

Prepoznavanje rizika u izvedbi infrastrukturnih projekata uz pomoć umjetne inteligencije

Kristijan Vilibić¹, prof. dr. sc. **Ivica Završki²**

¹Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, kristijan.vilbic@grad.unizg.hr

²Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, ivica.zavrski@grad.unizg.hr

Sažetak

Upravljanje rizicima predstavlja jedan od najvažnijih, ali i najsloženijih aspekata velikih infrastrukturnih projekata, osobito u kontekstu gradnje željeznice, gdje su prisutne brojne neizvjesnosti povezane s financijama, sigurnošću, vremenskim uvjetima i regulatornim zahtjevima. Kako bi se povećala učinkovitost i uspješnost provedbe, nužno je pravodobno prepoznati potencijalne rizike, pravilno rasporediti resurse i donositi utemeljene odluke. Iako se tradicionalni alati poput stručnih procjena i probabilističkih analiza i dalje koriste, oni često nisu dovoljno učinkoviti u obradi kompleksnih i velikih količina podataka te u prepoznavanju međuovisnih rizika. Ovaj rad istražuje mogućnosti primjene GPT-4o modela umjetne inteligencije (UI) u prepoznavanju rizika, s fokusom na faze izvođenja i zatvaranja projekta „Rekonstrukcija postojećeg i izgradnja drugog kolosijeka pruge Dugo Selo – Novska (M103)“.

Ključne riječi: umjetna inteligencija, GPT-4o, upravljanje rizicima, infrastruktura, optimizacija projekta

Identifying risks in the delivery of infrastructure projects using artificial intelligence

Abstract

Risk management is one of the most critical yet complex aspects of large infrastructure projects, particularly in the context of railway construction, where numerous uncertainties arise related to finances, safety, weather conditions, and regulatory requirements. To improve the efficiency and success of project execution, it is essential to identify potential risks in a timely manner, allocate resources appropriately, and make informed decisions. Although traditional tools such as expert judgment and probabilistic analysis are still widely used, they often fall short when dealing with large volumes of complex data and interdependent risks. This paper explores the potential application of the GPT-4o artificial intelligence (AI) model for risk identification, with a focus on the execution and closing phases of the project “Reconstruction of the existing and construction of the second railway track Dugo Selo – Novska (M103).”

Key words: artificial intelligence, GPT-4o, risk management, infrastructure, project optimization

1 Uvod

Veliki infrastrukturni projekti, kao što su izgradnja željezničkih pruga, autocesta i mostova, odlikuju se visokom razinom složenosti te su izloženi raznim vrstama rizika, uključujući financijske, sigurnosne, okolišne, vremenske i regulatorne izazove [1]. Nedovoljno učinkovito upravljanje tim rizicima može dovesti do kašnjenja u provedbi, prekoračenja troškova i smanjene kvalitete izvedbe. Brojna istraživanja dodatno ukazuju na to da asimetrična dostupnost informacija među sudionicima i zanemarivanje ključnih faktora uspjeha dodatno povećavaju izloženost projektima rizicima [2, 3].

Tradicionalne metode procjene rizika, poput stručne procjene, registara rizika i probabilističkog modeliranja, često su spore, podložne subjektivnosti te teško primjenjive u obradi velikih količina međusobno povezanih podataka [4, 5]. Također, u ograničenoj su mjeri povezane s digitalnim alatima i sustavima, što smanjuje njihovu učinkovitost u suvremenom okruženju upravljanja projektima [6, 7]. Umjetna inteligencija (UI), a posebno napredni modeli poput GPT-4o, otvara nove mogućnosti u području identifikacije i obrade rizika. Ovi sustavi omogućuju automatiziranu analizu velike količine podataka, rano prepoznavanje prijetnji te generiranje projektne dokumentacije u skladu sa stvarnim potrebama [8, 9]. Dodatnu vrijednost donosi njihova integracija s tehnologijama kao što su Building Information Modeling (BIM) i Internet of Things (IoT), što omogućuje učinkovitije planiranje i nadzor projektnih aktivnosti [10].

U ovom radu istražuje se primjena umjetne inteligencije za identifikaciju rizika na primjeru infrastrukturnog projekta „Rekonstrukcija postojećeg i izgradnja drugog kolosijeka pruge Dugo Selo – Novska (M103)“. Fokus je stavljen na faze izvođenja i zatvaranja, koje imaju ključnu ulogu u osiguravanju uspješne realizacije projekta kroz pravovremeno prepoznavanje i upravljanje rizicima.

2 Metodologija

2.1 Odabir projekta i izvora podataka

Za potrebe ovog istraživanja odabran je projekt „Rekonstrukcija postojećeg i izgradnja drugog kolosijeka pruge Dugo Selo – Novska“, koji predstavlja složenu javnu infrastrukturnu investiciju. Tehnička dokumentacija preuzeta je s Elektroničkog oglasnika javne nabave [11], čime je omogućena analiza rizika na temelju autentičnih i dostupnih projektnih podataka. Projekt je organiziran u dvije ključne faze, izvođenje i zatvaranje, u skladu s definicijama životnog ciklusa projekta prema PM² metodologiji Europske komisije [12].

2.2 Tehnološki pristup

Za automatsko prepoznavanje potencijalnih rizika korišten je model umjetne inteligencije GPT-4o. Analiza je provedena fazno, a svaki upit bio je oblikovan s ciljem da se identificiraju rizici kroz uzroke, opis prijetnje i moguće posljedice. Rizici su dodatno razvrstani prema relevantnim područjima, poput tehničkog, pravnog, financijskog, administrativnog, operativnog i drugih.

2.3 Interakcija sa UI i kontrola kvalitete

Cijela analiza provedena je u jednoj sesiji kako bi se zadržao kontinuitet i kontekst prethodnih odgovora. Na taj je način simuliran rad stručnjaka koji postupno gradi znanje o projektu. Dobiveni rezultati uspoređeni su sa standardima definiranim u okviru PM² metodologije [12], a kvaliteta generiranih odgovora sustavno je praćena i evaluirana.

2.4 Očekivani doprinos

Primjena modela GPT-4o može uvelike unaprijediti identifikaciju projektnih rizika. Time se omogućuje šire prepoznavanje prijetnji, brža obrada informacija i donošenje bolje informiranih odluka. Iako UI ne zamjenjuje stručnjake, njezina uloga može biti iznimno korisna kao pomoć u provjeri, nadopuni i usmjeravanju ljudske procjene.

3 Rezultati

Rezultati istraživanja pokazuju da je model GPT-4o uspješno prepoznao rizike specifične za pojedine faze životnog ciklusa projekta, čime se potvrđuje njegov potencijal za sustavnu i učinkovitu analizu rizika. Rizici su organizirani prema relevantnim fazama, s fokusom na fazu izvođenja i fazu zatvaranja.

Na slici 1 prikazan je primjer upita koji je poslužio za učitavanje projektnih podataka u model GPT-4o.

U nastavku su prikazani rezultati koje je UI generirala za svaku fazu projekta, uz pripadajuće primjere upita korištenih za analizu. Za svaku fazu model je izradio prikaz sličan standardnim zapisima u registrima rizika. Generirane tablice rizika dosljedno uključuju stupce za: šifru rizika, izvor ili pokretač rizika, kratak opis rizika (najčešće u formatu uzrok–posljedica), zahvaćeno područje, kategoriju rizika i nositelja rizika.

Svezak III Knjiga 1 Tehničke specifikacij...
PDF

Pretvaraj se da si analitičar za upravljanje rizicima na velikom infrastrukturnom projektu u željezničkom sektoru. Dostavljen ti je tehnički opis projekta „Rekonstrukcija postojećeg i izgradnja drugog kolosijeka pruge Dugo Selo – Novska (M103)“.

Tvoj je zadatak detaljno proučiti i analizirati taj dokument.

Napomena: u sljedećim koracima koristit ćemo podatke iz dokumenta za različite zadatke vezane uz upravljanje rizicima, stoga je važno da u potpunosti razumiješ njegov sadržaj.

Kao analitičar za upravljanje rizicima na projektu "Rekonstrukcija postojećeg i izgradnja drugog kolosijeka pruge Dugo Selo – Novska (M103)", u cijelosti sam proučio tehnički opis iz *Sveska III, Knjiga 1 – Tehničke specifikacije, 1. dio*.

Projekt uključuje:

- Rekonstrukciju postojeće jednokolosiječne pruge u dvokolosiječnu (dionice A–D).
- Izgradnju novog kolosijeka i cjelovitu obnovu postojećeg kolosijeka.
- Modernizaciju svih infrastrukturnih podsustava: građevinskog, elektroenergetskog, signalno-sigurnosnog i prometno-upravljačkog.
- Uklanjanje razina prijelaza gdje je moguće, izgradnju novih nadvožnjaka/podvožnjaka.
- Uvođenje ETCS-a razine 1, rekonstrukciju elektrovnčnih podstanica (Ludina, Novska), nova transformatorska postrojenja i izmještanje dalekovoda.
- Priklučke na komunalnu infrastrukturu i mjere zaštite okoliša.
- Organizaciju izvođenja radova uz kontinuirano odvijanje željezničkog prometa, s ograničenim vremenskim zatvorima pruge.

Rok realizacije: 62 mjeseca.

Dokument detaljno definira sve dionice, faze, infrastrukturne zahtjeve, tehničke norme i odgovornosti sudionika. Spreman sam analizirati sve aspekte rizika (građevinski, organizacijski, prometni, okolišni, pravni, sigurnosni itd.) na temelju ovog sadržaja.

Koji aspekt želiš prvo analizirati u kontekstu upravljanja rizicima?



Slika 1. Sažeti prikaz analize tehničkih specifikacija (Generirano pomoću GPT-4o)

Faza izvođenja

GPT4o upit:

'Generiraj mi tablicu identifikacije rizika. Želim da bude usmjerena na fazu izvođenja predviđenog infrastrukturnog (željezničkog) projekta - "Rekonstrukcija postojećeg i izgradnja drugog kolosijeka pruge Dugo Selo - Novska (M103)".'

Tablica bi trebala imati 7 stupaca: šifra, izvor rizika, uzrok/pokretač, rizik (pojava, događaj, posljedica), zahvaćeno područje, kategorija rizika i nositelj rizika.

- Razmotri sljedeće projektne sudionike za ovu fazu: Investitor, Vlada, Glavni izvođač, Gradilišni inženjer...'

GPT-4o odgovor (Slika 2) (Slika 3):

Evo generirane tablice identifikacije rizika za fazu izvođenja infrastrukturnog projekta „Rekonstrukcija postojećeg i izgradnja drugog kolosijeka pruge Dugo Selo – Novska (M103)“:

Šifra	Izvor rizika	Uzrok/Pokretač	Rizik (pojava, događaj, posljedica)	Zahvaćeno područje	Kategorija rizika	Nositelj rizika
R-001	Geotehnički uvjeti	Nestabilnost tla ili prisutnost podzemnih voda	Dodatni radovi na temeljenju i odvodnji, kašnjenja	Temelji pruge, mostovi, tuneli	Geotehnički	Glavni izvođač, Gradilišni inženjer
R-002	Opskrba materijalom	Zastoji u lancu opskrbe ili kašnjenja u isporuci materijala	Prekid radova, povećanje troškova	Čelik, beton, tucanik, signalna oprema	Logistika	Glavni izvođač, Investitor
R-003	Nedostatak radne snage	Manjak kvalificiranih radnika zbog tržišnih uvjeta ili ugovornih sporova	Smanjena kvaliteta izvedbe, odgode u radovima	Elektrifikacija, signalizacija, radovi na pruži	Radna snaga i produktivnost	Glavni izvođač, Investitor
R-004	Vremenski uvjeti	Ekstremne vremenske pojave (kiša, snijeg, toplinski valovi)	Usporavanje radova, opasnosti za sigurnost, oštećenje opreme	Iskopi, građevinski objekti, pruga	Okolišni	Glavni izvođač, Gradilišni inženjer

Slika 2. Tablica identifikacije rizika faze izvođenja 1/2 (Generirano pomoću GPT-4o)

R-005	Zaštita na radu	Neprovođenje sigurnosnih mjera i nadzora	Ozljede, nesreće na radu, prekid i kazne	Cijelo gradilište	Zdravlje i sigurnost	Glavni izvođač, Gradilišni inženjer
R-006	Mehanička oprema	Kvarovi ili zastoji građevinskih strojeva i opreme	Povećani troškovi zamjene i zastaja	Dizalice, rovokopači, vibrovaljci	Operativni	Glavni izvođač, Investitor
R-007	Sukobi s infrastrukturom	Sukobi s postojećim instalacijama ili neoznačene podzemne mreže	Potreba za izmjenom projekta, dodatni troškovi i kašnjenja	Urbana područja, križanja, mostovi	Infrastrukturni	Vlada, Glavni izvođač
R-008	Regulatorni nadzor	Utvrđene nepravilnosti pri inspeksijskim nadzorima	Obustava radova, obvezne korektivne mjere	Sve gradilišne zone	Pravno i usklađenost	Vlada, Gradilišni inženjer
R-009	Prekoračenje budžeta	Podcijenjeni troškovi rada, materijala ili nepredviđeni izdaci	Povećani troškovi, potreba za rebalansom proračuna	Cijeli projekt	Financijski	Investitor, Vlada
R-010	Kašnjenje izvedbe	Slaba koordinacija podizvođača, kašnjenja u inspekcijama ili odobrenjima	Produženje trajanja projekta, dodatni troškovi	Stanice, elektro sustavi, radovi na pruži	Upravljanje vremenom	Voditelj projekta, Glavni izvođač

Slika 3. Tablica identifikacije rizika faze izvođenja 2/2 (Generirano pomoću GPT-4o)

Faza zatvaranja

GPT-4o upit:

‘Generiraj mi tablicu identifikacije rizika. Želim da bude usmjerena na fazu zatvaranja predviđenog infrastrukturnog (željezničkog) projekta - “Rekonstrukcija postojećeg i izgradnja drugog kolosijeka pruge Dugo Selo - Novska (M103)”.

Tablica bi trebala imati 7 stupaca: šifra, izvor rizika, uzrok/pokretač, rizik (pojava, događaj, posljedica), zahvaćeno područje, kategorija rizika i nositelj rizika.

Usredotoči se na opći rizik uzrokovan odgodom izdavanja uporabne dozvole.

- Razmotri sljedeće projektne sudionike za ovu fazu: Investitor, Regulatorna tijela...’

GPT-4o odgovor (Slika 4) (Slika 5):

Naravno. U nastavku je tablica identifikacije rizika za fazu zatvaranja projekta „Rekonstrukcija postojećeg i izgradnja drugog kolosijeka pruge Dugo Selo – Novska (M103)“, fokusirana na kašnjenje izdavanja uporabne dozvole, s uključenim relevantnim sudionicima:

Šifra	Izvor rizika	Uzrok/Pokretač	Rizik (pojava, događaj, posljedica)	Zahvaćeno područje	Kategorija rizika	Nositelj rizika
R-011	Završne inspekcije	Neusklađenost s tehničkim ili sigurnosnim standardima	Dodatni korektivni radovi uzrokuju kašnjenje primopredaje	Cjelokupna željeznička infrastruktura	Regulatorni	Investitor, Regulatorna tijela
R-012	Pogreške u dokumentaciji	Netočna, nepotpuna ili zakašnjela tehnička dokumentacija	Produženi postupak pregleda i zahtjevi za dopunom	Proces izdavanja uporabne dozvole	Administrativni	Investitor
R-013	Okolinska usklađenost	Nepoštivanje uvjeta iz okolinskih studija ili neprovedene mjere ublažavanja	Odbijanje dozvole do provedbe korekcija	Ekološki osjetljiva područja, odvodnja	Ekološki	Investitor, Regulatorna tijela

Slika 4. Tablica identifikacije rizika faze zatvaranja 1/2 (Generirano pomoću GPT-4o)

R-014	Tehničke provjere	Kašnjenje u testiranju signalizacije, elektrifikacije i sigurnosnih sustava	Izdavanje dozvole odgođeno zbog neriješenih tehničkih pitanja	Signalni sustavi, elektroinstalacije, trasa	Tehnički	Investitor
R-015	Sporovi s dionicima	Prigovori lokalnih vlasti ili stanovništva na utjecaj projekta	Pravne intervencije koje usporavaju završno odobrenje	Urbana naseља, krizanja, bućna područja	Socijalni i pravni	Investitor, Regulatorna tijela
R-016	Dodatni troškovi	Natnađne korekcije ili mjere za usklađivanje s propisima	Financijski pritisak, mogućnost rezanja obujma projekta	Završni radovi, planiranje troškova	Financijski	Investitor
R-017	Upravna neefikasnost	Spori birokratski procesi kod izdavanja dozvole	Višemesečno čekanje na uporabnu dozvolu	Cijela željeznićka mreža	Birokratski	Regulatorna tijela

Slika 5. Tablica identifikacije rizika faze zatvaranja 2/2 (Generirano pomoću GPT-4o)

4 Diskusija

Rezultati ove studije ukazuju na to da GPT-4o ima znaćajan kapacitet za brzo prepoznavanje velikog broja ključnih rizika u infrastrukturnim projektima. Identificirani rizici, uključujući kašnjenja u opskrbnim lancima, nedostatak kvalificirane radne snage te sigurnosni incidenti na gradilištu, uvelike se podudaraju s onima koje bi detektirali i iskusni stručnjaci [4].

UI je pokazala izrazitu prednost u obuhvatu analize, jer ne ostaje ogranićena samo na najćešće poznate rizike, što je ćesto slabost kod ljudskih timova. Ipak, njezin glavni nedostatak leži u nedovoljnom razumijevanju konteksta, što joj onemogućuje uočavanje lokalno specifićnih prijetnji koje nisu jasno navedene u dostupnoj dokumentaciji [13]. Istovremeno, UI pristupa analizi nepristrano i ne pokazuje tendenciju podćenjivanja neugodnih ili nepopularnih scenarija, što je ćesta pojava kod ljudi [14]. S druge strane, bez dodatnih informacija moće uključiti generićke ili manje relevantne prijetnje.

Kada je rijeć o procjeni prioriteta rizika, koja zahtijeva subjektivnu prosudbu i poznavanje šireg konteksta, ljudski faktor i dalje igra ključnu ulogu. Iako UI moće pomoći u kvantitativnim procjenama, konaćne odluke ovise o iskustvu i stručnom uvidu [13].

Najveći potencijal UI pokazuje kada djeluje kao podrška ljudskim timovima. U takvom kombiniranom pristupu umjetna inteligencija omogućuje brzu i široku identifikaciju rizika, dok stručnjaci pružaju procjenu izvedivosti, donose odluke i definiraju konkretne mjere. UI može poslužiti kao osnova za izradu početnog registra rizika, koji se zatim dodatno obrađuje i prilagođava specifičnostima projekta [4]. U slučaju projekta Dugo Selo – Novska, većina identificiranih prijetnji bila bi prepoznata i od strane stručnjaka, dok bi oni dodatno uočili lokalne rizike koji nisu dokumentirani, ali proizlaze iz konteksta.

Ovakav pristup potvrđuju i nedavna istraživanja [15, 16, 17], koja naglašavaju vrijednost UI u planiranju, sigurnosnom nadzoru i upravljanju resursima. No, upravljanje timom, donošenje odluka, komunikacija sa dionicima i provedba mjera i dalje su područja u kojima ljudska uloga ostaje nezamjenjiva.

5 Zaključak

U ovom radu predstavljen je pristup upravljanju rizicima u infrastrukturnim projektima koji se temelji na primjeni modela GPT-4o, u potpunosti usklađenog s PM² metodologijom. Model je analizirao tehničku dokumentaciju i uspješno prepoznao rizike unutar odabranih faza projekta, pri čemu su rezultati prikazani u jasno strukturiranom formatu s informacijama o uzrocima, mogućim posljedicama i pogođenim područjima.

Usporedba s procjenama stručnjaka pokazala je da GPT-4o može identificirati širi raspon rizika, ali mu nedostaje sposobnost donošenja kontekstualno osjetljivih odluka, što ostaje u domeni ljudske prosudbe [4, 13].

UI se iskazala korisnim u fazi planiranja jer omogućuje brzu generaciju početnih prijedloga, ubrzava analizu i povećava razinu dosljednosti u rezultatima. Njezina sposobnost obrade velikih količina podataka doprinosi i boljem prijenosu znanja, osobito u timovima s manjkom prethodnog iskustva [18].

Kao zaključak, može se istaknuti da integracija umjetne inteligencije i stručne ljudske ekspertize predstavlja učinkovit i održiv pristup za kvalitetno upravljanje rizicima u tehnički zahtjevnim infrastrukturnim projektima.

Literatura

- [1] Pejić, M.S., Terzić, M., Stanojević, D., Peško, I., i Mučenski, V.: Improving construction projects and reducing risk by using artificial intelligence, *Social Informatics Journal*, 2(1), pp. 33–40, 2023.
- [2] vić, I. i Cerić, A.: Risks Caused by Information Asymmetry in Construction Projects: A Systematic Literature Review, *Sustainability*, 15(13), pp. 9979, 2023.

- [3] Lovrenčić Butković, L.: A new framework for ranking Critical Success Factors for International Construction Projects, *Organization, Technology and Management in Construction*, 13, pp. 2505–2520, 2021.
- [4] Nyqvist, R., Peltokorpi, A., i Seppänen, O.: Can ChatGPT exceed humans in construction project risk management?, *Engineering, Construction and Architectural Management*. Advance online publication, 2023.
- [5] Reddy, A. S.: Risk Management in Construction Industry - A Case Study, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(10), 10058, 2015.
- [6] Liao, C., Aminudin, E., Mohd, S., i Yap, L. S.: Intelligent risk management in construction projects: Systematic literature review, *IEEE Access*, 10, 72936–72954, 2022.
- [7] Afzal, F., Shao, Y., Nazir, M., i Bhatti, S. M.: A review of artificial intelligence-based risk assessment methods for capturing complexity-risk interdependencies: Cost overrun in construction projects, *International Journal of Managing Projects in Business*, 14(2), pp. 300–328, 2019.
- [8] Abioye, S.O., Oyedele, L.O., Akanbi, L., Ajayi, A., Delgado, J.M.D., Bilal, M., Akinade, O.O., i Ahmed, A.: Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges, *Journal of Building Engineering*, 44, 103299, 2021.
- [9] Korke, P., Gobinath, R., Shewale, M., i Khartode, B.: Role of Artificial Intelligence in Construction Project Management, *International Journal of Construction Management and Research*, 18(3), pp. 75–92, 2023.
- [10] Pan, Y., i Zhang, L.: Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*, 122, 103517, 2021.
- [11] EOJN RH: Radovi na rekonstrukciji postojećeg i izgradnji drugog kolosijeka željezničke pruge Dugo Selo – Novska, Dostupno na: <https://eojn.hr/tender-eo/30943> (Pristupljeno: 26 Travnja 2025).
- [12] European Commission: PM² Project Management Methodology v3.1, Dostupno na: https://pm2.europa.eu/pm2-methodologies/pm2-project-management_en (Pristupljeno: 29 Travnja 2025).
- [13] Aladağ, H.: Assessing the Accuracy of ChatGPT Use for Risk Management in Construction Projects, *Sustainability*, 15(22), pp. 16071, 2023.
- [14] Emmons, D.L., Mazzuchi, T.A., Sarkani, S., i Larsen, C.E.: Mitigating Cognitive Biases in Risk Identification: Practitioner Checklist for the Aerospace Sector, *Defense Acquisition Research Journal*, 25(1), pp. 52–93, 2018.

- [15] Regona, M., Yigitcanlar, T., Xia, B., i Li, R. Y. M.: Opportunities and adoption challenges of AI in the construction industry: A PRISMA review, *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1), pp. 45, 2022.
- [16] Chen, K., Zhou, X., Bao, Z., Skibniewski, M. J., i Fang, W.: Artificial intelligence in infrastructure construction: A critical review, *Frontiers of Engineering Management*, 12, pp. 24–38, 2024.
- [17] Jiang, C., Li, X., Lin, J.-R., Liu, M., i Ma, Z.: Adaptive control of resource flow to optimize construction work and cash flow via online deep reinforcement learning, *arXiv preprint arXiv:2307.10574*, 2023.
- [18] Costa, R. L., Dias, Á. L., Gonçalves, R., Pereira, L., i Abreu, S.: Artificial intelligence in project management: A systematic literature review, *International Journal of Technology Intelligence and Planning*, 13(2), pp. 143–163, 2022.