

Primljen / Received: 14.1.2014.
 Ispravljen / Corrected: 17.2.2017.
 Prihvaćen / Accepted: 25.4.2017.

Dostupno online / Available online: 10.10.2017.

Procjena investicijske vrijednosti u procesu rekonstrukcije željezničkih pruga

Autori:



Doc.dr.sc. **Ljiljana Milić Marković**, dipl.ing.građ.
 Sveučilište u Banjoj Luci
 Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet
ljmarkovic@open.telekom.rs



Prof.dr.sc. **Ljubo Marković**, dipl.ing.građ.
 Fakultet tehničkih znanosti
 Kosovska Mitrovica
ljubo.markovic@pr.ac.rs



Prof.dr.sc. **Goran Ćirović**, dipl.ing.građ.
 Visoka građevinsko-geodetska škola,
 Beograd
cirovic@sezampro.rs



Prof.dr.sc. **Dragan Mihajlović**, dipl.ing.građ.
 Sveučilište u Banjoj Luci
 Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet
dram200954@gmail.com

Pregledni rad

Ljiljana Milić Marković, Ljubo Marković, Goran Ćirović, Dragan Mihajlović

Procjena investicijske vrijednosti u procesu rekonstrukcije željezničkih pruga

U radu je prikazan prognostički model za procjenu investicijskih vrijednosti rekonstrukcije željezničkih pruga izrađen primjenom umjetnih neuronskih mreža. Cilj izrade modela je poboljšanje efikasnosti i efektivnosti donošenja odluka o ulaganju u projekte željezničke infrastrukture. Prikazan je proces izrade modela i dan je odgovarajući primjer kojim se upućuje na mogućnost primjene modela za eventualne grube i brze procjene investicijskih vrijednosti za rekonstrukciju željezničkih pruga s pouzdanošću od 80 do 85 % kada nisu poznati svi ulazni parametri.

Ključne riječi:

željeznička infrastruktura, investicijska vrijednost, rekonstrukcija, umjetne neuronske mreže

Subject review

Ljiljana Milić Marković, Ljubo Marković, Goran Ćirović, Dragan Mihajlović

Estimating investment value in railway lines reconstruction process

A prognostic model for estimating investment value of reconstruction of railway lines using artificial neural networks is presented in the paper. The aim of the model is to improve the efficiency and effectiveness of decision making as related to investment in rail infrastructure projects. The model development process is presented and illustrated with an appropriate example, which points to the possibility of using the model for making a rough and rapid assessment of the investment value of railway-lines reconstruction, with a reliability of 80-85% when some input parameters are unknown

Key words:

railway infrastructure, investment value, reconstruction, artificial neural networks

Übersichtsarbeit

Ljiljana Milić Marković, Ljubo Marković, Goran Ćirović, Dragan Mihajlović

Einschätzung des Investitionswerts bei der Rekonstruktion von Eisenbahnstrecken

In der Arbeit wird das Prognosemodell für die Bewertung des Investitionswerts der Rekonstruktion von Eisenbahnstrecken dargestellt, entwickelt anhand eines künstlichen neuronalen Netzwerks. Ziel der Modellentwicklung ist die Steigerung der Effizienz und Effektivität der Entscheidungen über Investitionen in Eisenbahninfrastrukturprojekte. Das Verfahren der Modellentwicklung wird näher dargestellt. Anhand eines Beispiels wird auf die Einsatzmöglichkeiten des Modells bei einer groben und schnellen Bewertung des Investitionswerts für die Rekonstruktion von Eisenbahnstrecken hingewiesen, mit einer Zuverlässigkeit von 80 bis 85 % wenn nicht alle Eingangsparameter bekannt sind.

Schlüsselwörter:

Eisenbahninfrastruktur, Investitionswert, Rekonstruktion, künstliche neuronale Netzwerke

1. Uvod

Prateći globalnu strategiju racionalne preraspodjele prometa, a u skladu s planovima susjednih zemalja i Europe kao cjeline, Republika Srbija je potpisala međunarodne sporazume:

- Europski sporazum o najvažnijim međunarodnim magistralnim prugama [1]
- Europski sporazum o prugama za kombinirani prijevoz [2]
- Sporazum o mreži visoke učinkovitosti u jugoistočnoj Europi [3].

Osnovni cilj potpisivanja ovih sporazuma jest taj da se adekvatnim mjerama i u razumnom razdoblju postigne takav nivo stanja infrastrukture koji će uz modernizaciju voznih sredstava omogućiti da mreža pruga ispuní tehničke standarde interoperabilnosti [4], kako bi bila u stanju primiti druge operatore i omogućí konkurenciju, a s većim nivoom usluge povećao bi se putnički i teretni promet.

Postojeća mreža pruga u Srbiji većinom je izgrađena u drugoj polovini XIX. i tijekom XX. stoljeća, s elementima trase koji su odgovarali zahtjevima tog vremena. U proteklih trideset godina, zbog općeg ekonomskog zaostajanja, loše organizacije i nedostatka novčanih sredstava za osnovno održavanje i remont željezničkih pruga, nije se dovoljno ulagalo u infrastrukturu. Godišnje je obnovljeno oko 36 km pruga (umjesto potrebnih 190 km). U posljednjem desetljeću, od 2002. godine, u željezničku infrastrukturu prosječno je godišnje ulagano 16,5 milijuna eura i to uglavnom iz kredita (npr. u Republici Hrvatskoj u istom periodu godišnje je ulagano 113 milijuna eura) [5]. Kao rezultat, imamo situaciju da na samo 3,2 % pruga dopuštena brzina prelazi 100 km/h, dok najveći dio (oko 50 %) mreže dozvoljava maksimalnu brzinu do 60 km/h. Na nekim prugama ima dijelova gdje se brzina ograničava na 20 km/h ili niže. Europske standarde u pogledu najveće dopuštene nosivosti od 225 kN/osovini zadovoljava 44 % pruga. Od ukupne dužine mreže pruga (3.809 km) elektrificirano je 1.247 km (32,7 %), a na 276 km pruga (7 %) izgrađena su dva kolosijeka [6]. Danas Srbija po kvaliteti željezničke infrastrukture zauzima 110. mjesto na listi od 132 zemlje [5].

"Strategija razvoja željezničkog, cestovnog, vodnog, zračnog i intermodalnog prijevoza u Republici Srbiji od 2008. do 2015. godine" donesena je 2008. godine, [6]. Strategijom je utvrđeno stanje u tim vrstama prometa, uspostavljen je koncept razvoja infrastrukture i prometa, definirani su dugoročni ciljevi razvoja prometnog sustava i usvojen akcijski plan za njihovu realizaciju donešena je 2008. godine, [6]. Prema Strategiji, faze razvoja željezničkog prometa su: obnova, rekonstrukcija i modernizacija te izgradnja. U fazi rekonstrukcije cilj je ujednačavanje karakteristika željezničke transportne infrastrukture Republike Srbije s državama članicama Europske unije. Financiranje ove faze obavlja se iz kredita međunarodnih financijskih institucija, fondova Europske unije i domaćih izvora. Prema procjenama iz Strategije, za tu je fazu u sljedećih deset godina potrebno

izdvojiti oko 3,9 milijardi eura [6]. Zbog toga, na današnjoj razini razvoja željezničke mreže u Srbiji, vrlo je aktualan problem rekonstrukcije željezničkih pruga. U uvjetima ekonomske krize, rekonstrukcija mreže željezničkih pruga i njeno dovođenje na višu funkcionalnu i kvalitetnu razinu, predstavlja prioritet u odnosu na novogradnju.

Realizacija projekta rekonstrukcije željezničkih pruga uvelike ovisi o investicijskoj politici. Osnovni problemi koji se javljaju kod investiranja u željezničku infrastrukturu vezani su za donošenje investicijskih odluka. Da bi se rekonstrukcija pruge uspješno realizirala u skladu s potrebama i financijskim mogućnostima, a s ciljem da se svakim investicijskim zahvatom postignu maksimalni učinci, potreban je sustavni pristup donošenju investicijskih odluka uzimajući u obzir činjenicu da je "najveća cijena pogrešno donesena odluka".

2. Procjena investicijskih vrijednosti za rekonstrukciju željezničkih pruga primjenom neuronskih mreža

Donošenje odluke o izvođenju radova na rekonstrukciji željezničke pruge vrlo je složen proces. Odluke o potrebnim radovima temelje se na pojedinačnim i skupnim informacijama koje objektivno definiraju stanje pruge u skladu sa zahtjevima širega i užega gravitacijskog područja. Na osnovi raspoloživih ili prikupljenih informacija o postojećem stanju moguće je provesti potrebne analize radi:

- identifikacije i ocjene postojećeg stanja željezničke mreže,
- ocjene budućih promjena tog stanja
- utvrđivanja trenutačnih i budućih zahtjeva na željezničkoj mreži
- predviđanja utjecaja planiranih radova na trenutačno i/ili buduće stanje
- utvrđivanja potreba za financiranjem radova s ciljem ispunjenja postojećih zahtjeva
- utvrđivanja potrebnih financijskih sredstava za realizaciju predviđenog programa rekonstrukcije.

Kvaliteta navedenih analiza u direktnoj je zavisnosti od raspoloživih informacija o prugama skladištenih u bazi podataka željezničke mreže koje predstavljaju osnovnu i nezaobilaznu kariku za uspješno rješavanje problema.

S razvojem umjetne inteligencije, kao podrška u procesu donošenja odluka, o radovima na rekonstrukciji željezničkih pruga razvijene su metode zasnovane na tehnikama ekspertnih sustava. Ekspertni sustav predstavlja inteligentan računalni program koji koristi znanje i procedure zaključivanja za rješavanje problema. Ekspertni sustavi simuliraju ljudsku ekspertizu i mogu rješavati probleme koji nemaju algoritamska rješenja [7].

Jedan od takvih sustava koji se koristi je i ECOTRACK. On predstavlja kompilaciju većine poznatih sustava (u njega su inkorporirana najkvalitetnija rješenja iz ovih sustava). Posebnost ECOTRACK-a je veoma detaljan skup pravila

za donošenje odluka u vezi s potrebama održavanja i rekonstrukcije, a koja su bazirana na modelima propadanja parametara stanja. Na definiranju pravila radili su najistaknutiji stručnjaci iz većine europskih željezničkih uprava. Sustav ECOTRACK je fleksibilan i otvoren za sva nova iskustva, tj. omogućava dodavanje, izmjene i eliminiranje pravila, prema uputama različitih željezničkih uprava [7]. Funkcionalna arhitektura ECOTRACK-a strukturirana je u pet razina. Svaka razina predstavlja planiranu aktivnost koja uključuje više detaljnih funkcija, prema [7]:

- Razina 1: Početna dijagnostika - sustav koristi bazu činjenica i bazu znanja radi provođenja preliminarnih dijagnoza za svaku dionicu gornjeg ustroja (stanje geometrije, konstrukcija gornjeg ustroja, zastor i infrastruktura). Za svaku dionicu definiraju se potrebni elementarni radovi za svaku komponentu (geometrija, tračnice, pragovi) i prikupljaju dodatne informacije u vezi sa stanjem kolosijeka kako bi se popunila baza činjenica.
- Razina 2: Detaljna dijagnostika - koriste se prikupljeni dodatni podaci i primjenjuju pravila odlučivanja za razinu 2 radi definiranja nužnih elementarnih radova. Korisnik može provjeriti odluke koje je sustav predložio te ih može modificirati.
- Razina 3: Usklađenost - primjenjuje se grupa pravila usmjerenih za automatsku sigurnost usklađenosti radova, zasnovanu na listi nužnih elementarnih radova. Usklađenost može biti: prostorna (između dvije dionice na pruzi) i vremenska (omogućava kombiniranje pojedinih elementarnih radova u vremenu).
- Razina 4: Optimizacija raspodjele sredstava - unose se pojedinačne cijene različitih radova u plan i razmatraju ukupni troškovi. Može se obavljati izmjena planova održavanja i remonta radi njihove optimizacije na ekonomskoj osnovi (snižavanje troškova).
- Razina 5: Sveukupno upravljanje mrežom - podrška upravljanju održavanja čitave mreže primjenom: statističke analize, ocjene utjecaja pojedinih komponenata gornjeg ustroja i metoda rada, simulacije različitih politika održavanja ("Što - ako"), simulacije ograničene raspoloživosti resursa.

Za potrebe procjene utvrđivanja potrebnih financijskih sredstava za realizaciju predviđenog programa rekonstrukcije, osim tradicionalnih metoda [8], s razvojem koncepta programiranja nazvanog "meko računanje" (eng. *soft computing*) stvorena je mogućnost primjene umjetne inteligencije koja simulira prirodne procese - umjetne neuronske mreže [9].

2.1. Umjetne neuronske mreže

Umjetne neuronske mreže definiraju se kao fizički ćelijski sustavi koji mogu učiti, memorirati i koristiti eksperimentalno znanje [10]. Zasnovane su na analogiji sa živčanim sustavom živih bića. Analogija se zasniva na dva aspekta [11]:

- znanje koje dolazi u neuronsku mrežu iz okoline koristi se za obuku neuronske mreže

- za akumulaciju znanja primjenjuju se veze između neurona koje se nazivaju sinapsama.

H. Adeli [12] je u svom radu uputio na mogućnost primjene umjetne neuronske mreže za procjenu investicijske vrijednosti radova u građevinarstvu. Radi poboljšanja efikasnosti i efektivnosti donošenja odluka o ulaganju u projekte željezničke infrastrukture, prikazat će se prognostički model za procjenu investicijskih vrijednosti za rekonstrukciju željezničkih pruga izrađen primjenom umjetnih neuronskih mreža.

2.1.1. Prognostički model

Za stvaranje prognostičkih modela procjene investicijskih vrijednosti za rekonstrukciju željezničkih pruga pomoću neuronskih mreža korišteno je 19 već napravljenih projekata rekonstrukcije željezničkih pruga [13]. Zbog povjerljivosti podataka, nazivi pruga (dionica pruge) označeni su numerički.

Osnovne informacije o prugama na kojima je provedena rekonstrukcija prikupljene su iz starih projekata (dužina pruge, objekti na pruzi, itd.) i baza podataka o stanju infrastrukture formiranih na nivou tvrtke koja upravlja željezničkom infrastrukturom. Baze podataka formirane su na osnovi monitoringa i mjerenja (mjerna kola EM-80 L tvrtke *Plasser & Theurer* [14]). Na osnovi tih podataka, koji su pretvoreni u parametre stanja i grupirani u indekse kvalitete, provedena je tehnička analiza postojećih karakteristika pruga (stanje geometrije, stanje konstrukcije gornjeg ustroja - tračnice, pragovi, zastor) i određene su pruge i/ili dionice pruge na kojima treba provesti rekonstrukciju. Prema [15], stanje elemenata željezničke infrastrukture ključni je faktor koji utječe na sigurnost prometa, raspoloživost infrastrukture, ukupne troškove radova na održavanju i remontu, kao i prihode. Također, utvrđena je lista elementarnih radova koje treba obaviti. Ukupni troškovi radova za svaku dionicu pruge koja se rekonstruira izračunani su na osnovi količine radova predviđenih projektom rekonstrukcije, a cijene su određivali korisnici. Procjena stanja kolodvorskih objekata i obujma radova koje je potrebno izvesti provedena je na osnovi modela za ocjenu postojećeg stanja (boniteta) kojim je, radi preglednije sustavnosti, predviđena podjela na pet kategorija:

- 4*: odlično stanje (nisu potrebne intervencije)
- 3*: intervencije manjeg obujma (zamjena krovnog pokrivača, bojenje fasade, unutrašnjih zidova, popravak sanitarija)
- 2*: intervencije srednjeg obujma (popravak i zamjena hidroizolacije, krovnog pokrivača, zamjena vanjske i unutrašnje stolarije, djelomična zamjena unutrašnjih instalacija, radovi na interijerskom uređenju)
- 1*: sveobuhvatne intervencije (intervencije na konstrukcijskim elementima građevine, saniranje vlage, cjelokupna zamjena unutrašnjih instalacija, uređenje javnih i sanitarnih prostorija, zamjena krovnog pokrivača, zamjena vanjske i unutrašnje stolarije)
- R: rušenje (vrijednost intervencija potrebnih za vraćanje postojeće građevine u funkciju je slična, izjednačena ili prelazi vrijednost izgradnje nove građevine).

Ukupni troškovi radova potrebnih za rekonstrukciju kolodvorskih objekata izračunani su na osnovi količine radova predviđenih projektom rekonstrukcije, a cijene su određivali korisnici.

Kontrola parametara stanja pruge, nakon izvedenih radova na rekonstrukciji, izvedena je mjernim kolima. Dobiveni podaci su analizirani i uspoređeni s odgovarajućim kriterijima i dopuštenim vrijednostima zadanim u projektu rekonstrukcije. Na osnovi rezultata tih mjerenja i njihove analize prema modelima ponašanja i propadanja donesene su odluke o potrebnim mjerama održavanja i vremenu njihovog izvođenja. Iz ugovora i aneksa ugovora dobiveni su financijski pokazatelji koji se odnose na ugovorene vrijednosti, a iz obračunskih situacija i konačnog obračuna dobivene su konačne sume izvedenih radova na rekonstrukciji. Na primjeru jedne od pruga koje su predviđene za rekonstrukciju (pruga br. 7) u tablicama 1., 2., 3. i 4. prikazana je struktura prikupljenih i analiziranih podataka.

Tablica 1. Podaci koji se odnose na osnovne elemente pruge - dionice pruge

Pruga br. 7	
Dužina pružne dionice	220,49 km
Dužina pružne dionice koja prolazi kroz stanice	26,90 km
Dužina pružnih dionica koja se rekonstruira	110,10 km
Dužina novoizgrađenih pružnih dionica	110,09 km
Stanje elektroenergetske infrastrukture na koridoru	NE ZADOVOLJAVA u pogledu pouzdanosti, raspoloživosti, mogućnosti održavanja i sigurnosti

Tablica 2. Podaci koji se odnose na vrstu i dužinu građevina na pruži – dionici pruge

Građevine na pruži br. 7	Cijena izgradnje objekata (EUR)
Betonski mostovi, L = 1704 m	15.050.900
Čelični mostovi, L = 2136 m	61.147.000
Vijadukti, L = 970 m	22.657.520
Galerije, L = 120 m	1.544.000
Podvožnjaci, L = 157 m	3.274.400
Nadvožnjaci, L = 5385 m	69.388.800
Dvokolosiječni tuneli, L = 10230 m	127.147.350
UKUPNO:	300.209.970

Tablica 4. Podaci o inženjersko-geološkim i geotehničkim uvjetima terena

Inženjersko-geološki i geotehnički uvjeti za rekonstrukciju pruge br. 7	
Povoljni tereni	141,76 km
Uvjetno povoljni tereni	77,55 km
Nepovoljni tereni	1,18 km

Zbog velikog broja ulaznih parametara, postupak izrade prognostičkog modela podijeljen je u dva dijela. U prvom dijelu postupka kao ulazni parametri koriste se podaci koji se odnose na broj kolosijeka na pruži, duljinu pruge – dionicu pruge koja prolazi kroz kolodvore, duljinu novoizgrađene dionice pruge

Tablica 3. Ocjena stanja postojećih arhitektonskih objekata u kolodvorima

Građevine visokogradnje u kolodvorima na pruži br. 7.	Bonitet	Cijena za intervencije na danim građevinama (EUR)	UKUPNO (EUR)
Željeznički kolodvor br. 1	2*	961.900	19.784.500
Željeznički kolodvor br. 2	2*	875.040	
Željeznički kolodvor br. 3	2*	759.970	
Željeznički kolodvor br. 4	1*	1.726.200	
Željeznički kolodvor br. 5	1*	2.936.720	
Željeznički kolodvor br. 6	2*	449.490	
Željeznički kolodvor br. 7	2*	564.550	
Željeznički kolodvor br. 8	2*	470.090	
Željeznički kolodvor br. 9	1*	6.097.530	
Željeznički kolodvor br. 10	2*	445.120	
Željeznički kolodvor br. 11	2*	391.920	
Željeznički kolodvor br. 12	3*	179.560	
Željeznički kolodvor br. 13	2*	1.411.360	
Željeznički kolodvor br. 14	3*	189.560	
Željeznički kolodvor br. 15	2*	360.440	
Željeznički kolodvor br. 16	3*	184.560	
Željeznički kolodvor br. 17	2*	358.270	
Željeznički kolodvor br. 18	2*	1.422.220	

Tablica 5. Ulazni podaci za prvi dio postupka

Broj pruge - dionice pruge	Dužina pruge - dionice pruge [km]	Jednokolosiječna/ Dvokolosiječna pruga - dionica pruge	Dužina pruge - dionice pruge [%]			Dužina pruge - dionice pruge [%] s obzirom na geološke uvjete			Stanje elektroenergetskih postrojenja (ocjena*)
			koja prolazi kroz kolodvore	novooizgrađena	koja se rekonstruira	povoljni	uvjetno povoljni	uvjetno nepovoljni	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4,6	1	6,30	0	100	78,26	21,74	0	0
2	20,75	1	0,0	100	0	49,88	50,12	0	0
3	21,97	1	0,0	100	0	47,11	52,89	0	0
4	10,22	2	0,0	100	0	8,90	88,45	3,62	3
5	6,8	2	14,27	33,24	65,44	13,24	86,77	0	3
6	94	2	14,23	76,17	23,83	69,15	24,47	6,38	0
7	220,49	2	12,20	49,93	49,93	64,29	35,17	0,54	3
8	155,56	1	12,75	0	100	71,33	27,39	1,31	3
9	12	2	0,0	100	0	13,67	86,33	0	1
10	41,55	2	10,76	38,63	61,37	66,55	0	33,45	3
11	149,16	2	16,51	71,27	28,73	55,82	41,43	2,75	3
12	32,55	1	5,6	0	100	61,91	38,10	0	3
13	148,47	2	17,0	20,0	100	20,0	70,0	6,0	2
14	100,92	2	16,0	0	100	40,0	50,0	14,75	2
15	17,38	1	7,54	0	100	31,0	70,0	0	0
16	76,07	2	12,0	50,0	50,0	100	0	0	3

* (0 - neelektrificirana pruga, 1 - zadovoljava, 2 - djelomično zadovoljava, 3 - nezadovoljava u pogledu pouzdanosti, raspoloživosti i mogućnosti održavanja i sigurnosti)

Tablica 6. Ulazni podaci za drugi dio postupka

Broj pruge (dionice pruge)	Duljina betonskih mostova [%]	Duljina čeličnih mostova [%]	Duljina podvožnjaka [%]	Duljina nadvožnjaka [%]	Duljina galerija/ potpornih zidova [%]	Duljina vijadukata [%]	Duljina jednokolosiječnih tunela [%]	Duljina dvokolosiječnih tunela [%]	Broj objekata boniteta *	Broj objekata boniteta **	Broj objekata boniteta ***	Broj objekata boniteta ****
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	3,16	0,41	0,70	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1,70	0	0,14	1,72	0	0	2,47	0	5	2	3	1
7	0,77	0,97	0,07	2,44	5,40	0,44	0	4,64	3	12	3	0
8	0,26	0,80	0,11	3,18	2,25	0	0,68	0	2	12	3	2
9	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,093	0	0,25	0,20	52,0	12,86	5,39	0	0	4	0	0
11	4,51	0	0,03	1,35	7,0	0	1,67	0	0	5	2	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0,21	0,50	0,06	0,06	0	1,70	0	1,20	0	16	0	2
14	0,04	0	0,07	4,00	0	0	0	0	1	4	1	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
16	0,90	0,70	0,10	3,00	0	1,00	5,00	5,00	1	4	1	1

i duljinu dionice pruge koja se rekonstruira, inženjersko-geološka svojstva terena kroz koji pruga prolazi, kao i stanje elektroenergetske infrastrukture u koridoru pruge (tablica 5). U drugom dijelu kao ulazni parametri koriste se podaci koji se odnose na duljinu građevina duž trase pruge – dionice pruge i broj arhitektonskih građevina u kolodvorima s određenim bonitetom (tablica 6).

Izlazni parametri su investicijske vrijednosti po grupama radova te ukupna investicijska vrijednost za rekonstrukciju pruge – dionicu pruge.

2.1.2. Formiranje arhitekture mreže

U postupku formiranja arhitekture neuronske mreže, na osnovi iskustva i dostupne literature, zaključeno je da najbolje rezultate daje mreža s propagiranjem pogreške unatrag (backpropagation algoritam) [16, 17]. Variranje tipa mreže nije provedeno jer se pokazalo da su te mreže optimalne za probleme predviđanja [18-20].

Proces pronalaska optimalne strukture neuronske mreže zasniva se na ispitivanju različitih struktura na osnovi istog skupa podataka. Ispitivanje podrazumijeva variranje broja slojeva i broja neurona u okviru mreže. Proces utvrđivanja kvalitete strukture mreže, nakon procesa obučavanja mreže, zasniva se na utvrđivanju veličine pogreške izlaznog rezultata. U fazi pronalaska optimalne strukture neuronske mreže primijenjen je Levenberg-Marquardtov algoritam [21] pri čemu je zaključeno da, zbog malog broja uzorka, mreža od 3 sloja (1 skriveni) pruža najbolje rezultate za danu kombinaciju ulaznih podataka. Izborom mreže s jednim skrivenim slojem smanjuje se mogućnost *overfittinga*. Varijacijom broja neurona, na osnovi najmanje pogreške na izlazu, određen je optimalan broj od

15 neurona u srednjem sloju. Za proučavanje mrežu u okviru skrivenih slojeva primijenjena je *hyperbolic tangent sigmoid transfer* funkcija, osim kod neurona u izlaznim slojevima gdje je primijenjena *linear transfer* funkcija. Prilikom rješavanja problema predviđanja, na osnovi iskustva, izvedeno je grupiranje ulaznih promjenjivih informacija bez gubitka kvalitete. Zbog malog broja uzoraka, nije obavljena analiza ključnih komponenti (PCA) kako bi se utvrdila linearna zavisnost među ulaznim parametrima. Arhitektura prognostičkog modela prikazana je na slici 1.

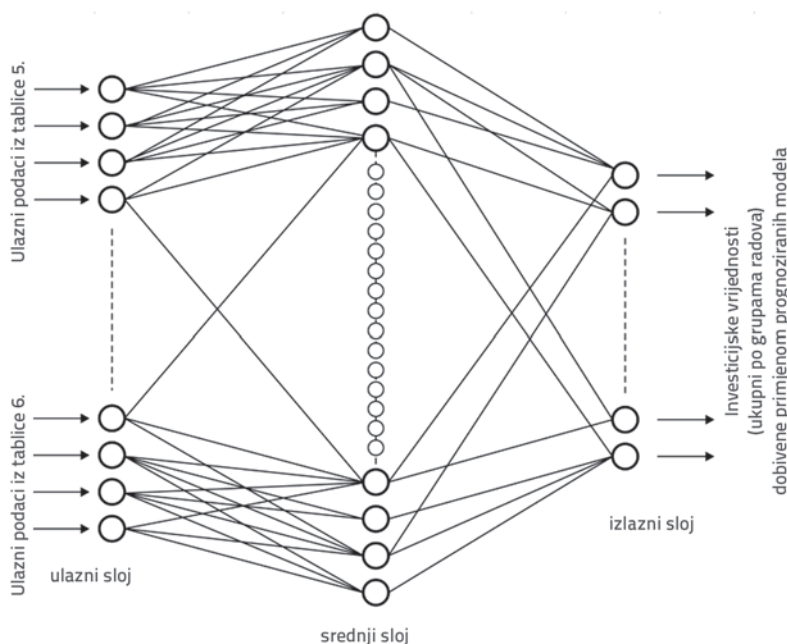
2.1.3. Analiza rezultata

Prilikom istraživanja primjenljivosti umjetnih neuronskih mreža za predviđanje investicijskih vrijednosti rekonstrukcije željezničkih pruga formirana je baza podataka o 19 realiziranih projekata. Baza podataka sadrži podatke o radovima koji su planirani projektom rekonstrukcije: tehničke (dobivene iz arhivskih projekata i analize postojećih karakteristika pruga – na osnovi rezultata mjerenja i monitoringa) te podatke o planiranim investicijskim vrijednostima radova za svaku dionicu pruge koja se rekonstruira.

Primjena neuronske mreže na promatrani problem realizirana je uz upotrebu računalnog programa Matlab R2007b. Kao uzorak za obuku mreže poslužilo je 16 projekata, a preostala tri projekta korištena su za kontrolu prognostičkih modela. Kao ulazni podaci korišteni su parametri stanja dobiveni iz analize postojećih karakteristika pruga, dok su kao izlazni parametri korištene investicijske vrijednosti (ukupni i po grupama radova). Za obuku je izabrana troslojna neuronska mreža s propagiranjem pogreške unatrag. Na početku procesa obuke javila se velika razlika između prognoziranih vrijednosti i vrijednosti planiranih u projektu. U slučajevima gdje se javila velika razlika, izvedeno je prilagođavanje težinskih koeficijenata na osnovi preporuka iz

literature [22]. Nakon završene obuke, mreža je generirala točnije rezultate. Na kraju, da bi se provjerila kvaliteta i točnost mreže, obavljena je kontrola prognostičkog modela.

Kontrola prognostičkoga modela provedena je na skupu koji nije korišten za obuku (pruge - dionice pruge A, B i C). Za analizu rezultata korišteno je odstupanje (pogreška) između planirane i prognozirane vrijednosti. Odstupanja predviđenih investicijskih vrijednosti dobivenih primjenom prognostičkog modela od investicijske vrijednosti prema projektu rekonstrukcije prikazana su u tablici 7. U redovima od 1 do 12 (tablica 7.) prikazani su rezultati odstupanja investicijske vrijednosti po grupama radova prema prognostičkom modelu u odnosu na investicijske vrijednosti po grupama radova prema projektu u postocima. U redu 13 prikazana su



Slika 1. Arhitektura mreže prognostičkih modela

Tablica 7. Odstupanja (greške) prognostičkog modela investicijske vrijednosti izražene u postocima

Br. reda	Grupa radova	Odstupanja (greške) prognostičkog modela investicijskih vrijednosti [%]			Prosječno odstupanje
		Pruga A	Pruga B	Pruga C	
1	Pripremni radovi	54,21	-6,60	-3,13	14,83
2	Zemljani radovi	-3,18	5,32	3,44	1,86
3	Gornji ustroj	1,67	-3,72	-0,20	-0,75
4	Hidrotehnički radovi	5,91	-4,62	15,56	5,62
5	Objekti duž trase pruge	0,12	-0,30	-10,94	-3,71
6	Oprema pruge	0,29	1,76	13,65	5,23
7	Elektroenergetska postrojenja	8,15	1,09	8,67	5,97
8	SS postrojenja i uređaji	4,64	1,04	4,72	3,47
9	TT postrojenja i uređaji	5,33	-0,70	11,98	5,54
10	Cestovne prometnice duž trase pruge, cestovni prijelazi i kolodvorski trgovi	0,07	0,78	14,33	5,06
11	Arhitektonski objekti	0,00	-0,05	4,07	1,34
12	Ostali radovi	7,42	0,09	17,87	8,46
13	Ukupno	1,38	-0,46	-2,20	-0,43

odstupanja ukupne investicijske vrijednosti za rekonstrukciju i modernizaciju pruge – dionice pruge prema prognostičkom modelu u odnosu na ukupnu investicijsku vrijednost prema projektu u postocima.

Negativne vrijednosti u tablici označavaju da je prognozirana investicijska vrijednost radova manja od investicijske vrijednosti prema projektu.

Analizirajući dobivene podatke prikazane u tablici 7 zaključeno je da se odstupanja prognostičkog modela od vrijednosti dobivenih u projektu za ukupnu investicijsku vrijednost na rekonstrukciji pruga nalaze u rasponu od -2,20 % (projekat C) do 1,38 % (projekat A). Prosječna vrijednost odstupanja prognoziranog modela od investicijske vrijednosti dane u projektu jest -0,43 %. Veliko odstupanje prognostičkog modela od vrijednosti dobivenih u projektu javilo se kod pripremni radova (54,21 %) za projekt A. Razlog tome je što su podaci korišteni za obuku predviđali značajnije troškove za pripremne radove (raščišćavanje terena), dok se radovi na rekonstrukciji u projektu A odvijaju na već uređenom željezničkom zemljištu.

Veća odstupanja prognostičkog modela (15,56 %) od vrijednosti dobivenih u projektu pojavila su se i za hidrotehničke radove kod projekata C. Značajnije odstupanje u ovom slučaju javilo se zato što na području koridora pruge C ne postoje složeni klimatski, hidrološki i hidrografski uvjeti.

Kod projekta C značajnija odstupanja prognostičkog modela od investicijskih vrijednosti dobivenih u projektu javila su se i za grupu radova koja se odnosi na cestovne prometnice duž trase pruge, cestovne prijelaze i kolodvorske trgove (14,33 %) te ostale radove (17,87 %).

Razlog odstupanja prognostičkog modela za 14,33 % u odnosu na vrijednosti iz projekta za prugu C za radove koji se odnose na cestovne prometnice duž trase pruge, cestovne prijelaze i

kolodvorske trgove jest taj što je projektom predviđeno da svi željezničko-cestovni prijelazi budu denivelirani, dok je većina kolodvora zadržala postojeće lokacije s izgrađenim kolodvorskim trgovima do kojih već postoje pristupne ceste.

Do odstupanja od 17,87 % za ostale radove (radovi vezani za zaštitu životne sredine) kod pruge C došlo je zato što na toj pruzi projektom nisu predviđene tehničke mjere zaštite okoliša.

3. Zaključak

Postojeća mreža pruga u Srbiji izgrađena je u drugoj polovini XIX. i tijekom XX. stoljeća, s tehnološki zastarjelom opremom i nekvalitetno je održavana. Posljedice ovakvog stanja željezničke pruge su male brzine, neredovitost prometa na mreži, niska razina usluge i sigurnosti. Nedostatak financijskih sredstava i ekonomska kriza stvorile su potrebu za rekonstrukcijom mreže željezničke pruge Srbije i njeno dovođenje na viši funkcionalni i kvalitativni nivo, što predstavlja prioritet u odnosu na novogradnju. U procesu projektiranja rekonstrukcije željezničkih pruga procjena investicijske vrijednosti jest važan dio koji čini osnovu za donošenje odluka o daljnjim ulaganjima u željezničku infrastrukturu. Donosiocu odluka na raspolaganju su sustavi koji mu olakšavaju proces odlučivanja i omogućavaju ocjenu tehničkih i ekonomskih posljedica rekonstrukcije. Jedan od takvih sustava je ECOTRACK, koji predstavlja veoma detaljan skup pravila za donošenje odluka u vezi s potrebama održavanja i rekonstrukcije. Pravila su zasnovana na modelima propadanja parametara stanja i predstavljaju kompilaciju pravila koja se primjenjuju na različitim željeznicama u Europi.

Za procjenu investicijske vrijednosti, osim spomenutih sustava, mogu se primjenjivati i suvremene metode operativnih istraživanja. Razvojem koncepta programiranja i proračuna

nazvanog "meko računanje" (soft computing) pružena je mogućnost primjene umjetnih neuronskih mreža. Iz tog razloga, u radu je provedeno istraživanje primjene umjetnih neuronskih mreža na problem predviđanja investicijskih vrijednosti prilikom rekonstrukcije željezničkih pruga.

U okviru rada dan je prikaz analize i formiranja optimalne mreže za potrebe predviđanja na osnovi baze podataka koja sadrži podatke iz 19 realiziranih projekata rekonstrukcije. Zaključeno je da za promatranu bazu podataka najbolje rezultate u slučaju predviđanja investicijske vrijednosti pruža mreža s propagiranjem pogreške unatrag, s tri sloja u kombinaciji s Levenberg – Marquardtovim algoritmom obuke.

Prikazani prognostički model ukazuje na mogućnost korištenja neuronskih mreža za procjenu investicijskih vrijednosti za rekonstrukciju željezničkih pruga. Model se može koristiti za eventualne grube i brze procjene investicijskih vrijednosti s

pouzdanosti od 80 do 85 % u slučajevima kada nisu poznati svi ulazni parametri. Preciznije podatke o investicijskim vrijednostima moguće je dobiti kada se uključi veći broj ulaznih parametara na osnovu kojih bi se opisali zahtjevi te proširila baza podataka napravljenih projekata i izvedenih objekata koji pripadaju željezničkoj infrastrukturi.

Primjena navedenog modela u velikoj mjeri pridonosi formiranju novog pristupa rješavanja problematike procjene investicijskih vrijednosti za rekonstrukciju željezničkih pruga, a s ciljem efikasnog donošenja odluka o ulaganju u projekte željezničke infrastrukture.

Zahvala

Rad je dio projekta TR 36017 kojeg je pomoglo Ministarstvo za znanost i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Europski sporazum o najvažnijim međunarodnim željezničkim prugama (AGC), Ženeva, 1985.
- [2] AGTC-European Agreement on Important International Combined Transport Lines and Related Installations, Geneva, 1 February 1991.
- [3] SEECP (South East European Cooperation Process), Agreement on the establishment of a high performance railway network in South East Europe, Thessaloniki, 2006.
- [4] Directive 96/48/EC on the interoperability of the trans-European high – speed rail system, United Nations, 1996.
- [5] Privredno stručni skup "Željeznička infrastruktura – aktuelno stanje i planirane aktivnosti", Udruženje saobraćaja i telekomunikacija Privredne komore Beograda, Beograd, 2010.
- [6] Strategija razvoja željezničkog, drumskog, vodnog, vazdušnog i intermodalnog transporta u Republici Srbiji 2008 - 2015, Službeni glasnik RS, 4/2008.
- [7] Jovanović, S.: Condition – based decision – making track costs, Railway Gazette International, 2003, pp. 277-282.
- [8] Ćirović, G.: Upravljanje investicijama, Visoka građevinsko – geodetska škola, Beograd, 2009.
- [9] Vouk, D., Malus, D., Carević, D.: Neuralne mreže i njihova primena u vodnom gospodarstvu, Građevinar, 63 (2011) 6, pp. 547-554
- [10] Zurada, J.M.: Introduction to Neural System, West Publishing Company, St. Paul, 1992.
- [11] Haykin, S.: Neural Networks, Prentice Hall, New Jersey, 2005.
- [12] Adeli, H.: Neural Networks in Civil Engineering: 1989-2000, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 16 (2001), pp.126-142, <https://doi.org/10.1111/0885-9507.00219>
- [13] Studije opravdanosti projekata revitalizacije i modernizacije, Saobraćajni institut CIP i Institut Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2001.
- [14] www.zeleznicrsrbije.com
- [15] Jovanović, S., Guler, H., Čoko, B.: Track degradation analysis in the scope of railway infrastructure maintenance management systems, GRAĐEVINAR, 67 (2015) 3, pp. 247-258, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.1194.2014>
- [16] Rebano-Edwards, S.: Modelling perceptions of building quality - A neural network approach, Building and Environment, 42 (2007), pp. 2762-2777, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.018>
- [17] Rumelhart, D.E., Hinton G.E., Williams R. J.: Learning internal representations by error propagation, Parallel distributed processing, Cambridge, MA: MIT Press, 1 (1986), pp. 318-62.
- [18] Gunaydin, H.M., Dogan, S.Z.: A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings, International Journal of Project Management, 22 (2004), pp. 595-602, <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.04.002>
- [19] Kim, G.H., An, S.H., Kang, K.I.: Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning, Building and Environment, 39 (2004), pp.1235-1242, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.02.013>
- [20] Yu, W., Skibniewski, M.J.: A neuro-fuzzy computational approach to constructability knowledge acquisition for construction technology evaluation, Automation in Construction, 8 (1999), pp. 539-552, [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(98\)00104-6](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(98)00104-6)
- [21] Dreyfus, G.: Neural Networks: Methodology and Application, Springer-Verlag, Berlin, pp.193-194, 2005.
- [22] Knežević, M., Zejak R.: Neuronske mreže - primjena za izradu prognoznog modela eksperimentalnog istraživanja za vitke armirano-betonske stubove, Građevinski materijali i konstrukcije, 51 (2008) 1, pp. 41-56