno je postavljeno šest meteoroloških stanica na različitim lokalitetima po Srbiji.



Slika 1.- Geografski prikaz postavljene meteorološke stanice

Akvizicija svih meteoroloških podataka koji se nalaze u bazi, uključujući i temperature, vrši se na svakih

30 min. GMC server proziva meteo stanice na svakih pola sata i one mu prosleđuju sve izmerene podatke. Komunikacija se ostvaruje preko GMC modema. Mere se sledeće vrednosti: temperatura vazduha, vlažnost vazduha, temperatura tačke rose, vrsta padavina, temperatura površine kolovoza, maksimalna brzina vetra, *tabela 3.*

*Tabela 3.- Prikaz dela izmerenih podataka pomoću meteoroloških stanica*

Datum i vreme	Temperatura vazduha	Vlažnost vazduha	Temperatura tačke rose	Vrsta padavina	Temperatura površine kolovoza	Brzina vetra maks.
9.12.2011 20:00	4,9	60	-2,1	1	4,3	2,9
9.12.2011 19:30	5,4	57,9	-2	1	4,8	4,1
9.12.2011 17:00	7,9	47,6	-1,5	1	7,1	4,9
9.12.2011 16:30	8,3	46,8	-1,3	1	7,8	4,5

„Veličina“ i „broj padavine“ koje se registruju predstavljaju veličinu i broj prolaza čestica padavine koje se laserski detektuju (podaci za korisnike nisu od posebnog značaja i služe da bi se softverski iskalkulisale vrednosti promenljivih koje se odnose na količinu i vrstu padavina). Količina padavina se izražava u mm, a vrsta padavina „kodnim brojevima (1-9)“, na primer, broj 1 – bez padavina.

Dosadašnji modeli za predviđanje temperatura kolovoza u Srbiji bazirali su se na podacima dugogodišnjih

istraživanja u periodu od 1986. do 1993. godine, uz prekide zbog organizaciono-tehničkih razloga. U radu je predstavljen novi model za predviđanje temperatura površine kolovoza pomoću neuronskih mreža. Modeli su formirani na bazi podataka sakupljenih pomoću savremenih meteoroloških stanica u periodu od 2010. do 2012. godine na šest lokacija na prostoru Srbije.



Slika 2.- Prikaz putnih meteoroloških stanica

### ***3.2. Modeli formirani pomoću neuronskih mreža i njihova validacija***

Obučavanje modela pomoću neuronskih mreža je vršeno metodom obučavanja sa nadzorom. Kako bi se stekao utisak o modelima koji predviđaju temperature kolovoza, a rad rasteretio suvišnih podataka, pojedine

Tabela 4.- Prikaz modela koji predviđaju maksimalne temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu maksimalnih temperatura vazduha

Summary of active networks									
In	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algorithm	Error funct	Hidden activation	Output activation
1	MLP 1-5-1	0,94446	0,81571	0,00462	0,01596	BFGS 111	SOS	Logistic	Exponent
2	RBF 1-63-1	0,93131	0,83663	0,00569	0,01448	RBFT	SOS	Gaussian	Identity
3	MLP 1-6-1	0,94371	0,81537	0,00468	0,01599	BFGS 48	SOS	Exponent	Exponent
4	MLP 1-5-1	0,94407	0,81544	0,00467	0,01597	BFGS 9	SOS	Logistic	Logistic
5	MLP 1-6-1	0,94422	0,81580	0,00465	0,01594	BFGS 15	SOS	Logistic	Logistic

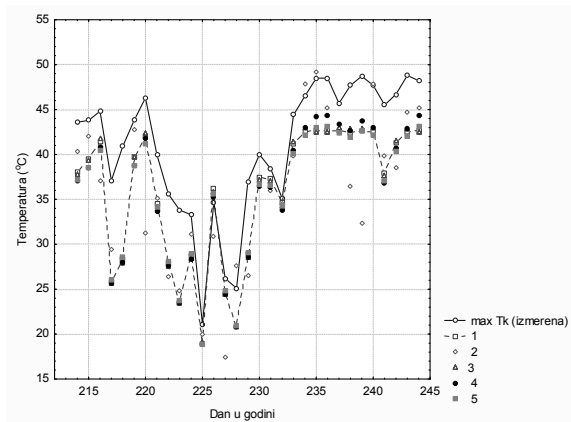
tabele u nastavku rada su date samo kao segmenti tabela sa svim podacima. Modeli koji predviđaju maksimalne temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu maksimalne temperature vazduha predstavljeni su u tabeli 4.

Srednja apsolutna greška za modele koji predviđaju maksimalne temperature površine kolovoza su redom: **3,82937757** °C, 4,33898559 °C, 3,87831275 °C, 3,91830361 °C, 3,87015883 °C, slika 3.

Na osnovu ovoga, može se utvrditi da je najbolje obučen model koji predviđa maksimalne godišnje temperature površine kolovoza model pod rednim brojem 1.

Modeli koji predviđaju minimalne temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu minimalne temperature vazduha predstavljeni su u tabeli 5.





Slika 3.- *Grafički prikaz izmerenih i predviđenih maksimalnih temperatura površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu maksimalne temperature vazduha*

Srednja apsolutna greška (MAE) za modele koji predviđaju minimalne temperature površine kolovoza su redom: 1,70287813 °C, 1,71532183 °C, **1,40998219 °C**, 1,56467132 °C, 1,45800342 °C, *slika 4*.

Na osnovu ovoga, može se utvrditi da je najbolje obučeni model koji predviđa minimalne godišnje temperature površine kolovoza je model pod rednim brojem 3.

Na osnovu srednjih apsolutnih grešaka može se utvrditi da modeli razvijeni pomoću neuronskih mreža predviđaju temperature površine kolovozne konstrukcije

Tabela 5.- Prikaz modela koji predviđaju minimalne temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu minimalne temperature vazduha

Summary of active networks									
In.	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algorithm	Error func.	Hidden activation	Output activation
1	RBF 1-52-1	0.962786	0.952177	0.002255	0.002832	RBFT	SOS	Gaussian	Identity
2	MLP 1-2-1	0.964481	0.963733	0.002179	0.002028	BFGS 11	SOS	Exponen.	Identity
3	<b>MLP 1-5-1</b>	<b>0.974493</b>	<b>0.972041</b>	<b>0.001555</b>	<b>0.001618</b>	<b>BFGS 44</b>	<b>SOS</b>	<b>Logistic</b>	<b>Tanh</b>
4	RBF 1-53-1	0.965427	0.949541	0.002098	0.003000	RBFT	SOS	Gaussian	Identity
5	MLP 1-6-1	0.973115	0.973451	0.001645	0.001518	BFGS 19	SOS	Logistic	Logistic

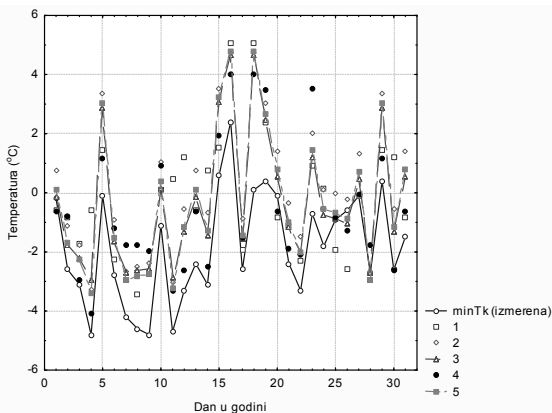
sa odgovarajućom tačnošću, *tabela 6.*

Modeli koji predviđaju temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha su predstavljeni u narednom delu rada.

Takođe, može se utvrditi da se uključivanjem vlažnosti vazduha kao ulazne promenljive u model za predviđanje temperatura površine kolovoza ne dobijaju kod svih modela manje apsolutne greške između izmerenih i predviđenih temperatura, nego se kod pojedinih modela greška i povećava, *tabela 7.*

Modeli koji predviđaju temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha i dana u godini za period januar-mart predstavljeni su u *tabeli 8.*

Srednja apsolutna greška (MAE) za modele koji predviđaju temperature površine kolo-



Slika 4.- *Grafički prikaz izmerene i predviđene minimalne temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu minimalne temperature vazduha*

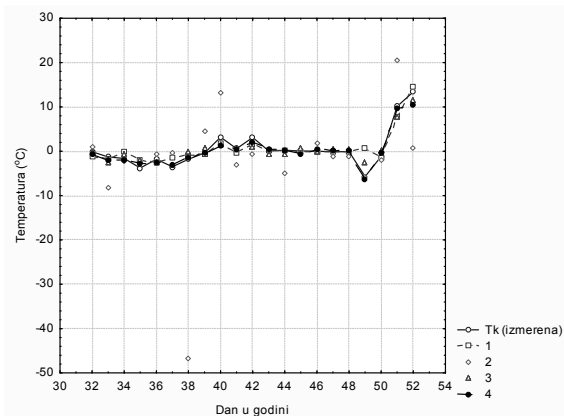
voza za period januar-mart su redom: 0.929021378 °C, 10.7530109 °C, 1.13786178 °C, **0.894486632 °C**, slika 5.

Tabela 6.- *Prikaz srednje apsolutne greške za model koji predviđa maksimalnu i minimalnu temperaturu površine kolovoza pomoću neuronskih mreža*

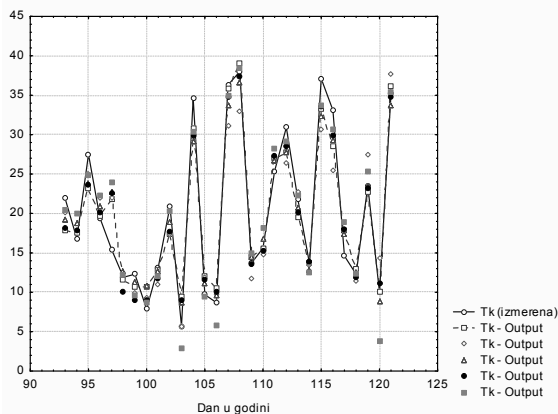
Srednja apsolutna greška		(Mean Average Error, MAE), °C	
maxTk		minTk	
3,82937757		1,40998219	

Tabela 7.- Prikaz srednjih apsolutnih grešaka za modele koji predviđaju temperaturu površine kolovoza pomoću neuronskih mreža za različite periode u toku godine

Nezavisne promenljive	Srednja apsolutna greška (Mean Average Error, MAE), °C			
	Januar-Mart	April - Jun	Jul - Septembar	Oktoibar - Decembar
Temperatura vazduha, dan u godini	<b>0,894487</b>	<b>2,226435</b>	1,690075	0,869849
Temperatura vazduha, dan u godini, vlažnost	1,033865	2,470103	<b>1,683501</b>	<b>0,852367</b>



Slika 5.- Grafički prikaz izmerenih i predviđenih temperatura površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha i dana u godini za period januar-mart



Slika 6.- Grafički prikaz izmerenih i predviđenih temperatura površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha i dana u godini za period april-jun

Na osnovu ovoga, može se utvrditi da je najbolje obučen model koji predviđa temperature površine kolovoza model pod rednim brojem 4.

Modeli koji predviđaju temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha i dana u godini za period april – jun predstavljeni su u tabeli 9.

Srednja apsolutna greška (MAE), za modele koji predviđaju temperature površine kolovoza za period

Tabela 8.- Prikaz modela koji predviđaju temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini za period januar - mart

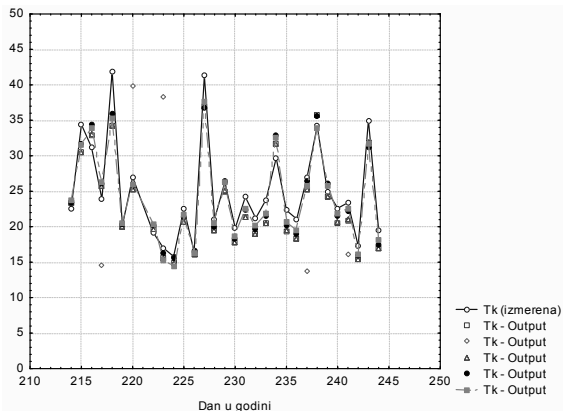
Summary of active networks									
In.	Net. name	Training perf.	Test perf.	Trainin error	Test error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
1	RBF 2-72-1	0,883993	0,807164	0,002	0,0035	RBF1	SOS	Gaussian	Identity
2	RBF 2-58-1	0,086701	0,386117	5,897	0,0339	RBF1	SOS	Gaussian	Identity
3	MLP 2-8-1	0,854894	0,853888	0,002	0,0027	BFGS 12	SOS	Identity	Exponential
4	<b>RBF 2-63-1</b>	<b>0,895316</b>	<b>0,889872</b>	<b>0,002</b>	<b>0,0021</b>	<b>RBFT</b>	<b>SOS</b>	<b>Gaussian</b>	<b>Identity</b>

Tabela 9.- Prikaz modela koji predviđa temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha i dana u godini za period april – jun

Summary of active networks									
In	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algorithm	Error functio	Hidden activation	Output activation
1	MLP 3-6-1	0,946513	0,964050	0,002701	0,003905	BFGS 47	SOS	Logistic	Logistic
2	RBF 3-21-1	0,925902	0,947732	0,003701	0,006582	RBFT	SOS	Gaussian	Identity
3	MLP 3-10-1	0,938689	0,956144	0,003085	0,004797	BFGS 25	SOS	Identity	Logistic
4	MLP 3-4-1	0,944605	0,956925	0,002796	0,004903	BFGS 42	SOS	Exponent	Logistic
5	MLP 3-3-1	0,930817	0,949269	0,004218	0,004439	BFGS 7	SOS	Identity	Identity

Tabela 10.- Prikaz modela koji predviđaju temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha za period jul – septembar

Summary of active networks									
In	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algorithm	Error functio	Hidden activation	Output activation
1	MLP 3-7-1	0,945032	0,929093	0,00	0,002	BFGS 14	SOS	Identity	Logistic
2	RBF 3-56-1	0,074790	0,084322	90554,40	3,54,747	RBFT	SOS	Gaussian	Identity
3	MLP 3-5-1	0,945026	0,929092	0,00	0,002	BFGS 16	SOS	Identity	Logistic
4	MLP 3-4-1	0,960058	0,953552	0,00	0,002	BFGS 61	SOS	Logistic	Exponent
5	MLP 3-3-1	0,961315	0,955025	0,00	0,002	BFGS 50	SOS	Tanh	Identity



Slika 7. Grafički prikaz izmerenih i predviđenih temperatura površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha za period jul-septembar

april-jun, su redom: **2.22643502** °C, 2.61317582 °C, 2.44667325 °C, 2.30741641 °C, 2.9296219°C, slika 6.

Na osnovu ovoga, može se utvrditi da je najbolje obučen model koji predviđa temperature površine kolovoza model pod rednim brojem 1.

Modeli koji predviđaju temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha za period jul – septembar predstavljeni su u tabeli 10.

Tabela 11. Prikaz modela koji predviđaju temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha za period oktobar – decembar

Summary of active networks									
In	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algor.	Error function	Hidden activation	Output activation
1	MLP 3-8-1	0,959229	0,963848	0,001391	0,00118	BFGS 20	SOS	Identity	Exponential
2	MLP 3-6-1	0,959245	0,964051	0,001392	0,00117	BFGS 10	SOS	Identity	Exponential
3	MLP 3-6-1	0,973727	0,969759	0,000880	0,00099	BFGS 40	SOS	Exponential	Logistic
4	MLP 3-4-1	0,959171	0,963816	0,001391	0,00118	BFGS 13	SOS	Identity	Exponential
5	MLP 3-4-1	0,978898	0,972124	0,000711	0,00091	BFGS 70	SOS	Exponenti	Logistic

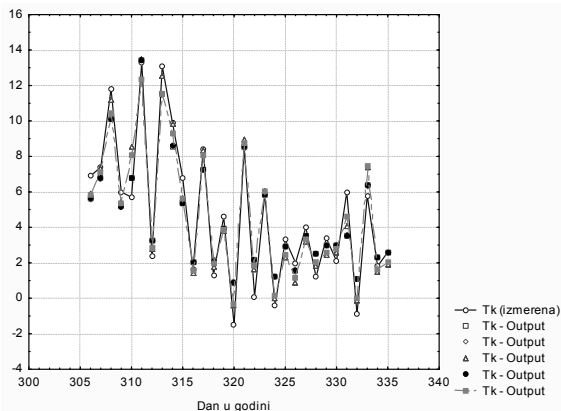
Srednja apsolutna greška (MAE), za modele koji predviđaju temperature površine kolovoza, uključujući u model kao nezavisnu promenljivu i vlažnost vazduha, za period jul-septembar, su redom: 2,03726275 °C, 2535,56364 °C, 2,03581672 °C, 1,76034364 °C, **1,68350149 °C**, slika 7.

Na osnovu ovoga, može se utvrditi da je najbolje obučen model koji predviđa temperature površine kolovoza model pod rednim brojem 5.

Modeli koji predviđaju temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha za period oktobar – decembar predstavljani su u tabeli 11.

Srednja apsolutna greška (MAE) za modele koji predviđaju temperature površine kolovoza, uključujući u model kao nezavisnu promenljivu i vlažnost vazduha, za period oktobar – decembar, su redom: 1.18576012 °C, 1.19042128 °C,





Slika 8.- *Grafički prikaz izmerenih i predviđenih temperatura površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha za period oktobar-december*

0.943116376°C, 1.18617839°C, **0.852366721** °C, slika 8.

Na osnovu ovoga, može se utvrditi da je najbolje obučen model koji predviđa temperature površine kolovoza model pod rednim brojem 5.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu su formulisana dva modela koja predviđaju maksimalnu i minimalnu temperaturu površine kolovoza pomoću neuronskih mreža. Prvi model koji je razvijen

Tabela 12.- Model koji predviđa maksimalne temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža

In	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
1	MLP 1-5-1	0,944463	0,8157	0,004626	0,013968	BFGS 111	SOS	Logistic	Exponential

Tabela 13.- Model koji predviđa minimalne temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža

In	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
1	MLP 1-5-1	0,974493	0,972041	0,001555	0,001618	BFGS 44	SOS	Logistic	Tanh

Tabela 14.- Prikaz srednje apsolutne greške za modele koji predviđaju temperaturu površine kolovoza pomoću neuronskih mreža

(Mean Average Error, MAE), °C	
Srednja apsolutna greška maxTk	3,82937757
minTk	1,40998219

predviđa maksimalne temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu maksimalne temperature vazduha i predstavljen je u tabeli 12. Srednja apsolutna greška za ovaj model je 3,82937757 °C.

Drugi model koji je razvijen predviđa minimalne temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu minimalne temperature vazduha i predstavljen je u tabeli 11. Srednja apsolutna greška za ovaj model je 1,40998219 °C, tabela 13.

Na osnovu srednje apsolutne greške može se utvrditi da modeli razvijeni pomoću neuronskih mreža predviđaju temperature površine kolovozne konstrukcije sa odgovarajućom tačnošću, ali manje precizno u odnosu na modele koji su razvijeni statističkim metodama, *tabela 14*.

Formulisani su i modeli koji predviđaju temperaturu površine kolovoza za različita doba u godini pomoću neuronskih mreža, a na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha, *tabele 8, 9, 10, 11*.

Srednje apsolutne greške za modele koji predviđaju temperaturu površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha za različite periode u toku godine predstavljene su u *tabeli 15*.

Takođe, može se utvrditi da se uključivanjem vlažnosti vazduha kao ulazne promenljive u model za predviđanje temperatura površine kolovoza ne dobijaju kod svih modela manje apsolutne greške, nego se kod pojed-

Tabela 15.- *Prikaz srednje apsolutne greške za modele koji predviđaju temperaturu površine kolovoza sa uključenim dodatnim uticajima – formirani pomoću neuronskih mreža*

Nezavisne promenljive	Srednja apsolutna greška (Mean Average Error, MAE), °C			
	Januar-Mart	April - Jun	Jul - Septembar	Oktobar – Decembar
Temperatura vazduha, dan u godini	<b>0,894487</b>	<b>2,226435</b>	1,690075	0,869849
Temperatura vazduha, dan u godini, vlažnost	1,033865	2,470103	<b>1,683501</b>	<b>0,852367</b>

Tabela 16.- Model koji predviđa temperaturu površine kolovoza za period januar-mart

In	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
1	RBF 2-63-1	0,895316	0,889872	0,002	0,0021	RBFT	SOS	Gaussian	Identity

Tabela 17.- Model koji predviđa temperaturu površine kolovoza za period april – jun

In	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
1	MLP 3-6-1	0,946513	0,964050	0,002701	0,003905	BFGS 47	SOS	Logistic	Logistic

Tabela 18.- Model koji predviđa temperature površine kolovoza za period jul – septembar

In	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
1	MLP 3-3-1	0,961315	0,955025	0,00	0,002	BFGS 50	SOS	Tanh	Identity

Tabela 19.- Model koji predviđa temperature površine kolovoza za period oktobar – decembar

In	Net. name	Training perf.	Test perf.	Training error	Test error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
1	MLP 3-4-1	0,97889	0,972124	0,000711	0,000916	BFGS 70	SOS	Exponent	Logistic

inih modela greška i povećava. Na osnovu toga, može se zaključiti da je za predviđanje temperatura površine kolovoza pomoću neuronskih mreža za prva dva godišnja perioda (od januara do marta i od aprila do juna) bolji model kod koga je izostavljena promenljiva – vlažnost vazduha, odnosno model kod koga su ulazne promenljive temperatura vazduha i dan u godini, a za druga dva perioda (od jula do septembra i od oktobra do decembra) sa uključenom vlažnošću vazduha.

Model koji predviđa temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha i dana u godini za period januar-mart predstavljen je u *tabeli 16*.

Model koji predviđa temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža, na osnovu temperature vazduha i dana u godini, za period april – jun predstavljen je u *tabeli 17*.

Model koji predviđa temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha za period jul – septembar predstavljen je u *tabeli 18*.

Model koji predviđa temperature površine kolovoza pomoću neuronskih mreža na osnovu temperature vazduha, dana u godini i vlažnosti vazduha, za period oktobar – decembar predstavljen je u *tabeli 19*.

Na osnovu izvršenih analiza podataka i formiranja modela može se utvrditi da formulisani modeli pomoću neuronskih mreža bolje predviđaju dnevne temperature

površine kolovoza u odnosu na modele koji su razvijeni pomoću regresionih jednačina i to za period od januara do juna kod koga su ulazne veličine temperatura vazduha i dan u godini, a za druga dva perioda od jula do decembra sa uključenom još jednom promenljivom-vlažnost vazduha.

## ZAHVALNOST

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta TR 36017.

## 5. LITERATURA

- [1] BARBER, E.S.: *Calculation of Maximum Pavement Temperatures from Weather Reports*, Bulletin 168, Highway Research Board, National Research Council, 1-8, (1957).
- [2] BOSSCHER, P. J., BAHIA, H.U., THOMAS, S., RUSSEL, J.S.: *Relationship Between Pavement Temperature and Weather Data: Wisconsin Field Study to Verify SuperPave Algorithm*, Transportation Research Record, 1609, 1-11, (1998).
- [3] GOLIC, K.: *Planiranje resursa u građevinarstvu primenom veštačkih neuronskih mreža i integrisanih fazi neuronskih sistema*, doktorska disertacija, (2007).

- [4] KENNEDY, T., HUBER, G., HARRIGAN, E., COMINSKY, R., HUGHES, C., QUINTUS, H. V., MOULTHROP, J.: *Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The product of the SHRP Asphalt Research Program*, National Research Council, Washington, DC, (1994).
- [5] LUKANEN, E.O., CHUNHUA, H., SKOK, E.L.: *Probabilistic Method of Asphalt Binder Selection Based on Pavement Temperature*, Transportation Research Record, Transportation Research Board, 1609, 12-20, (1998).
- [6] MATIĆ, B., MATIĆ, D., RADOVIĆ, N.: *Model for pavement temperature prediction in Serbia*, Building materials and structures, Society for materials and structures testing of Serbia, No 54, 50-61, (2012).
- [7] MATIĆ, B., TEPIĆ, J., SREMAC, S., RADONJANIN, V., MATIĆ, D., JOVANOVIĆ P.: *Development and evaluation of the model for the surface pavement temperature prediction*, Journal Metalurgija, Croatian Metallurgical Society, Zagreb, Croatia, 51(3), 329-332, (2012).
- [8] MATIĆ, B.: *Seasonal asphalt concrete surface pavement temperature models*, Contemporary Civil Engineering Practice, 243-258, (2013).
- [9] MATIĆ, B., AWADAT, H.S., MATIĆ, D., UZELAC, Đ.: *Development and validation of a model to predict pavement temperature for winter maintenance operations in Serbia*, 8<sup>TH</sup> ASIA Conference, Trans-

- portation and the Environment (8<sup>TH</sup> APTE 2012), 6-8 June, 16 May.
- [10] MOHSENI, A., SYMONS, M.: *Effect of Improved LTPP AC Pavement Temperature Models on SuperPave Performance Grades*, Proceedings of 77th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, DC, (1998b).
- [11] MARSHALL, C., MEIER, R., WELCH, M.: *Seasonal Temperature Effects on Flexible Pavements in Tennessee*, Transportation Research Record, 1764, 89-96, (2001).
- [12] PARK, D., BUCH, N., KARIM, C.: *Effective Layer Temperature Prediction Model and Temperature Correction via FWD Deflections*, Transportation Research Record, 1764, 97-111, (2001).
- [13] UZELAC, Đ.: *Toplotni režim i njegov uticaj na mehanicko ponašanje materijala u kolovoznoj konstrukciji*, Magistarska teza, Beograd, (1986).