

NEURONSKE MREŽE U GRAĐEVINARSTVU: STUDIJA SLUČAJA MARINA APARTMENTS, PORTONOVİ (DIO DRUGI)

Mihailo Ostojić¹ Miloš Knežević²

Rezime: Ovo je nastavak rada koji istražuje primjenu neuronskih mreža u analizi rizika na realnom gradilištu. Za studiju slučaja uzet je objekat Marina Apartments u Portonovom – Kumbor, Herceg Novi. Kroz sintetičke simulacije i podatke prikupljene tokom šestogodišnje izgradnje objekta, razvijen je model zasnovan na neuronskim mrežama koji predviđa nivo rizika u različitim fazama. Vremenski uslovi, iskustvo radnika, kvalitet materijala i bezbjednosne mjere analizirani su kako bi se identifikovali ključni uzroci visokog rizika. Model je testiran i validiran, pri čemu je postignuta visoka testna tačnost predikcije. Rezultati istraživanja treba da budu u službi osnove za unapređenje modernih sistema upravljanja rizicima na gradilištima kroz upotrebu savremenih tehnologija, kao što su bežične tehnologije, BIM i sajber-fizički sistemi.

Ključne reči: neuronske mreže, gradilište, Marina Apartments, bežične tehnologije, BIM, sajber-fizički sistemi

NEURAL NETWORKS IN CONSTRUCTION: CASE STUDY MARINA APARTMENTS, PORTONOVİ (PART TWO)

Abstract: This is the continuation of the work that investigates the application of Neural Networks in risk analysis on a real construction site. The Marina Apartments facility in Portonovi - Kumbor, Herceg Novi was taken as a case study. Through synthetic simulations and data collected during the six-year construction of the facility, a model based on neural networks was developed that predicts the level of risk at different stages. Weather conditions, worker experience, material quality and safety measures were analyzed to identify the key causes of high risk. The model was tested and validated, achieving a high test prediction accuracy. Research results should serve as a basis for improving modern risk management systems on construction sites through the use of modern technologies, such as WST, BIM & CPS.

Key words: Neural Networks, construction site, Marina Apartments, WST, BIM, CPS

1. SIMULACIJE PO FAZAMA (NASTAVAK)

1.1. Zidarski i fasadni radovi



Slika 1: Zidarski i fasadni radovi u Portonovom 2018.godine [1]

Zidarski radovi predstavljaju fazu u kojoj se definiše struktura i prostorna organizacija objekta. Ova faza obuhvata izgradnju nosivih i pregradnih zidova korišćenjem opeke, betonskih blokova ili drugih građevinskih materijala primjenom maltera za vezivanje zidnih elemenata i postizanje strukturne čvrstoće.

Osim toga, uključuje nivelaciju i provjeru vertikalnosti i horizontalnosti zidova, ugradnju armature i dodatnih ojačanja na kritičnim mjestima i pripremu zidova za dalje faze radova. Fasada

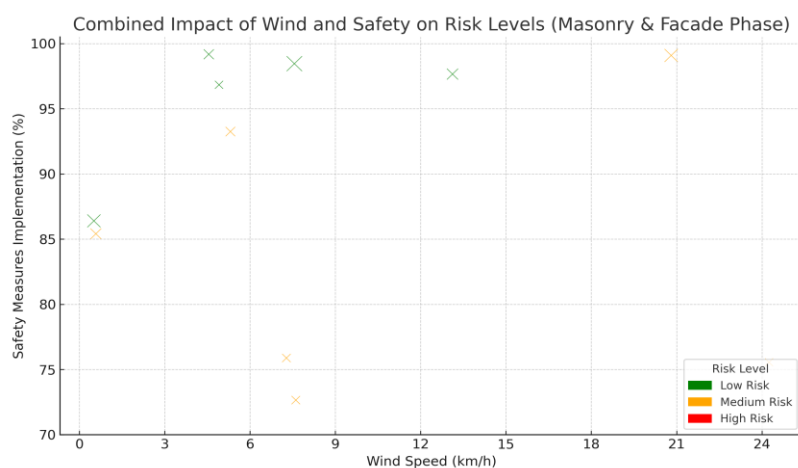
¹Inženjer za razvoj projekata u Elektroprivredi Crne Gore AD Nikšić, e-mail: mihailoo@t-com.me

²Osnivač Instituta za građevinarstvo u Podgorici – Crna Gora, e-mail: knezevicmilos@hotmail.com

zgrade je ventilirajuća sa aluminijskom podkonstrukcijom, termo i hidro izolacijom i tablama kao završnim slojem.

Tabela 1: Simulacija sa ključnim faktorima koji utiču na rizik tokom faze zidarskih i fasadnih radova

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Dan	Vremenski uslovi	Vjetar (km/h)	Broj radnika	Iskustvo radnika (god)	Kvalitet opreme	Bezbjednosne mjere (%)	Rizik
2		1 sunčano	0.51	6	6.74	srednji	86.4	nizak
3		2 vjetrovito	24.25	5	2.37	visok	75.55	srednji
4		3 kišovito	20.81	7	6.86	visok	99.09	srednji
5		4 kišovito	5.31	7	3.36	visok	93.25	srednji
6		5 sunčano	4.55	9	2.52	visok	98.18	nizak
7		6 sunčano	4.59	9	9.59	nizak	96.84	nizak
8		7 sunčano	7.61	9	9.73	visok	87.94	nizak
9		8 vjetrovito	13.12	6	8.47	srednji	97.66	nizak
10		9 kišovito	10.8	7	4.44	visok	72.65	srednji
11		10 kišovito	7.28	7	2.78	visok	75.88	srednji



Grafikon 1: Distribucija rizika zavisna od implementacije bezbjednosnih mjera i snage vjetra

Rezultati pokazuju da je loša ventilacija glavni faktor koji povećava rizik tokom unutrašnjih zidarskih radova. Dodatni faktori kao što su nizak kvalitet materijala i nedovoljno iskustvo radnika dodatno doprinose riziku. Preporučuje se osiguravanje adekvatne ventilacije i korišćenje materijala visokog kvaliteta.

1.2. Stolarski radovi



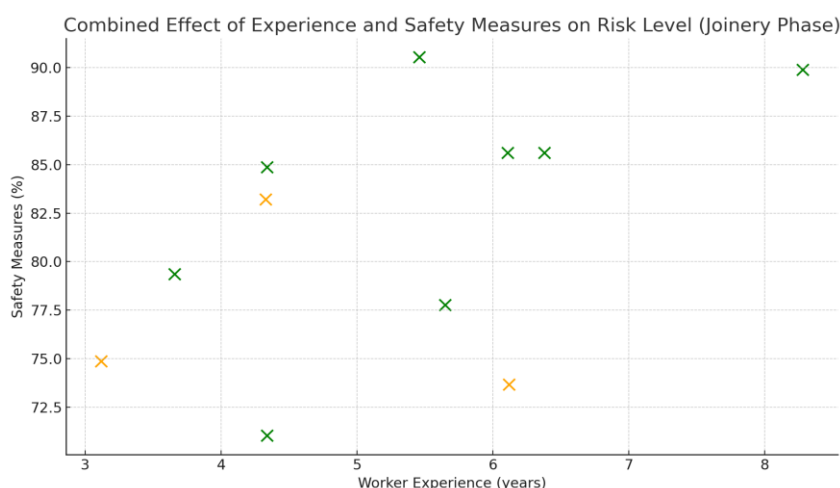
Slika 2: Ugradnja stolarije na zgradi Marina Apartments 1 tokom 2018. i 2019. godine [1]

Stolarski radovi uključuju preciznu ugradnju prozora i vrata, što ima direktan uticaj na funkcionalnost i estetiku objekta. Ugradnja podrazumijeva instalaciju aluminijskih i drvenih prozora i vrata, unutrašnjih i spoljnih obloga, stepeništa i rukohvata, dekoracija, itd.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Dan	Kvalitet materijala	Broj radnika	Iskustvo radnika (god)	Vremenski uslovi	Bezbjednosne mjere (%)	Rizik
2	1	visok	7	5.46	sunčano	90.53	nizak
3	2	nizak	4	4.33	sunčano	83.2	srednji
4	3	srednji	6	6.89	kišovito	73.66	srednji
5	4	visok	4	3.12	sunčano	84.86	nizak
6	5	visok	6	4.34	sunčano	71.03	nizak
7	6	visok	7	4.93	oblačno	97.28	nizak
8	7	visok	3	5.65	oblačno	77.76	nizak
9	8	srednji	6	8.28	kišovito	89.88	nizak
10	9	visok	4	3.6	sunčano	79.35	nizak
11	10	srednji	7	6.11	sunčano	85.6	nizak

Tabela 2: Simulacija sa ključnim faktorima koji utiču na rizik tokom faze stolarskih radova

Rezultati pokazuju da je nizak kvalitet materijala i kišni dani glavni uzroci povećanog rizika tokom stolarskih radova. Dodatni faktori uključuju nisko iskustvo radnika i lošu implementaciju bezbjednosnih mjera. Preporučuje se pažljiva selekcija materijala i prilagođavanje rasporeda rada vremenskim uslovima.



Grafikoni 2: Distribucija rizika zavisna od kombinacije bezbjednosnih mjera i iskustva radnika

1.3. Instalacije - MEP (Mechanical, Electrical & Plumbing)



Slika 3: MEP instalacije na zgradi Marina Apartments 1 tokom 2019. godine [2]

MEP faza uključuje instalacije koje su ključne za funkcionalnost i sigurnost objekta. Ova faza obuhvata:

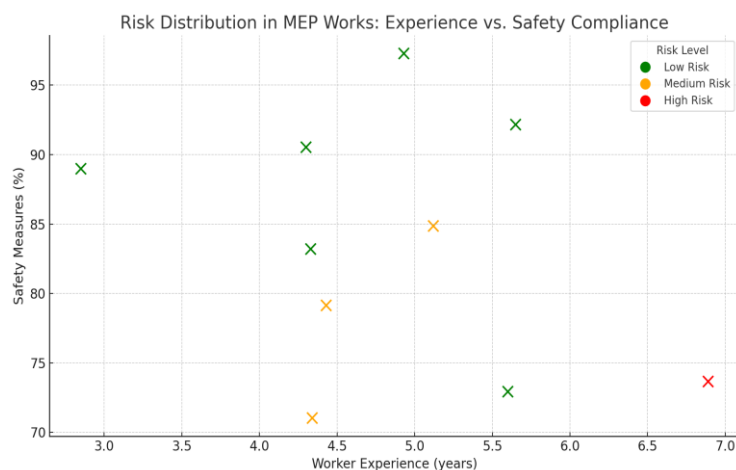
- Električne instalacije: Visokonaponski i niskonaponski sistemi za napajanje i komunikaciju.
- Vodovodne i kanalizacione sisteme: Instalacije za dotok i odvod vode.

- Klimatizaciju i ventilaciju (HVAC): Sistem za kontrolu temperature i kvaliteta vazduha unutar objekta.

Tabela 3: Simulacija sa ključnim faktorima koji utiču na rizik tokom faze MEP radova

	A	B	C	D	E	F	G
1	Dan	Tip instalacija	Broj radnika	Iskustvo radnika (god)	Vremenski uslovi	Bezbednosne mjere (%)	Rizik
2		1 električne	8	4.43	sunčano	79.14	srednji
3		2 HVAC	7	6.2	sunčano	72.93	nizak
4		3 kanalizacione	4	5.46	sunčano	90.53	nizak
5		4 vodovodne	6	4.33	sunčano	83.2	nizak
6		5 električne	8	6.89	kišovito	73.66	visok
7		6 električne	8	3.12	sunčano	84.86	srednji
8		7 električne	4	4.34	sunčano	71.03	srednji
9		8 kanalizacione	6	4.93	oblačno	97.28	nizak
10		9 vodovodne	7	5.65	oblačno	77.76	nizak
11		10 kanalizacione	3	8.28	kišovito	89.88	nizak

Rezultati pokazuju da električne instalacije nose najveći rizik, posebno u kombinaciji sa kišovitim vremenskim uslovima. Dodatni faktori uključuju nisko iskustvo radnika i lošu implementaciju bezbjednosnih mjera. Preporučuje se povećanje obuka radnika i striktno praćenje vremenskih uslova za planiranje aktivnosti.



Grafikon 3: Distribucija rizika zavisna od kombinacije bezbjednosnih mjera i iskustva radnika

1.4. Unutrašnji završni radovi

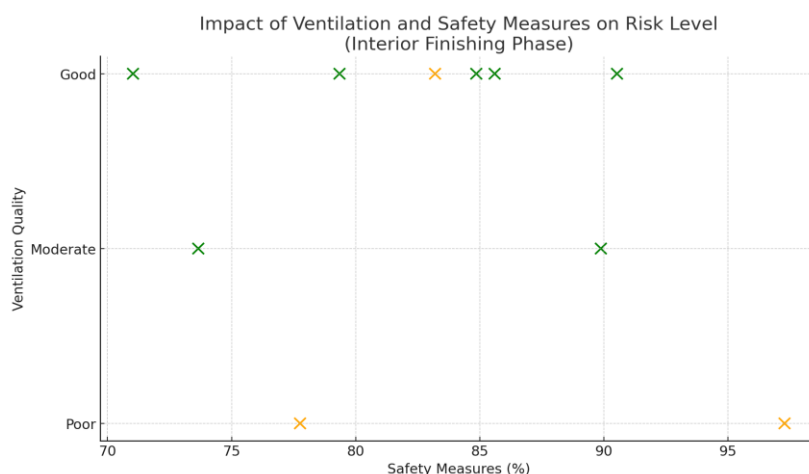


Slika 3: Unutrašnji završni radovi na zgradi Marina Apartments 1 tokom 2019. godine [3]

Unutrašnji završni radovi uključuju završne slojeve zidova (gips, malterisanje i gletovnje, keramika, drvo, itd.), podova i plafona, kao i postavljanje dekorativnih elemenata.

Tabela 4: Simulacija sa ključnim faktorima koji utiču na rizik tokom faze unutrašnjih završnih radova

	A	B	C	D	E	F	G
1	Dan	Kvalitet materijala	Broj radnika	Iskustvo radnika (god)	Ventilacija	Bezbjednosne mjere (%)	Rizik
2	1	visok	7	5.46	dobra	90.53	nizak
3	2	nizak	4	4.33	dobra	83.2	srednji
4	3	srednji	6	6.89	osrednja	73.66	nizak
5	4	visok	4	3.12	dobra	84.86	nizak
6	5	visok	6	4.34	dobra	71.03	nizak
7	6	visok	7	4.93	loša	97.28	srednji
8	7	visok	3	5.65	loša	77.76	srednji
9	8	srednji	6	8.28	osrednja	89.88	nizak
10	9	visok	4	3.6	dobra	79.35	nizak
11	10	srednji	7	6.11	dobra	85.6	nizak



Grafikon 4: Rizik zavisan od kvaliteta ventilacije i bezbjednosnih mjera

Rezultati pokazuju da su loša ventilacija i nizak kvalitet materijala glavni faktori rizika u završnim radovima. Preporučuje se obezbjeđivanje adekvatne ventilacije i korišćenje materijala visokog kvaliteta kako bi se smanjili problemi tokom i nakon završetka radova.

1.5. Uređenje terena oko zgrade

Uređenje terena uključuje pripremu tla, sadnju biljaka, postavljanje popločanih staza i drugih elemenata eksterijera.

Tabela 5: Simulacija sa ključnim faktorima koji utiču na rizik tokom faze radova uređenja terena

	A	B	C	D	E	F	G
1	Dan	Tip zemljišta	Vremenski uslovi	Broj radnika	Nivo mehanizacije	Bezbjednosne mjere (%)	Rizik
2	1	glinasto	sunčano	6	srednji nivo	90.53	nizak
3	2	kamenito	vjetrovito	5	visok nivo	83.2	nizak
4	3	pješčano	kišovito	7	srednji nivo	73.66	srednji
5	4	pješčano	sunčano	7	visok nivo	84.86	nizak
6	5	glinasto	sunčano	9	visok nivo	71.03	srednji
7	6	glinasto	sunčano	9	nizak nivo	97.28	srednji
8	7	glinasto	sunčano	9	nizak nivo	77.76	srednji
9	8	kamenito	sunčano	6	nizak nivo	89.88	nizak
10	9	pješčano	sunčano	7	visok nivo	79.35	nizak
11	10	pješčano	sunčano	7	visok nivo	85.6	nizak

Rezultati pokazuju da su glinasto zemljište i kišoviti dani glavni faktori rizika u fazi uređenja terena. Preporučuje se prilagođavanje metoda rada tipu zemljišta i vremenskim uslovima, kao i povećanje nivoa kvaliteta mehanizacije kako bi se smanjio fizički napor radnika.



Grafikon 5: Rizik zavisan od broja radnika i implementacije bezbjednosnih mjera

2. DISKUSIJA I OPŠTI ZAKLJUČAK SA PREPORUKAMA

U dva rada obrađen je sveobuhvatan pristup procjeni rizika na gradilištu primjenom neuronskih mreža. Simulirane su različite faze izgradnje - od pripreme terena do završnih radova i uređenja okoline, u cilju prikazivanja kako tehnologije vještačke inteligencije mogu unaprijediti donošenje odluka i smanjiti rizike.

Evaluacija razvijenog modela pokazala je da neuronska mreža postiže testnu tačnost od 92.45%, što ukazuje na visok stepen pouzdanosti u predikciji nivoa rizika. Greške su najčešće prisutne u slučajevima kada su vremenski uslovi varijabilni ili kada postoji kombinacija faktora sa sličnim uticajem na rizik.

Za analizu rizika razvijen je model neuronske mreže zasnovan na višeslojnom perceptronu (MLP) sa tri potpuno povezana sloja. Ulazni sloj prima 8 numeričkih karakteristika: vremenski uslovi, temperatura, vjetar, kiša, broj radnika, iskustvo radnika, kvalitet materijala i procenat sprovođenja bezbjednosnih mjera. Skriveni slojevi koriste ReLU aktivacionu funkciju radi efikasne propagacije gradijenata i izbjegavanja problema nestajućeg gradijenta. Izlazni sloj koristi *Softmax* aktivaciju kako bi model mogao klasifikovati nivo rizika u tri kategorije: nizak, srednji i visok.

Dodatne tehničke specifikacije modela:

- Struktura mreže: (8 ulaznih neurona – 16 neurona u prvom skrivenom sloju – 8 neurona u drugom sloju – 3 izlazna neurona)
- Optimizacioni algoritam: Adam optimizer (adaptivna regulacija težina radi brže konvergencije)
- Loss funkcija: Categorical Crossentropy (s obzirom na to da imamo višeklasnu klasifikaciju)
- Batch size: 32 (parametar koji određuje koliko uzoraka prolazi kroz mrežu prije ažuriranja težina)
- Broj epoha: 100 (trening se odvija kroz 100 iteracija kompletnog dataset-a)
- Regularizacija: Dropout od 0.2 u skrivenim slojevima radi izbjegavanja prenaučivosti (overfitting)
- Tačnost na testnom skupu: 92.45%

Model je treniran pomoću 80% podataka, dok je 20% podataka korišćeno za testiranje. Svi ulazni podaci su normalizovani Min-Max skaliranjem kako bi se osigurala stabilnost obuke modela. Tokom testiranja, model je pokazao visoku tačnost predikcije, a najveći uticaj na rizik identifikovan je kod faktora poput vjetra, kvaliteta materijala i bezbjednosnih mjera.

Treba razjasniti razliku između 10 dana simulacije i epoha u treningu. U simulaciji, 10 dana su stvarni ili simulirani radni dani na gradilištu, za koje postoje prikupljeni podaci (vremenski uslovi, broj radnika, njihovo iskustvo, itd.). Ovi podaci su ulazni podaci za model i ne određuju broj epoha u treningu. U modelu 100 epoha se odnosi na broj iteracija kroz kompletan skup podataka tokom treninga neuronske mreže. Kada se model trenira, on prolazi kroz sve dostupne podatke više puta kako bi optimizovao svoje težine i poboljšao tačnost predikcije.

Kroz analizu osam ključnih faza, rezultati su pokazali da integracija neuronskih mreža omogućava:

- *Precizno prepoznavanje rizičnih faktora*: Faktori poput vremenskih uslova, kvaliteta materijala, iskustva radnika i bezbjednosnih mjera automatski su povezani sa procjenom rizika. Na osnovu ovih rezultata, inženjeri i menadžeri mogu brzo identificirati kritične tačke na projektu.
- *Simulaciju složenih situacija*: Simulacijom različitih scenarija rada omogućeno je predviđanje ishoda i donošenje proaktivnih odluka. Na primjer, uticaj loše ventilacije u zatvorenim prostorijama ili rizici rada sa niskokvalitetnim materijalima kvantifikovani su precizno i razumljivo.
- *Integraciju podataka iz različitih izvora*: Ovaj pristup omogućava analizu i integraciju podataka iz mnogobrojnih izvora – vremenske prognoze, senzora sa gradilišta, performansi radnika i stanja opreme.

Primjena neuronskih mreža u građevinskom sektoru donosi brojne prednosti:

- *Automatizacija procjene rizika*: Tradicionalno, procjena rizika se oslanja na subjektivno iskustvo. Neuronske mreže uvode objektivnost i eliminišu greške uzrokovane ljudskim faktorom.
- *Skalabilnost*: Jednom implementirane, mreže se mogu proširiti na nove projekte, faze rada ili različite građevinske industrije.
- *Efikasnost u realnom vremenu*: Uz povezivanje sa senzorima, neuronske mreže mogu analizirati rizike u realnom vremenu, čime omogućavaju brže reakcije.

Kako bi se dalje unaprijedila primjena neuronskih mreža, daje se preporuka za sledeće korake:

- *Integracija sa BIM tehnologijom*: BIM omogućava detaljno planiranje i upravljanje projektima kroz 3D modele zgrade. Kombinacija BIM-a sa neuronskim mrežama može automatski procijeniti rizike na osnovu podataka iz modela (npr. faze izgradnje, raspored materijala, planiranje radova).
- *Primjena WST*: Bežične tehnologije, poput *Real-Time Location Systems* (RTLS), mogu se koristiti za praćenje lokacije radnika i opreme, mjerenje vibracija ili analizu kvaliteta vazduha. Podaci prikupljeni sa senzora mogu se integrisati u neuronske mreže kako bi se procijenili dinamični rizici.
- *Napredna analiza uz Internet of Things (IoT) i AI*: Kombinacija neuronskih mreža sa IoT tehnologijama može unaprijediti kontrolu gradilišta. Na primjer, automatizovano praćenje sigurnosne opreme (npr. kacige, prsluci). Moguće bi bilo i sprovesti analizu trošenja materijala i opreme u realnom vremenu, kao i sprovesti prediktivno održavanje mehanizacije.
- *Unapređenje korisničkog interfejsa*: Razviti vizualne alate koji će omogućiti menadžerima da lako prate rizike i predviđanja neuronskih mreža. Na primjer, dashboard sa grafikovima, simulacijama i preporukama.
- U budućnosti bi bilo korisno istražiti primjenu *kombinovanih metoda vještačke inteligencije*. Na primjer, kombinacija dubokih neuronskih mreža sa tehnikama optimizacije (npr. genetski algoritmi) može poboljšati planiranje resursa. Takođe, istraživanje korišćenja *Generative AI* (generativnih modela) može pomoći u simulaciji nepredvidivih scenarija, kao što su prirodne nepogode ili ekstremni vremenski uslovi.

3. LITERATURA

- [1] Privatna arhiva autora
- [2] Fotografije preuzete sa zvaničnog sajta Indigoprojekta: www.indigoprojekt.de
- [3] Fotografije preuzete sa zvaničnog sajta Ajstok-Foto: www.istockphoto.com