

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

Mihailo Ostojić¹ Miloš Knežević²

Rezime: U ovom radu, koji se sastoji iz dva dijela, istražuje se primjena neuronskih mreža u analizi rizika tokom izvođenja građevinskih radova, kroz studiju slučaja objekta Marina Apartments u kompleksu Portonovi – Kumbor, Herceg Novi. Korišćenjem podataka iz realnog gradilišta i sintetičkih simulacija, razvijen je model zasnovan na dubokim neuronskim mrežama koji predviđa nivo rizika u različitim fazama izgradnje. Faktori poput vremenskih uslova, iskustva radnika, kvaliteta materijala i sprovedenih bezbjedosnih mjera analizirani su kako bi se identifikovali ključni uzroci povećanog rizika. Model je testiran i validiran, pri čemu je postignuta testna tačnost predikcije od 92.45%. Rezultati istraživanja mogu poslužiti kao osnova za unapređenje sistema upravljanja rizicima na gradilištima kroz upotrebu inteligentnih algoritama.

Ključne reči: neuronske mreže, analiza rizika, građevinarstvo, predikcija rizika, Marina Apartments

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

Abstract: This two-part paper investigates the application of Neural Networks in risk analysis during construction works, through a case study of the Marina Apartments facility in the Portonovi - Kumbor, Herceg Novi. Using data from a real construction site and synthetic simulations, a model based on deep neural networks was developed that predicts the level of risk at different stages of construction. Factors such as weather conditions, worker experience, material quality and safety measures implemented were analyzed to identify the key causes of increased risk. The model was tested and validated, achieving a test prediction accuracy of 92.45%. The research results can serve as a basis for improving the risk management system on construction sites through the use of intelligent algorithms.

Key words: Neural Networks, risk analysis, construction, risk prediction, Marina Apartments

1. UVOD

1.1. Studija slučaja: Portonovi rizort

Portonovi je smješten na ulazu u Bokokotorski zaliv u opštini Herceg Novi, Crnoj Gori i predstavlja jedan od najznačajnijih luksuznih projekata na Jadranskoj obali. Izgrađen na mjestu nekadašnje kasarne Vojske Jugoslavije u Kumboru, ovaj ambiciozni projekt transformisao je područje u prestižno odmaralište koje kombinuje savremeni dizajn sa bogatom istorijom i prirodnim ljepotama. Ova lokacija pruža spektakularan pogled na Bokokotorski zaliv.



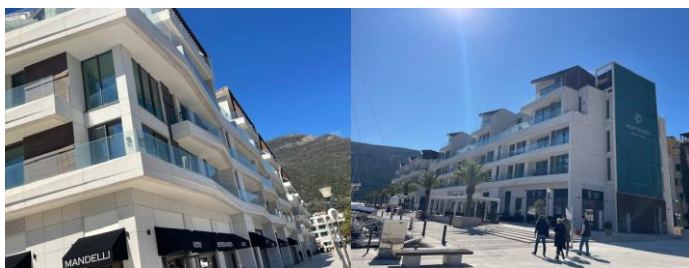
Slika 1: Portonovi – Kumbor, Herceg Novi, Crna Gora [1]

Izgradnja Portonovi rizorta započela je sredinom 2010-ih godina, s ciljem da se stvori luksuzna destinacija koja će privući posjetioce iz cijelog svijeta. Projekt obuhvata razvoj na površini od 26 ha,

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

uključujući marine za superjahte, rezidencijalne objekte, hotele, restorane i druge sadržaje visokog standarda.



Slika 2: Marina Apartments 1 i 2, Portonovi – Kumbor [2]

Jedni od ključnih objekata unutar rizorta je zgrada *Marina Apartments 1*, koja sa svojom sestrom blizankinjom *Marina Apartments 2* predstavlja prave bisere moderne arhitekture i ozbiljan izazov u inženjeringu za izvođenje građevinskih radova. Zgrade su dizajnirane u sofisticiranom modernom stilu, koristeći kombinaciju prirodnih i visokotehnoloških materijala, sa detaljima koji odražavaju nautičko okruženje. Svaka od ovih zgrada ima osnovu dimenzija 20x60 m i sastoji se od:

- Prizemlja spratne visine od 6,5 m, namijenjenog za poslovne prostore.
- Prvog i drugog sprata visine po 3,5 m, sa stambenim jedinicama različitih struktura.
- Penthouse jedinice koje predstavljaju po zgradi po tri dupleks penthousa, svaki sa privatnim bazenom i dvorištem, pružajući maksimalan luksuz i privatnost.

Ukupna površina jedne zgrade iznosi približno 4.800 m², sa kombinacijom stambenih i poslovnih jedinica. Kako bi se istraživački rad zasnovao na praktičnim iskustvima, autor je odabrao *Marina Apartments 1* kao studiju slučaja. Ova zgrada ne samo da odražava tehničku i arhitektonsku složenost objekta, već je i direktno povezana sa profesionalnim angažmanom autora.

1.2. Lično iskustvo autora

Jedan od autora ovog rada, bio je nagažovan u periodu od 2015. do 2020. godine kao upravnik izgradnje (*Construction Manager*) i upravnik projekta (*Project Manager*) Istočnog Portonovog ispred glavnog izvođača radova, renomiranu italijansku kompaniju *Impresa Pizzarotti & C. S.p.A.* Ovaj dio obuhvatao je, pored zgrada *Marina Apartments 1 i 2*, i luksuzni stambeno-poslovni kompleks *Fisherman's Wharf*, Upravnu zgradu Marine Portonovog, Stanicu policije i Stanicu carine u sklopu Marine, kao i benzinsku pumpu.

Iskustvo stečeno tokom realizacije ovih projekata poslužilo je kao osnova za istraživanje predstavljeno u ovom radu, s posebnim fokusom na implementaciju savremenih tehnologija u upravljanju građevinskim procesima.

1.3. Motivacija za istraživanje upravljanja rizikom u građevinarstvu

Građevinarstvo je industrija koja se suočava s mnogobrojnim izazovima kada je riječ o upravljanju rizikom. Nepredvidivi vremenski uslovi, neusklađenost resursa, ljudske greške i složenost građevinskih projekata samo su neki od faktora koji mogu ugroziti bezbjednost radnika, kvalitet izvedenih radova i finansijsku efikasnost projekta. Tradicionalne metode procjene rizika često su spore, ograničene i ne pružaju mogućnost pravovremenog donošenja odluka. Tokom svojih profesionalnih angažmana, autori su bili svjedoci mnogih situacija gdje su faktori rizika, poput nepovoljnih vremenskih uslova ili nepredviđenih problema u organizaciji rada, direktno uticali na tok i kvalitet izgradnje. Upravljanje tim rizicima zahtijevalo je brze i precizne procjene koje su često bile zasnovane na iskustvu, a ne na podacima.

Razmišljajući o načinima kako unaprijediti procese upravljanja rizikom, autori su prepoznali potencijal savremenih tehnologija, na prvom mjestu neuronskih mreža. Ove mreže, inspirisane

funkcionisanjem ljudskog mozga, imaju sposobnost obrade velikih količina podataka, prepoznavanja obrazaca i predikcije rizika na osnovu kompleksnih odnosa među ulaznim parametrima. Zamišljen je sistem koji bi u realnom vremenu analizirao podatke s gradilišta i pružao konkretne preporuke za upravljanje rizikom.

1.4. Building Information Model, Wireless Sensing Tehnologije i Cyber-Physical Systems

Integracija *Building Information Model* (BIM): BIM tehnologija pruža mogućnost integrisanja svih podataka o projektu u jedan centralizovani model. Dodavanje sloja neuronskih mreža u BIM omogućava predikciju rizika direktno unutar modela, vizualizujući rizične zone i optimizujući procese u realnom vremenu. Na primjer, predikcija jakih vjetrova može pomoći u planiranju rada na visini i smanjenju potencijalnih nesreća.



Slika 3: Primjeri BIM-a (lijevo i sredina) i CPS-a (desno) [3]

Wireless Sensing Technologies (WST): Senzori na gradilištu, poput onih za mjerenje temperature, vlažnosti i vibracija, mogu prikupljati podatke u realnom vremenu. Neuronske mreže mogu analizirati ove podatke i predložiti trenutne akcije, poput privremenog prekida rada zbog visokih temperatura ili preopterećenja strukture.

Autor rada je bio uključen u razvoj ovih tehnologija na raznim projektima unutar akademske zajednice u Sjedinjenim Američkim Državama, i njihove implementacije u prilikom realizacije mnogih državnih projekata.



Slika 4: Testiranje RTLS bežične tehnologije na Univerzitetu Zapadnog Mičigena, SAD [2]

Cyber-Physical Systems (CPS): Kombinacijom fizičkih sistema (mašine, senzori) i digitalnih tehnologija, CPS omogućava automatizaciju i optimizaciju građevinskih procesa. Neuronske mreže, kao dio ovih sistema, mogu unaprijediti donošenje odluka kroz simulaciju i predikciju potencijalnih problema.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

2.1. Pristup istraživanju

Ovaj rad koristi kombinaciju teorijskih i praktičnih metoda kako bi se istražila primjena neuronskih mreža u upravljanju rizicima na gradilištu. Fokus istraživanja je simulacija stvarnih građevinskih faza koristeći podatke prikupljene iz arhive gradilišta za vremenski period kada su radovi obavljani, i savremene tehnologije poput neuronskih mreža. Priprema podataka, obuka modela i analiza rezultata ključni su koraci u ovoj metodologiji.

Za potrebe istraživanja kreiran je sintetički skup podataka koji simulira realne uslove na gradilištu. Ključni parametri uključuju vremenske uslove, temperaturu, vjetrovitost, iskustvo radnika, broj radnika, kvalitet materijala i procenat implementacije bezbjednosnih mjera. Ovi podaci su korišćeni za obuku neuronske mreže s ciljem predikcije rizika u različitim fazama izgradnje.

Podaci su podijeljeni na trening (80%) i test (20%) skupove kako bi se omogućila procjena performansi modela. Svi podaci su normalizovani kako bi neuronska mreža efikasnije učila. Arhitektura mreže koristi se višeslojni perceptron (MLP) sa tri sloja i aktivacionim funkcijama *Rectified Linear Unit* (ReLU) i *Softmax*.

2.2. Uvod u simulacije

Simulacije su organizovane tako da prate hronološki redosljed faza izgradnje jedne od zgrada. Svaka faza analizirana je zasebno, s ciljem identifikacije specifičnih rizika i faktora koji utiču. Faze koje su simulirane uključuju: pripremu terena, betonske radove, krovopokrivačke radove, zidarske i fasadne radove, ugradnju stolarije, instalacije (struja, voda, klimatizacija), završne unutrašnje radove i uređenje terena oko zgrade. Za svaku od ovih faza, neuronska mreža koristi specifične ulazne podatke kako bi predviđela rizike. Na primjer, za fazu krovopokrivačkih radova ključni parametri uključuju vremenske uslove (vjetrovitost i kiša), dok za fazu unutrašnjih radova vremenski uslovi igraju manje značajnu ulogu.

Prikupljeni podaci reflektuju stvarne izazove s kojima se gradilište suočavalo, omogućujući dublje razumijevanje rizika i načina za njihovo smanjenje. Za potrebe simulacije generisan je skup podataka za 10 dana rada. Svaki dan ima različite uslove rada, uključujući vremenske uslove, broj radnika, iskustvo radnika, kvalitet mašina i procenat implementacije bezbjednosnih mjera. Svaki dan je dodatno analiziran na osnovu događaja (incidenta) i detaljne procjene rizika (nizak, srednji ili visok).

2.3. Pravila za procjenu rizika

Promjena rizika se vrši na osnovu kombinacije faktora. Na primjer:

- Kišoviti dani i niske bezbjednosne mjere povećavaju rizik od klizanja terena i povreda. Padavine iznad 15 mm drastično povećavaju rizik, dok bezbjednosne mjere ispod 80% značajno doprinose rastu rizika.
- Loš kvalitet mašina i veliki broj radnika povećavaju vjerovatnoću kvarova i nesreća. Ukoliko je broj radnika veći od 20 rizik raste.
- Neiskusni radnici i visoke temperature povećavaju rizik od grešaka u radu. Ako je iskustvo manje od 5 godina rizik se povećava značajno. Preko 10 godina iskustva radnika smanjuje rizik jer iskusni radnici znaju kako pravilno manipulirati materijalima i opremom. Isto tako temperature preko 30°C imaju negativan uticaj na radnike, dok one ispod 3°C mogu dovesti do mržnjenja tla i otežanog rada.

Rizik se računa kao zbir svih faktora, pri čemu je:

- Nizak rizik (0-30%) – Optimalni uslovi i dobro sprovedene mjere zaštite.
- Srednji rizik (30-60%) – Prisutni su određeni nepovoljni faktori, ali se rizik može kontrolisati.
- Visok rizik (60-100%) – Opasni uslovi, visoka vjerovatnoća grešaka i nesreća.

3. SIMULACIJE PO FAZAMA

3.1. Priprema terena

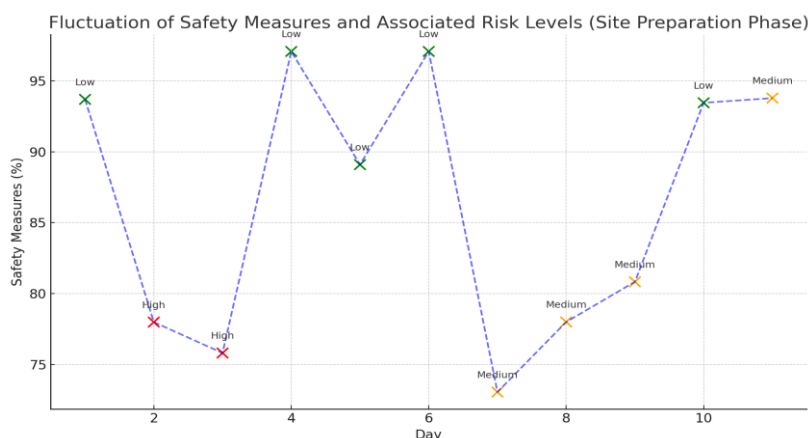


Slika 5: Priprema terena za početak izgradnje Marina Apartments 1 u Portonovom 2016.godine [2]

Ova faza uključuje radove na uklanjanju površinskog sloja zemlje, nivelaciji terena, nabijanju tampon sloja do postizanja projektne čvrstoće i pripremi za fundiranje. Podaci korišćeni u analizi prikupljeni su neposredno sa gradilišta tokom faze pripreme terena 2016. godine.

Tabela 1: Simulacija sa ključnim faktorima koji utiču na rizik tokom faze pripreme terena

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Dan	Vremenski uslovi	Temperatura (°C)	Broj radnika	Iskustvo radnika	Kvalitet mašina	Bezbednosne mjere (%)	Rizik
2	1	sunčano	10.51	19	7.12	dobar	93.69	nizak
3	2	kišovito	34.25	25	5.05	loš	77.99	visok
4	3	kišovito	30.81	24	1.12	dobar	75.81	visok
5	4	sunčano	15.31	24	9.48	dobar	97.07	nizak
6	5	sunčano	14.55	28	6.07	dobar	89.09	nizak
7	6	sunčano	14.59	21	4.47	dobar	73.06	srednji
8	7	sunčano	17.61	29	1.14	dobar	82.82	srednji
9	8	kišovito	23.12	12	3.08	dobar	80.83	srednji
10	9	sunčano	20.8	14	3.17	dobar	98.45	nizak
11	10	kišovito	17.28	28	7.15	dobar	93.78	srednji



Grafikon 1: Uticaj implementacije bezbjednosnih mjera na rizik

Analiza uticaja otkriva da kombinacija neiskustva radnika i loših mašina dovodi do najvećeg rizika, posebno kada su bezbjednosne mjere ispod 80%. Simulacija pokazuje da kišni dani i niske bezbjednosne mjere povećavaju vjerovatnoću incidenata. Visoke temperature i veliki broj radnika mogu dodatno povećati rizik zbog umora i preopterećenja prostora.

3.2. Betonski radovi



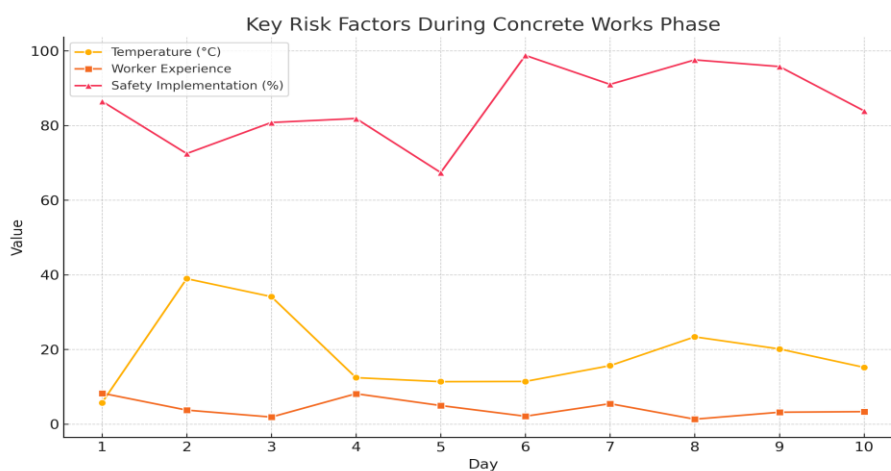
Slika 6: Betonski radovi na Marini Apartments I izvođeni tokom 2016. i 2017. godine. [2]

Simulacija se odnosi na fazu izlivanja betonskih vertikalnih i horizontalnih elemenata (temelji, stubovi, ploče i zidovi prema projektnoj dokumentaciji) koja podrazumijeva zanatske radove šalovanja, armiranja i nalivanja betona uz prethodno geometarsko markiranje tačaka, zatim njegovanje svježeg betona dok ne postigne potrebne fizičko-mehaničke uslove i demontaža oplate. Betonski radovi su zahtjevana faza u izgradnji osjetljivi na vremenske uslove, kvalitet materijala i organizaciju na gradilištu. Podaci korišćeni u analizi prikupljeni su neposredno sa gradilišta Istočni Portonovi tokom faze izvođenja betonskih radova 2016. i 2017.

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

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Dan	Vremenski uslovi	Temperatura (°C)	Kvalitet materijala	Broj radnika	Iskustvo radnika (god)	Bezbjednosne mjere (%)	Rizik
2	1	sunčano	5.72	srednji	7	8.28	86.5	nizak
3	2	vjetrovito	38.95	visok	11	3.74	72.47	visok
4	3	kišovito	34.14	visok	9	1.88	80.8	srednji
5	4	sunčano	12.43	visok	13	7.16	81.87	nizak
6	5	sunčano	11.36	visok	11	4.96	67.39	nizak
7	6	sunčano	11.42	srednji	6	2.1	98.78	nizak
8	7	sunčano	15.65	visok	8	5.46	91.01	nizak
9	8	kišovito	23.37	srednji	13	1.31	97.58	srednji
10	9	kišovito	20.12	srednji	16	9.18	95.79	nizak
11	10	kišovito	15.19	visok	18	3.33	83.92	srednji

Većina simulacija pokazuje nizak rizik (ispod 20%), ali postoje slučajevi sa povećanim rizikom do 50-60%. Analiza podataka pokazuje da kišni i vjetroviti dani značajno povećavaju rizik tokom betonskih radova. Previsoke temperature i nizak kvalitet materijala takođe doprinose povećanju rizika. Implementacija bezbjednosnih mjera i iskustvo radnika ključni su faktori za smanjenje rizika.

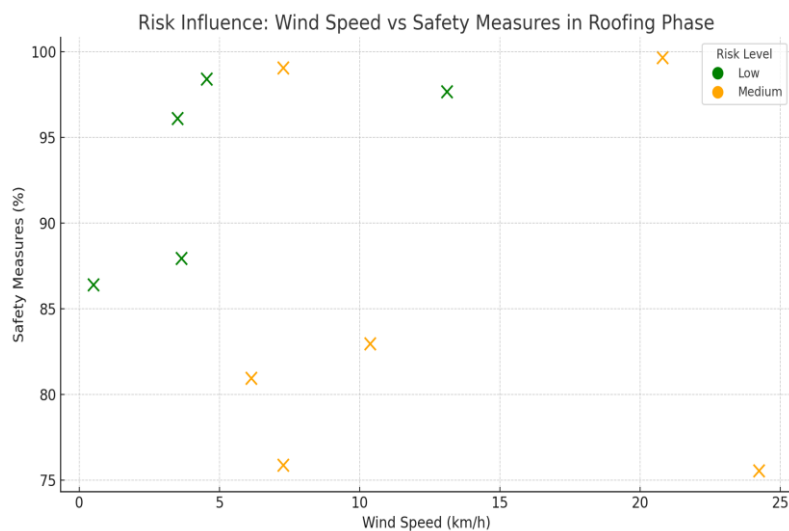


Grafikon 2: Distribucija rizika kod betonskih radova i kombinovani uticaj najvažnijih faktora

3.3. Krovopokrivački radovi



Slika 7: Krovopokrivački radovi [2]



Grafikon 3: Uticaj kombinovanih faktora kod faze krovopokrivačkih radova

Krovopokrivački radovi predstavljaju jednu od ključnih faza izgradnje jer direktno utiču na zaštitu objekta od atmosferskih uticaja i zahtijevaju posebnu pažnju zbog rada na visini i osjetljivosti na vremenske uslove. Ova faza obuhvata postavljanje nosive konstrukcije krova od drveta i njegovu dodatnu zaštitu od insekata i hemijskih dejstava, ugradnju termo i hidro izplacije, postavljanje lima, montažu oluka i sistema za odvod kišnice i završne radove na krovu.

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

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Dan	Vremenski uslovi	Vjetar (km/h)	Broj radnika	Iskustvo radnika	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

Rezultati pokazuju da su kišoviti dani i vjetrovi jačine preko 15 km/h ključni faktori koji povećavaju rizik tokom krovopokrivačkih radova. Nizak kvalitet opreme i bezbjednosne mjere ispod 80% dodatno pogoršavaju situaciju. Preporučuje se upotreba opreme visokog kvaliteta i obuka radnika za rad u nepovoljnim vremenskim uslovima.

4. ZAKLJUČAK

Rad ima za cilj napraviti osnovu za integraciju neuronske mreže sa savremenim tehnologijama kako bi se unaprijedilo upravljanje rizikom u građevinarstvu, sa posebnim osvrtom na procese na gradilištima i rešavanjem svakodnevnih problema sa kojima se inženjeri, radnici i ostali učesnici susreću. Na osnovu stvarnih podataka sa gradilišta i iskustva autora, biće formiran sistem koji može poslužiti korisnicima u budućnosti.

5. LITERATURA

- [1] Preuzeto sa stranice zvaničnog sajta Portonovi rizorta: www.portonovi.com
- [2] Privatna arhiva autora
- [3] Preuzeto sa stranice zvaničnog sajta Tehnološkog Instituta Zigurat: www.e-zigurat.com