

Primljen / Received: 29.5.2025.

Ispravljen / Corrected: 7.7.2025.

Prihvaćen / Accepted: 21.7.2025.

Dostupno online / Available online: 10.1.2026.

Dubinska bibliometrijska analiza procjene rizika na radu u građevinarstvu

Autori:

Dr.sc. **Wei Rui Lei**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Kebangsaan Malezija, Malezija

Fakultet strojarstva i izgrađenog okoliša

Odjel za građevinarstvo

p136929@siswa.ukm.edu.myIzv.prof.dr.sc. **Muhamad Azry Khoiry**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Kebangsaan Malezija, Malezija

Fakultet strojarstva i izgrađenog okoliša

Odjel za građevinarstvo

Istraživački centar pametnog i održivog naselja

azrykhoiry@ukm.edu.my

Autor za korespondenciju

Izv.prof.dr.sc. **Azrul A Mutalib**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Kebangsaan Malezija, Malezija

Fakultet strojarstva i izgrađenog okoliša

Odjel za građevinarstvo

Istraživački centar pametnog i održivog naselja

azrulaam@ukm.edu.my

Pregledni rad

Wei Rui Lei, Muhamad Azry Khoiry, Azrul A Mutalib

Dubinska bibliometrijska analiza procjene rizika na radu u građevinarstvu

S ubrzanjem urbanizacije problemi sigurnosti u građevinarstvu sve su učestaliji. Znanstvene i praktične procjene rizika imaju ključnu ulogu u kvantificiranju sigurnosnih rizika i promicanju održivog i dugoročnog razvoja građevinske industrije. Ovaj rad primjenjuje bibliometrijski pristup analizi 322 publikacije o procjeni rizika na radu u građevinarstvu objavljene tijekom proteklog desetljeća, prikupljene iz baze podataka Web of Science (WoS). Primjenom softvera CiteSpace (6.2. R3) za bibliometrijsku analizu studija nudi panoramski pregled istraživanja u području procjene rizika na radu u građevinarstvu. Također se istražuju evolucijski trendovi i postojeće praznine u istraživanju, otkrivajući nedostatke u području procjene sigurnosti i potencijalne smjerove razvoja. Ovaj rad sugerira sve veće težište na primjeni proširene stvarnosti (XR), rudarenja podataka, senzora interneta stvari (IoT), dronova i informacijskog modeliranja gradnje (BIM) te na uključivanje više dionika u istraživanje i primjenu procjene rizika na radu. Ovi nalazi pružaju uvide vrijedne za znanstvene menadžere, donositelje politika i istraživače, olakšavajući donošenje odluka, optimiranje raspodjele resursa i ubrzanje napretka discipline.

Ključne riječi:

procjena rizika na radu u građevinarstvu, analiza CiteSpace, modeliranje informacija o zgradama (BIM), proširena stvarnost (XR), rudarenje podataka

Subject review

Wei Rui Lei, Muhamad Azry Khoiry, Azrul A Mutalib

In-depth bibliometric analysis of construction safety risk evaluation

Scientific and practical risk evaluations play a vital role in quantifying safety risks and promoting the sustainable, long-term development of the construction industry. This paper adopted a bibliometric approach to analyse 322 publications on construction safety risk evaluation published over the past decade, as retrieved from the Web of Science (WoS) database. Using CiteSpace (6.2. R3) for bibliometric analysis, this study presents a panoramic view of the research status in the field of construction safety risk evaluation. It also explores evolutionary trends and existing research gaps, uncovering deficiencies in the field of safety assessment and potential directions for development. This paper suggests a growing emphasis on the application of extended reality (XR), data mining, Internet of Things (IoT) sensors, drones, and building information modelling (BIM), as well as the involvement of multiple stakeholders in the research and application of safety risk evaluation. These findings provide valuable insights for scientific research managers, policymakers, and scholars in this field, ultimately facilitating decision-making, optimising resource allocation, and accelerating the advancement of the discipline.

Key words:

construction safety risk evaluation, CiteSpace analysis, building information modelling (BIM), extended reality (XR), data mining

1. Uvod

Pod utjecajem brze urbanizacije ruralnih područja, demografskog rasta i promjene strukture kućanstava, zajedno s naporima koji se ulažu u poticanje gospodarskog razvoja kroz urbanu obnovu i proširenje infrastrukture, izgradnja stambenih objekata znatno je ubrzana, posebno visokih stambenih zgrada. Iako je građevinska industrija znatno doprinijela brzome rastu BDP-a, istodobno je donijela ozbiljne sigurnosne izazove. Prema Upravi za sigurnost i zdravlje na radu (OSHA), 20,5 % svih smrtonosnih nesreća na radnome mjestu događa se na gradilištima [1]. Zbog učestalosti nesreće u građevinarstvu nazivaju se fatalnom četvorkom, jer se događaju češće od drugih nesreća. Fatalna četvorka, koju je identificirala OSHA, uključuje padove, električni udar, udarce objekta i opasnosti prignječenja [2]. Također, mnoge studije otkrile su da su najčešći tipovi nesreća na gradilištima padovi i urušavanja [3].

Procjena rizika jest proces identificiranja, analize i evaluacije potencijalnih rizika u cilju pružanja osnove za donošenje odluka kako bi se učinkovito upravljalo rizicima i smanjila njihova opasnost [4]. Uobičajene metode procjene rizika uključuju kvalitativnu procjenu (npr. sigurnosni kontrolni popisi i metode *brainstorminga*), kvantitativnu procjenu (npr. analiza vjerojatnosti i simulacijske metode) te sveobuhvatnu procjenu (npr. *fuzzy* sveobuhvatna evaluacija i analitički hijerarhijski proces). Te metode mogu se fleksibilno odabrati i primijeniti prema specifičnim situacijama [5–7]. Trenutačno je upravljanje sigurnosnim rizicima u građevinarstvu izazovno.

Kao što je to prikazano na slici 1., Kina je u razdoblju od 2017. do 2024. zabilježila 5301 smrtonosnu nesreću povezanu s građevinarstvom, pri čemu je život izgubilo 6012 osoba. Iako je broj smrtonosnih nesreća smanjen u posljednje tri godine, apsolutni broj nesreća i dalje je visok, što upućuje na to da upravljanje sigurnosnim rizicima u građevinarstvu ostaje izazovno. Zato je procjena rizika na radu u građevinarstvu prijeko potrebna.

Teško je odrediti koja je metoda, kvalitativna ili kvantitativna, superiornija za procjenu rizika. Zato je ključno pregledati članke o metodama procjene rizika na radu u građevinarstvu objavljene tijekom proteklog desetljeća kako bi se istražila

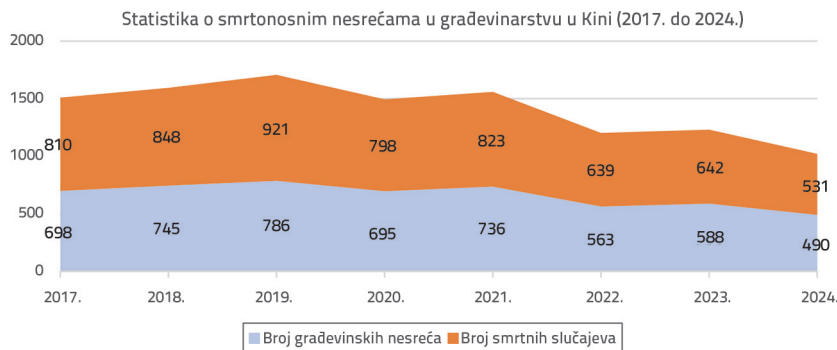
trenutačna istraživanja i budući trendovi. Neki su znanstvenici saželi metode višekriterijskog odlučivanja (engl. *Multiple-Criteria Decision-Making* - MCDM) za procjenu rizika na radu, dok su drugi istraživali primjenu *fuzzy* metoda i analitičkoga hijerarhijskog procesa u procjeni sigurnosti građevinarstva kroz sustavne pregledne analize literature objavljene između 2005. i 2017. Primjena sustavnih nedinamičkih modela u procjeni rizika sigurnosti u građevinarstvu također je pregledana. Neki istraživači konstruirali su sustave indeksa za procjenu rizika od požara prilagođene visokim zgradama tijekom izgradnje. U tome sustavu primjenjuje se teorija neodređenih mjerenja kako bi se stvorio model procjene rizika od požara, posebno za visoke zgrade. Međutim, malo je istraživača objektivno ocijenilo literaturu o sigurnosnim rizicima u građevinarstvu i koristilo velike uzorke kako bi se izbjegla subjektivna procjena.

Bibliometrijska analiza jest istraživačka metoda temeljena na kvantitativnim karakteristikama i unutarnjim vezama. Statistička analiza bibliometrijskih indikatora, kao što su to autori, institucije, ključne riječi i frekvencija citiranja, akademskih radova, patenata, knjiga i druge literature otkriva trendove razvoja, istraživačke žarišne točke i granice istraživanja disciplina [8]. Ta se metoda široko primjenjuje u područjima poput znanosti o znanosti (*scientometrics*), bibliotekarstva i znanosti o informacijama. Na temelju objektivnih podataka studija pruža dokaze za evaluaciju znanstvenog istraživanja, planiranje disciplina i podršku donošenju odluka. U bibliometrijskim analizama često se koriste softveri poput *CiteSpacea*, *VOSviewera* i *BibExcelsa*, koji mogu učinkovito obraditi podatke iz literature i generirati vizualizacije, pomažući istraživačima da brzo razumiju ključni sadržaj i kontekst razvoja istraživačkog polja.

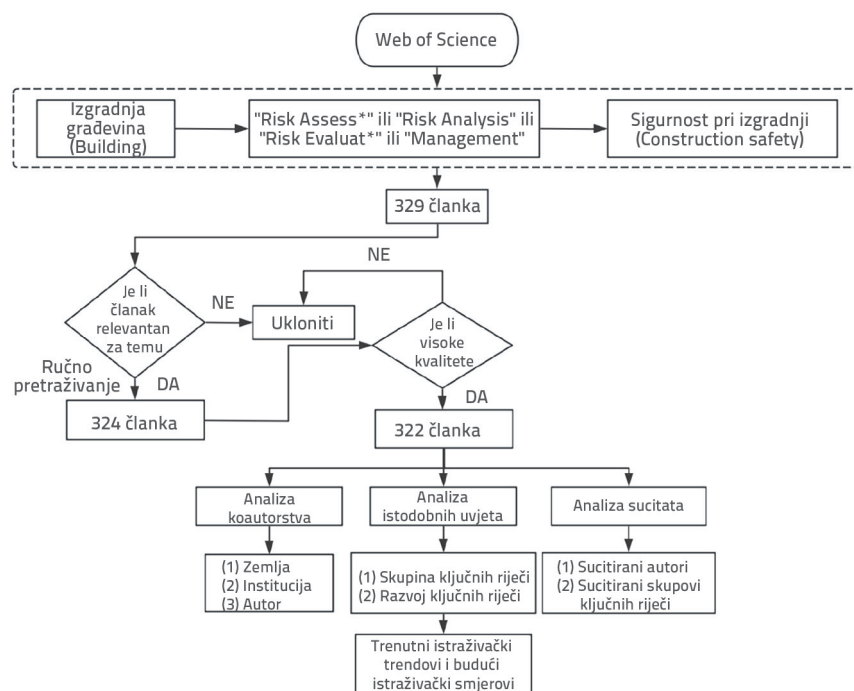
U prvome odjeljku opisana je važnost istraživanja, uključujući inovacije rada i njegovu potrebu, a u drugome opisani su koraci u istraživanju, uključujući odabir softvera i baza podataka te pretraživanje i analizu relevantne literature. Rezultati analiza suradnje autora, kotermina i kocitiranja prikazani su u trećemu odjeljku. U četvrtome odjeljku raspravlja se o evoluciji ključnih riječi (2014. – 2024.) u tome području, a u petome odjeljku iznesen je sažetak glavnih nalaza, budućih smjerova istraživanja i ograničenja.

2. Metodologija istraživanja

U ovome poglavlju sustavno se raspravlja o sadržaju i procesima istraživanja. Studija je provedena kvantitativnom analizom, pri čemu je analiza baza podataka provedena bibliometrijskim metodama. Bibliometrijsko istraživanje baze podataka uključuje tipične analize koterma i kocitiranja. Na temelju analiza suradnje autora, koterma i kocitiranja cilj je ovog rada pomoći istraživačima u kvantitativnoj procjeni rizika povezanih s područjem sigurnosti u građevinarstvu



Slika 1. Statistika smrtonosnih nesreća u građevinarstvu u Kini (2017. – 2024.; izvor podataka: javna uslužna platforma Nacionalna informacijska platforma za nadzor kvalitete i sigurnost inženjerskih projekata)



Slika 2. Shema metodologije istraživanja

te pružiti podršku za bolje razumijevanje trenutačnih metoda procjene sigurnosnih rizika i novih istraživačkih žarišnih točaka. Kao što je to prikazano na slici 2., analize suradnje autora provedene su iz makroperspektive prema mikroperspektivi, uključujući analize po državama, institucijama i autorima. Analiza koterma uključuje analizu ključnih riječi i evoluciju ključnih riječi. Konačno, analiza kocitiranja uključuje kocitirane autore, nagle poraste citiranja autora te analize kocitirane literature.

2.1. Odabir računalnog programa

Analitički računalni program *CiteSpace* razvili su prof. Chaomei Chen i njegov tim na Drexel University u Sjedinjenim Američkim Državama [9]. Taj je računalni program posebno dizajniran za bibliometrijsku analizu i posjeduje razne snažne funkcije. Omogućuje vizualizaciju velike količine literature, pomažući istraživačima da intuitivno prikažu strukturu znanstvenog znanja, istraživačka žarišta i evolucijske trendove. *CiteSpace* ima nekoliko prednosti u odnosu na *VOSviewer*. Posebno je učinkovit u praćenju konteksta razvoja disciplina. Zahvaljujući moćnoj funkciji analize citiranja, može precizno izraditi kartu evolucije istraživačkih žarišta kroz vrijeme, jasno prikazujući nasljeđivanje i skokove u razvoju znanja te omogućujući istraživačima da intuitivno uoče ključne prekretnice i smjerove razvoja disciplina [9]. Osim toga pri radu s dugotrajnim i složenim podacima o literaturi u određenim područjima *CiteSpace* učinkovito identificira utjecajnu literaturu koja čini ključne čvorove, pružajući snažnu podršku za dubinsko istraživanje. U većini prethodnih studija za bibliometrijske analize primjenjivao se *VOSviewer*, dok je *CiteSpace* u području sigurnosnih rizika u građevinarstvu

korišten rijetko. Zato ova studija nastoji popuniti tu prazninu primjenom računalnog programa *CiteSpace* za aktualnu bibliometrijsku analizu procjene sigurnosnih rizika u građevinarstvu.

2.2. Odabir baze podataka i pregled članaka

Web of Science (WoS), globalno priznata sveobuhvatna akademska platforma za informacije, prikupila je bogatu i kvalitetnu akademsku literaturu iz brojnih disciplinarnih područja. Oslanjajući se na snažnu funkciju indeksa citiranja, znanstvenici su prikazali složenu mrežu citatnih odnosa u literaturi, što predstavlja važan izvor podataka za dubinsko akademsko istraživanje. Kombinacija WoS-a i *CiteSpacea* za bibliometrijsku analizu literature nudi mnoge znatne prednosti. WoS osigurava masivnu i autoritativnu bazu podataka, čime se jamče sveobuhvatnost i

pouzdanost analize. Međutim, različitim vizualnim prikazima poput karata mreže kocitiranja i karata mreže koriječi *CiteSpace* intuitivno prikazuje strukturu znanja, evoluciju istraživačkih žarišta i ključnu literaturu unutar istraživačkog područja. To istraživačima pomaže da brzo shvate kontekst istraživanja, trendove i potencijalne smjerove daljnjih istraživanja.

Naprimjer, u području arhitekture pri istraživanju sintagme "tehnologija energetske učinkovitosti zelenih zgrada" istraživači su za pronalazak relevantne literature prvo koristili WoS i prikupili velike količine podataka o tehnologijama energetske učinkovitosti. Zatim su pomoću *CiteSpacea* za kocitacijsku analizu otkrili da je niz radova koje je objavio Kibert bio često citiran u brojnim studijama, čime je uspostavljen ključni čvor znanja u tome području [10]. To upućuje na važnu ulogu Kiberta u teorijskoj konstrukciji zdravlja i sigurnosti [10]. U međuvremenu analiza koriječi otkrila je visokofrekventne termine koji se često pojavljuju zajedno poput "osobna zaštitna oprema (PPE)" i "sustavi prevencije padova", što pokazuje da oni predstavljaju trenutačno istraživačko žarište u području zdravlja i sigurnosti u građevinarstvu.

Ova studija ispituje znanstvene članke o sigurnosti pri izgradnji građevina. Literatura je ručno pregleda uz korištenje baze podataka WoS. Upit za pretraživanje formuliran je na sljedeći način: (TS = "Building*" AND TS = ("Risk Assess*" OR "Risk Analysis" OR "Risk Evaluat*" OR "Management") AND TS = "Construction Safety"). Kako bi se uključila najnovija istraživanja, razmatrani su samo radovi objavljeni između 2014. i 2024. U početku je pregledano ukupno 329 članaka. Međutim, budući da formula pretraživanja nije u cijelosti ili precizno obuhvatila sve relevantne studije, pet članaka nepovezanih s temom rada

Tablica 1. Glavni časopisi u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Br.	Časopis	Broj radova	Postotak
1.	Buildings	26	7,90 %
2.	Safety Science	25	7,60 %
3.	Automation in Construction	23	6,99 %
4.	Engineering Construction and Architectural Management	18	5,47 %
5.	Journal of Construction Engineering and Management	17	5,17 %
6.	Sustainability	15	4,56 %
7.	Applied Sciences Basel	7	2,13 %
8.	International Journal of Construction Management	7	2,13 %
9.	International Journal of Occupational Safety and Ergonomics	7	2,13 %
10.	Journal of Civil Engineering and Management	7	2,13 %
11.	Construction Innovation England	6	1,82 %
12.	Advances in Civil Engineering	5	1,52 %
13.	International Journal of Environmental Research and Public Health	5	1,52 %
14.	Journal of Information Technology in Construction	5	1,52 %
15.	Procedia Engineering	5	1,52 %

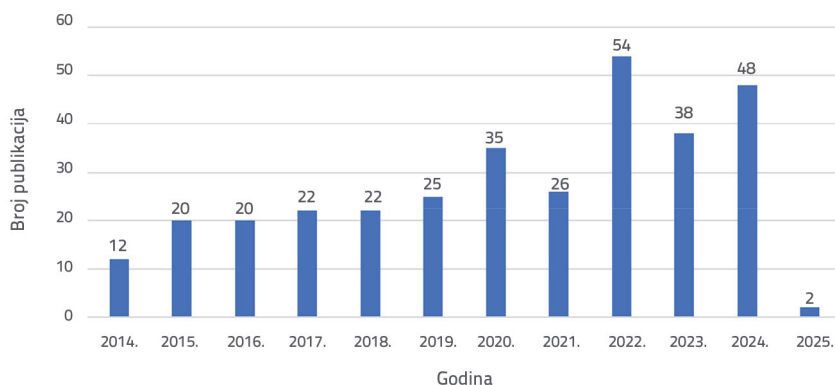
isključeno je ručno. Bibliometrijska analiza literature uvelike ovisi o točnim podacima, uključujući imena autora, naslove publikacija, sažetke, godine objave i podatke o citiranju. Ako neki ključni podaci nedostaju, nisu potpuni ili su pogrešno formatirani u WoS izlazu, bibliometrijski računalni program može naići na pogreške ili ne uspjeti obraditi podatke učinkovito. Kako bi se održala kvaliteta podataka, dodatno su ručno uklonjena dva članka s nepotpunim informacijama. Tako su u daljnjju bibliometrijsku analizu uključena 322 članka.

3. Rezultati i rasprava

3.1. Pregled odabranih publikacija

3.1.1. Prosječan godišnji broj publikacija

Od 2014. do 2024. broj objavljenih radova o istraživanju sigurnosti u građevinarstvu pokazao je opći porast, a posebno ubrzan porast bio je nakon 2020., kao što je prikazano na slici



Slika 3. Broj publikacija po godini na temu procjene rizika na radu u građevinarstvu

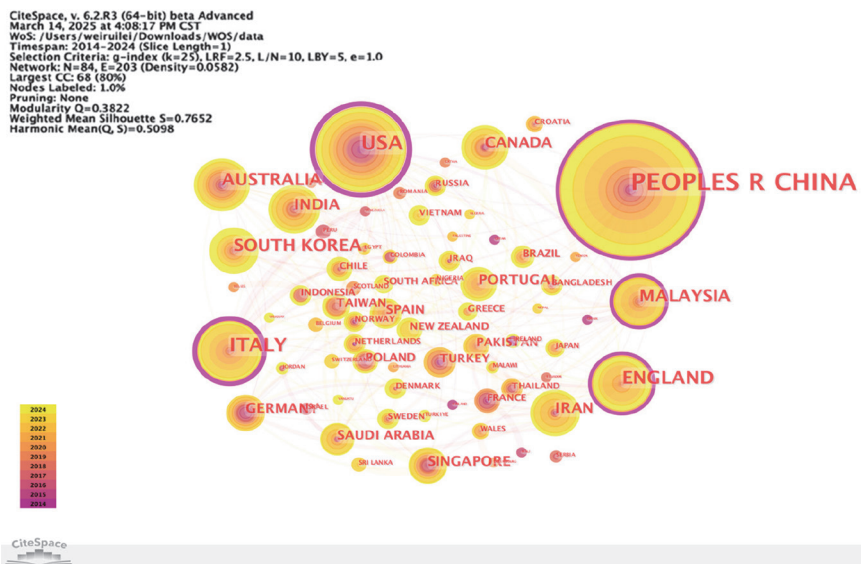
3. Broj publikacija dosegnuo je vrhunac 2022. (54 rada), nakon čega je uslijedila manja fluktuacija. Unatoč tome, zanimanje za istraživanje ostalo je na visokoj razini. Iako je opći trend bio uzlazan, u 2021. i 2023. bio je zabilježen blagi pad, što je moguća posljedica promjena u fokusu istraživanja, prilagodbi politika ili neočekivanih događaja (npr. pandemija COVID-19).

3.1.2. Glavni izvori

S aspekta opsega publikacija (tablica 1.) tri vodeća časopisa (*Buildings*, *Safety Science* i *Automation in Construction*) zajedno su objavila više od 22 % ukupnog broja publikacija (26, 25 i 23 rada). Ti časopisi smatraju se visokokvalitetnima i utjecajnim. Časopisi rangirani od 4. do 6. mjesta imali su manji broj publikacija, ali i dalje predstavljaju važne kanale za istraživanja o sigurnosti u građevinarstvu. Osim toga, drugi časopisi, iako s manje publikacija, pokrivaju srodna područja poput zaštite na radu, zaštite zdravlja i informacijskih tehnologija. To pokazuje da su rezultati istraživanja u području sigurnosti u građevinarstvu ponajprije objavljivani u visokokvalitetnim ključnim časopisima. Istraživači bi trebali prioritetno pratiti najnovija dostignuća u vodećim publikacijama.

3.2. Analiza suradnje autora

Analiza suradnje autora ponajprije se primjenjuje za proučavanje akademskih mreža suradnje i analizu odnosa između autora, institucija ili zemalja. Obično uključuje analizu suradnje među autorima, institucijama i zemljama. Alati poput *CiteSpacea* mogu se koristiti



Slika 4. Mreža suradnje među zemljama u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

za stvaranje mreža suradnje među autorima, institucijama ili zemljama. Cilj je identificirati ključne autore, važne institucije i glavne zemlje u istraživačkom području, pružajući referencu istraživačima koji traže potencijalne suradnike.

3.2.1. Analiza suradnje među zemljama

Analize suradnje među zemljama omogućuju identifikaciju glavnih istraživačkih zemalja ili regija. Cilj je te analize proučiti akademske suradničke odnose među različitim zemljama ili regijama te identificirati one koje imaju znatan utjecaj u određenome istraživačkom području [11]. Na slici 4. prikazana je mreža od 84 čvora i 203 veze, koja uključuje zemlje koje najviše doprinose području ovog istraživanja. U dijagramu mreže čvorovi predstavljaju različite

zemlje, a veličina svakog čvora proporcionalna je broju publikacija iz svake zemlje. Vanjski ljubičasti krug odražava snagu središnjosti. Kina ima najviše publikacija, nakon čega slijede Sjedinjene Američke Države, Italija, Engleska i Australija. U Kini objavljene su 204 studije, znatno više od onih objavljenih u SAD-u, koje su na drugome mjestu. Središnjost posredovanja (*mediation centrality*) mjeri važnost čvora u mreži kao posrednika ili mosta između drugih čvorova. SAD pokazuje najveću središnjost, a slijede Italija, Ujedinjeno Kraljevstvo, Kina i Malezija. Te zemlje spadaju među najbolje u smislu međunarodne suradnje.

U tablicama 2. i 3. prikazane su informacije o deset vodećih zemalja

prema središnjosti i učestalosti istraživanja procjene sigurnosti u građevinarstvu. Kao što je to prikazano u tablici 2., većinu vodećih zemalja čine razvijene zemlje ili zemlje u razvoju poput SAD-a, Italije, Engleske, Kine, Malezije, Saudijske Arabije i Singapura. Te zemlje obično imaju relativno visok stupanj gospodarskog razvoja te razvijena građevinska tržišta i infrastrukturu. Zato u tim zemljama postoji obilje podataka i primjera koji se koriste u istraživanjima procjene rizika u građevinarstvu.

Zemlje koje doprinose istraživanju globalno su raspoređene u više regija, uključujući Sjevernu Ameriku (SAD i Kanada), Europu (Italija i Ujedinjeno Kraljevstvo) i Aziju (Kina, Malezija, Saudijska Arabija, Singapur, Južna Koreja, Iran i Vijetnam). To upućuje na to da istraživanje procjene rizika u građevinarstvu ima veliko globalno značenje te da zemlje u različitim regijama provode relevantna istraživanja.

Tablica 2. Top 10 zemalja po središnjosti u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Br..	Zemlja	Središnjost
1.	SAD	0,5
2.	Italija	0,25
3.	Engleska	0,16
4.	Kina	0,13
5.	Malezija	0,1
6.	Saudijska Arabija	0,09
7.	Singapur	0,08
8.	Vijetnam	0,08
9.	Južna Koreja	0,07
10.	Iran	0,07

Tablica 3. Top 10 zemalja po učestalosti istraživanja procjene rizika na radu u građevinarstvu

Br.	Zemlja	Učestalost
1.	Kina	204
2.	SAD	89
3.	Italija	58
4.	Engleska	44
5.	Australija	38
6.	Malezija	36
7.	Južna Koreja	34
8.	Indija	24
9.	Iran	23
10.	Kanada	22

3.2.2. Analiza suradnje među autorima

Cilj je analize suradnje među autorima bibliometrijskim metodom otkriti odnose suradnje u istraživanju, istražiti putove širenja i prijenosa znanja te procijeniti utjecaj istraživanja [12]. Analiza suradnje među autorima pomaže identificirati ključne autore odnosno čvorove koji igraju važnu ulogu u promicanju široke razmjene i širenja znanja unutar discipline. Mreža suradnje među autorima prikazana je na slici 5. Prag te mreže postavljen je na dva, a mreža se sastoji od 326 čvorova i 201 veze, pri čemu veličina čvorova prikazuje učestalost objavljivanja svakog autora, dok linije između čvorova označavaju suradničke odnose među autorima.

U području procjene rizika u građevinarstvu postoji nekoliko suradničkih skupina koncentriranih oko Patricka Manua i Hamidreze Abbasianjahromija. Mnoge su skupine iz Kine, uključujući Li Huimin, Li Heng, Tian Wei, Zhang Sijie i druge. Neke skupine su iz drugih zemalja kao što je ona koju čine Idris Othman, Mirosław Skibniewski, Clara Man Cheung i Rafiq Choudhry. Oni su ključne figure u području zaštite na radu u građevinarstvu i proveli su dubinska istraživanja u tome području.

Dvadeset najproduktivnijih autora prema učestalosti objavljenih članaka u području zaštite na radu u građevinarstvu prikazano je u tablici 4. Najproduktivniji autori su Li Huimin, Idris Othman i Mirosław J. Skibniewski, svaki s pet objavljenih radova o zaštiti na radu u građevinarstvu u WoS-u. Slijede Li Heng i Clara Man Cheung s po četiri članka. Ostali autori objavili su po tri članka. Svi oni imaju ključnu ulogu u ovome području istraživanja, pokazujući svoju predanost ovome području studija.

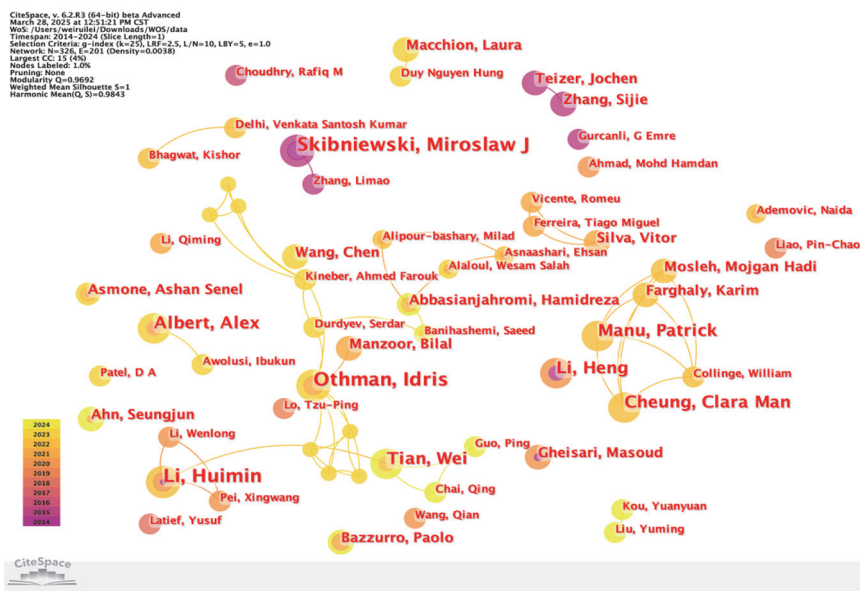
Tablica 4. Dvadeset najtjecajnijih autora prema učestalosti u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Br.	Autori	Učestalost
1.	Li, Huimin	5
2.	Othman, Idris	5
3.	Skibniewski, Mirosław J	5
4.	Li, Heng	4
5.	Cheung, Clara Man	4
6.	Albert, Alex	4
7.	Manu, Patrick	4
8.	Tian, Wei	4
9.	Macchion, Laura	3
10.	Mosleh, Mojgan Hadi	3
11.	Manzoor, Bilal	3
12.	Abbasianjahromi, Hamidreza	3
13.	Zhang, Sijie	3
14.	Silva, Vitor	3
15.	Wang, Chen	3
16.	Ahn, Seungjun	3
17.	Teizer, Jochen	3
18.	Asmone, Ashan Senel	3
19.	Farghaly, Karim	3
20.	Gheisari, Masoud	3

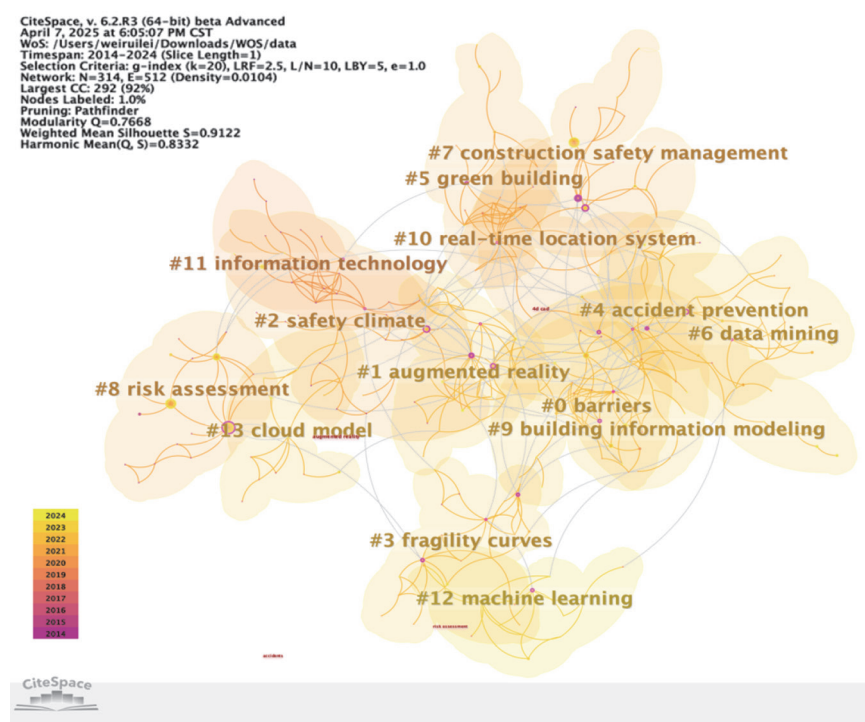
3.3. Analiza kotermina

3.3.1. Analiza klastera ključnih riječi

Ključne riječi mogu točno sažeti osnovni sadržaj literature, olakšavajući pretraživanje, klasifikaciju i filtriranje, čime se poboljšavaju učinkovitost i relevantnost pretraživanja. Evolucija ključnih riječi ne samo da odražava osnovni smjer razvoja discipline, već pruža empirijske dokaze znanstvenicima za identifikaciju suvremenih tema i optimiranje istraživačkih strategija [13]. Na slici 6. prikazan je grafikon klasterizacije ključnih riječi izrađen u programu *CiteSpace*. Postoji 314 čvorova i 512 veza koji predstavljaju trenutačne istraživačke teme. Klaster #0 povezan je s barijerama, što se odnosi na prepreke u provedbi upravljanja rizicima (RM) na gradilištima [14], uključujući nedostatak svijesti, ograničenu stručnost [15, 16], složenost analitičkih alata i percepciju nedostatka koristi [17].



Slika 5. Mreža suradnje među autorima u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu



Slika 6. Klasterizacija ključnih riječi u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Klaster #1 povezan je s proširenom stvarnošću (AR). Ramos-Hurtado i sur. [18] usporedili su ključne pokazatelje uspješnosti (engl. *key performance indicator* - KPI) između trenutne inspekcije i one predložene s AR-om. KPI jest pokazatelj koji mjeri uspješnost organizacije u postizanju unaprijed određenih ciljeva. Tipični KPI-ovi za sigurnost u građevinarstvu uključuju učestalost nesreća, završetak obuke o sigurnosti i usklađenost s osobnom zaštitnom opremom (PPE). Li i sur. [19] istaknuli su važnost povezivanja podataka s AR uređaja s drugim alatima. Klaster #2 povezan je s klimom sigurnosti, što se odnosi na zajedničke percepcije i stavove zaposlenika u pogledu važnosti sigurnosti. Li i sur. [20] istražili su dimenzije klime sigurnosti (SCD) i indikatore klime sigurnosti (SCI) te utvrdili da su procedure i politike sigurnosti, suradnja među kolegama i ponašanje nadzornika bila tri najvažnija SCI-ja u Kini. Klaster #3 odnosi se na krivulje lomljivosti, koje igraju ključnu ulogu u kvantificiranju vjerojatnosti oštećenja ili kvara konstrukcija pod različitim uvjetima opasnosti. Khalfan i sur. [21] istaknuli su mogućnost korištenja seizmičkih podataka tla za izradu empirijskih krivulja lomljivosti za neprojektirane zgrade. Klaster #4 povezan je s prevencijom nesreća. Rahayu [22] predložio je kvantitativnu metodu procjene rizika na radu u građevinarstvu temeljenu na tri indeksa: vjerojatnosti, posljedicama i izloženosti. Tehničke izazove u prevenciji opasnosti u građevinarstvu putem dizajna (CHPTD) riješio je razvojem dodataka koji integriraju BIM s podacima o sigurnosnim rizicima u *Autodesk Revitu* [22]. Klaster #5 povezan je sa zelenim zgradama. Dewlaney i sur. [23] otkrili su da su projekti certificirani po LEED standardu izložili radnike

većim sigurnosnim rizicima. Fortunato i sur. [24] istaknuli su sličnu zabrinutost, jer su radnici na LEED projektima dulje bili izloženi rizicima poput rada na visinama ili nestabilnim tlima, u blizini električne struje te teških vozila i opreme u usporedbi s tradicionalnim projektima.

Klaster #6 povezan je s rudarenjem podataka. Zbog velikog volumena i složene strukture podataka o sigurnosti tradicionalne metode upravljanja sigurnošću više nisu učinkovite. Xia i sur. [25] 2020. predložili su algoritam rudarenja podataka vizualnim tehnikama rudarenja i otkrili jasan obrazac raspodjele sigurnosnih problema tijekom procesa proizvodnje u građevinskim poduzećima, ističući važne odnose među tim problemima.

Klasteri #7 i #8 povezani su s upravljanjem sigurnošću u građevinarstvu i procjenom rizika. Procjena rizika uključuje identifikaciju, analizu i evaluaciju potencijalnih opasnosti i rizika povezanih s građevinskim aktivnostima kako bi se odredili vjerojatnost i ozbiljnost

negativnih događaja. Perlman i sur. [26] pokazali su da virtualno okruženje olakšava identifikaciju opasnosti na gradilištu.

Klaster #9 povezan je s modeliranjem informacija o zgradama (BIM). Perlman i sur. [26] razvili su dodatke koji povezuju BIM s podacima o sigurnosnim rizicima za *Autodesk Revit* i potvrdili da dodatak može brzo izračunati rizike sigurnosti za različite dizajnerske planove, pokazujući znatnu inženjersku primjenu BIM dodataka.

Klaster #10 povezan je sa sustavima praćenja lokacije u stvarnome vremenu. Arslan i sur. [27] predložili su korištenje Bluetooth BLE signala za praćenje kretanja radnika i obogaćivanje prostorno-vremenskih putanja radnika.

Klaster #11 povezan je s informacijskom tehnologijom, koja se odnosi na primjenu tehnologija za prikupljanje, obradu, analizu i dijeljenje podataka o sigurnosti u građevinarstvu. Skibniewski i sur. [28] otkrili su da je od 2004. do 2014. razvijen prototip sustava za signalizaciju potencijalnih nadzemnih opasnosti u stvarnome vremenu primjenom UWB tehnologije.

Klaster #12 povezan je sa strojnim učenjem, koje uključuje korištenje algoritama i statističkih modela za učenje iz povijesnih podataka o sigurnosti u građevinarstvu, prepoznavanje obrazaca i trendova te predviđanje i sprječavanje nesreća.

Klaster #13 jest model oblaka, što se odnosi na analizu podataka koje pohranjuje, upravljanje podacima i obradu velikih količina podataka o sigurnosti u oblaku. Zhang & Qui [29] razvili su sustav evaluacijskih indeksa i integrirali model oblaka za procjenu sigurnosti, a rezultati empirijske analize uskladili su se s rezultatima stvarnog projekta.

3.3.2. Analiza evolucije ključnih riječi

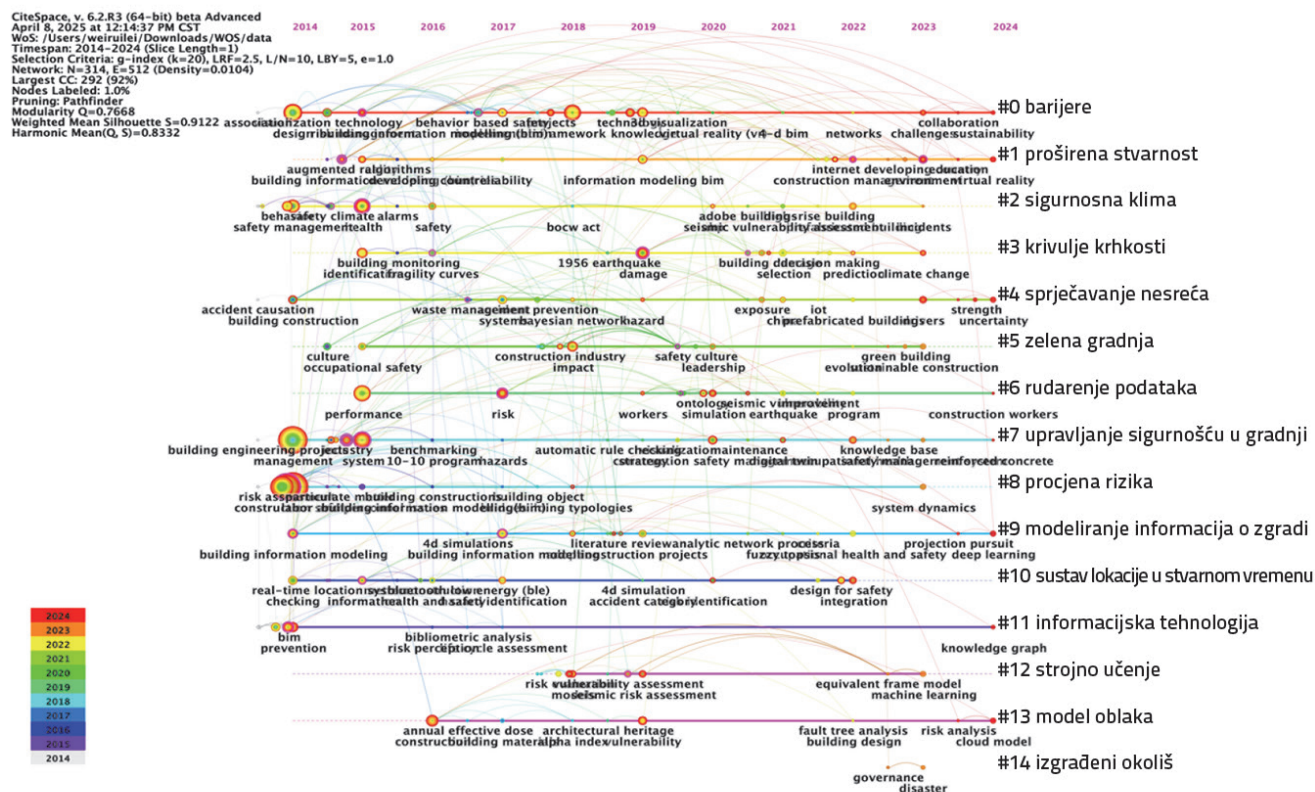
Na slici 7. prikazan je trend evolucije ključnih riječi od 2014. do 2024. Prag mreže postavljen je na 10. Vrijeme povezano sa svakim čvorom predstavlja početnu pojavu ključnih riječi, dok veličina čvora odgovara učestalosti ključne riječi.

U 2014. "upravljanje rizikom", "ponašanje", "upravljanje sigurnošću" i "uzročnost nesreća" bili su početni istraživački pojmovi. Upravljanje sigurnošću ponajprije se temeljilo na ručnim pregledima, oslanjajući se na papirnatu zapise i iskustvenu prosudbu, što je rezultiralo problemima poput raspršenosti podataka i odgođenih odgovora. Analize uzročnosti nesreća uglavnom se temelje na statističkim podacima i stručnome iskustvu, bez sustavnog modeliranja. Tehnički alati poput BIM-a korišteni su samo tijekom faze projektiranja.

Istraživački pojmovi "BIM", "krivulje krhkosti", "praćenje zgrada", "sustavi lokacije u stvarnome vremenu" prvi su se put pojavili 2016. BIM u kombinaciji sa sustavima lokacije u stvarnome vremenu (RTLS) primijenjen je za izgradnju pametne platforme za gradilište. Naprimjer, praćenjem lokacija osoblja pomoću RFID oznaka i njihovom integracijom s BIM modelima područja visokog rizika mogu se prikazati dinamički, što omogućuje inteligentno upravljanje osobljem i opremom. Uvedene su krivulje krhkosti i tehnologije strukturne simulacije kako bi se kvantitativno analizirala

vjerojatnost kvara građevinskih komponenti pod različitim opterećenjima. Naprimjer, modeli konačnih elemenata simuliraju stanje naprezanja spojeva čelične konstrukcije, identificiraju slabe točke i optimiraju planove armature. Uvođenje RTLS-a u upravljanje sigurnošću u gradnji označilo je početak prelaženja tradicionalnih modela upravljanja sigurnošću na digitalizaciju.

U 2018. Bayesove mreže pružile su probabilistički alat za kvantifikaciju složenih građevinskih rizika, dok su tehnologije za sprječavanje nesreća smanjile rizike dinamičkim intervencijama. Osim toga 4D simulacije poboljšale su učinkovitost upravljanja sigurnošću prostorno-vremenskom vizualizacijom. Uvođenje 4D-a pomaknulo je proces naknadne obrade nesreća prema proaktivnoj prevenciji sigurnosti. Uključivanjem 4D tehnologije za obuku o sigurnosti prije izgradnje potencijalne sigurnosne opasnosti mogle bi se identificirati u simuliranim scenarijima gradnje. Istraživanja su pokazala da virtualna simulacija građevinskih scena identificira više izvora sigurnosnih incidenata nego pregled fotografija i nacрта. Naprimjer, 4D BIM tehnologija, u kombinaciji s detekcijom sudara, može automatski identificirati sukobe između privremenih objekata poput oplata i skela tijekom gradnje, optimirati slijed gradnje i smanjiti sigurnosne opasnosti uzrokovane promjenama u dizajnu.



Slika 7. Vremenska crta ključnih riječi u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

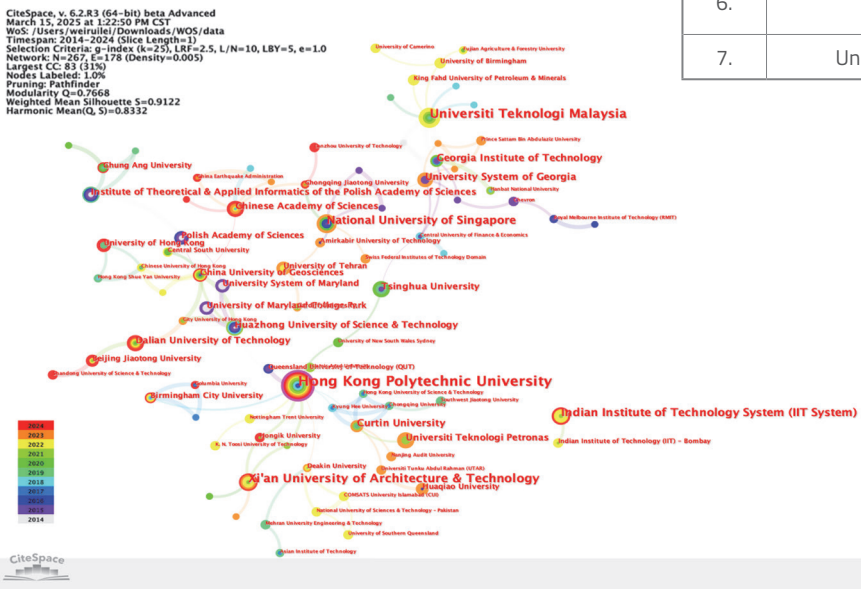
U 2020. tehnologije virtualne stvarnosti (VR) i 3D vizualizacije poboljšale su sigurnosnu obuku i mogućnosti predviđanja rizika putem impresivnih iskustava i dinamičke simulacije, dok je ANP pružio sustavni pristup za višefaktorsku procjenu rizika u složenim građevinskim okružjima. Naprimjer, u izgradnji visokih zgrada ANP može se koristiti za kvantificiranje pokazatelja kao što su operacije osoblja, stanje opreme i rizici za okoliš kako bi se izgradio model procjene rizika, odredile težine različitih čimbenika i odredila ukupna razina rizika.

U 2022. montažne zgrade, strojno učenje i ekvivalentni modeli okvira bili su žarišta istraživanja. Algoritmi strojnog učenja mogu izvući potencijalne sigurnosne obrasce i čimbenike rizika iz podataka. Naprimjer, algoritmi nadziranog učenja mogu se koristiti za razvoj modela predviđanja sigurnosnih incidentata. Unosom podataka u stvarnome vremenu tijekom procesa gradnje moguće je predvidjeti i dati rana upozorenja o potencijalnim sigurnosnim incidentima. Ekvivalentni model okvira može predvidjeti potencijalne slabe točke i kritična stanja u konstrukciji, čime se vodi raspored mjera ojačanja i potpore tijekom procesa izgradnje kako bi se osigurala ukupna sigurnost konstrukcije tijekom gradnje.

U 2024. pojavili su se pojmovi "grafikon znanja", "duboko učenje", "projekcijsko praćenje" i "model u oblaku". Grafikoni znanja pružaju strukturiranu podršku znanju, duboko učenje omogućuje praćenje i predviđanje u stvarnome vremenu, projekcijsko praćenje pojednostavljuje složene analize sustava, a modeli u oblaku poboljšavaju mogućnosti dinamičke procjene rizika. U budućnosti će multitehnološka suradnja, kao što je to integracija grafikona znanja i topološke analize, dodatno potaknuti razvoj upravljanja sigurnošću prema preciznosti i automatizaciji.

3.3.3. Analiza istodobnih institucija

Na slici 8. prikazana je mreža istodobnih institucija s pragom od dva. Ta mreža sastoji se od 267 čvorova i 178 veza, a veze



Slika 8. Mreža institucija u istraživanju procjene rizika sigurnosti u građevinarstvu

između čvorova predstavljaju suradnju među institucijama. Većinu institucija u mreži čine sveučilišta, uključujući Politehničko sveučilište Hong Kong, Tehnološko sveučilište Malezija, Sveučilište za arhitekturu i tehnologiju Xi'an, Nacionalno sveučilište u Singapuru i Kinesko sveučilište za rudarstvo i tehnologiju, koja služe kao središta mreže i tvore nekoliko glavnih istraživačkih zajednica. Naprimjer, Politehničko sveučilište Hong Kong, Sveučilište za arhitekturu i tehnologiju Xi'an, Nacionalno sveučilište u Singapuru i druge institucije čine jedan od najvećih istraživačkih klastera.

Evidentne su manje istraživačke suradnje poput one između Tehnološkog instituta Georgia i Sveučilišnog sustava Georgia. Osim toga, otprilike 40 institucija ima ograničenu vanjsku suradnju. Jačanje institucionalnih partnerstava ključno je za poboljšanje širenja istraživačke stručnosti.

U tablici 5. prikazano je sedam najboljih institucija, rangiranih prema učestalosti. Politehničko sveučilište u Hong Kongu ima najveći broj publikacija, a slijede ga Tehnološko sveučilište u Maleziji, Sveučilište za arhitekturu i tehnologiju u Xi'anu, Nacionalno sveučilište u Singapuru i Kinesko sveučilište za rudarstvo i tehnologiju.

Tablica 5. Sedam institucija s najvećim brojem publikacija u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Br.	Institucije	Učestalost
1.	Hong Kong Polytechnic University	20
2.	Universiti Teknologi Malaysia	14
3.	Xi'an University of Architecture & Technology	12
4.	National University of Singapore	10
5.	China University of Mining & Technology	10
6.	Indian Institute of Technology System (IIT System)	9
7.	University System of Georgia	7

U tablici 6. prikazano je sedam najboljih institucija prema središnjosti. Važno je istaknuti da se sve institucije s ocjenom središnjosti višom od 0,05 nalaze u Kini i Gruziji, uključujući Politehničko sveučilište u Hong Kongu, Sveučilište za znanost i tehnologiju Huazhong, Kinesko sveučilište za geoznanosti, Sveučilišni sustav Gruzije, Kinesku akademiju znanosti i Sveučilište Chongqing Jiao Tong. To ističe njihov znatan doprinos istraživanju u području sigurnosti u građevinarstvu, čime zaslužuju veće priznanje i pozornost.

Tablica 6. Sedam institucija s najvećom središnjosti u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Br.	Institucije	Središnjost
1	Hong Kong Polytechnic University	0,1
2	Huazhong University of Science & Technology	0,07
3	China University of Geosciences	0,07
4	University System of Georgia	0,06
5	Chinese Academy of Sciences	0,06
6	Chongqing Jiaotong University	0,06
7	Tsinghua University	0,04

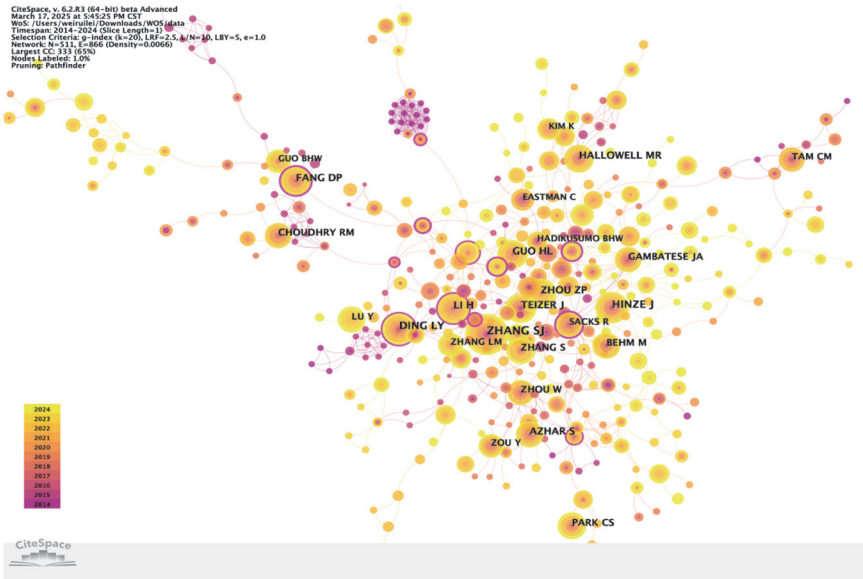
3.4. Analiza kocitiranja

Kocitiranje se uspostavlja kada su dva rada istodobno citirana u trećemu radu. Snaga kocitiranja (broj radova koji citiraju oba rada) odražava sličnost sadržaja. Analize kocitiranja pomoću softvera *CiteSpace* omogućuju vizualizaciju mreže kocitiranja među radovima i otkrivanje baze znanja, evolucije istraživačkih vrućih točaka i ključne literature u nekom istraživačkom području primjenom metoda poput klasteriranja i analiza vremenske linije.

3.4.1. Analiza kocitiranih autora

U mreži kocitiranja autora u softveru *CiteSpace* čvorovi predstavljaju učestalost citiranja autora, pri čemu veći čvorovi upućuju na veći broj citata za tog autora. Debljina poveznica predstavlja snagu kocitiranja između autora, pri čemu deblje linije upućuju na to da su dva autora češće kocitirana u istome radu, što označuje jaču povezanost u smislu suradnje ili istraživačkih tema. Na slici 9. mreža se sastoji od 511 čvorova i 866 poveznica, što filtrira ključne informacije o autorima i njihovim odnosima. Samo nekoliko čvorova u mreži ima znatnu važnost, što upućuje na to da je istraživanje u ovome području koncentrirano. Kao što je to prikazano u tablicama 7. i 8.,

pet najvažnijih autora prema posrednoj središnjosti bili su Carter, Sacks, Aksorn, Fang i Goh, dok su najčešće citirani autori bili Zhang, Hinze, Ding, Zhou i Hollowell. Na slici 10. prikazano je deset autora s najvećim intenzitetom *burst*-učinka. Najviše citata ima Lu, a slijede Sulankivi, Gambatese, Carbonari i Riaz. Također, autori s visokim vrijednostima *burst*-intenziteta uključuju Rozenfelda, Mohammadija, Hana, Becerik-Gerbera i Mitropoulosa. To upućuje na to da su ti autori privukli iznimnu pozornost istraživačke zajednice tijekom istraživanog razdoblja zbog objavljivanja utjecajnih radova, vođenja novih istraživačkih trendova i znatnog doprinosa napretku područja.



Slika 9. Mreža kocitiranja autora u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

10 najcitiranijih autora s najvećim porastom citiranosti

Cited authors	Year	Strength	Begin	End	2014. do 2024.
SULVANKIVI K.	2014.	6,22	2014.	2019.	
CARBONARI A.	2014.	5,67	2014.	2017.	
GAMBATESE J.	2015.	6,06	2015.	2020.	
RIAZ Z.	2015.	5,77	2015.	2020.	
ROZENFELD O.	2015.	5,22	2015.	2019.	
MITROPOULS P.	2016.	4,47	2016.	2020.	
BECKERIK-GERBER B.	2017.	4,5	2017.	2019.	
HAN S.	2019.	4,81	2019.	2020.	
LU Y.	2021.	6,74	2022.	2024.	
MOHAMMADI A.	2022.	5,14	2022.	2024.	

Slika 10. Intenzitet *burst* kocitiranja autora u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Tablica 7. Deset najčešće kocitiranih autora prema učestalosti u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Br.	Učestalost	Autor
1.	98	Zhang, S. J.
2.	70	Hinze, J.
3.	64	Ding, L. Y.
4.	60	Zhou, Z. P.
5.	57	Hallowell, M. R.
6.	56	Li, H.
7.	55	Teizer, J.
8.	53	Guo, H. I.
9.	52	Fang, D. P.
10.	50	Azhar, S.

Tablica 8. Deset najčešće kocitiranih autora prema središnjosti u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Br.	Središnjost	Autor
1.	0,37	Carter, G.
2.	0,26	Sacks, R.
3.	0,26	Aksorn, T.
4.	0,24	Fang, D. P.
5.	0,23	Goh, Y. M.
6.	0,19	Park, J.
7.	0,17	Ding, L. Y.
8.	0,15	Becerik-Gerber, B.
9.	0,12	Moon, H.
10.	0,11	Li, H.

3.4.2. Analiza kocitiranih klastera

Najčešće citirani članci u području sigurnosti u građevinarstvu navedeni su u tablici 9.

Zhang i sur. [30] razvili su automatiziranu platformu za inspekciju sigurnosti uvođenjem sustava temeljenog na pravilima u BIM-u. Ta platforma može informirati inženjere i menadžere uključene u građevinske projekte o tome kada i gdje se mogu pojaviti opasnosti te koje se mjere mogu poduzeti prije početka gradnje kako bi se spriječili sigurnosni incidenti poput pada s visine. Učinkovitost te platforme potvrđena je pomoću stvarnih studija slučaja. Slično tome Hossain i sur. [32] uspostavili su strukturiranu bazu znanja temeljenog na pravilima koja je fokusirana na sigurnost u fazi projektiranja.

Ta baza znanja, integrirana s BIM-om, oblikovala je inteligentni sustav za pregled rizika koji pomaže projektantima u otklanjanju sigurnosnih problema tijekom faze projektiranja, a učinkovitost sustava potvrđena je tipičnim studijama slučaja.

Yuan i sur. [31] razvili su program temeljen na algoritamskome izdvajanju podataka i prosudbi te stvorili automatizirani *plugin* za inspekciju temeljen na pravilima. Taj *plugin* integrira BIM i baze

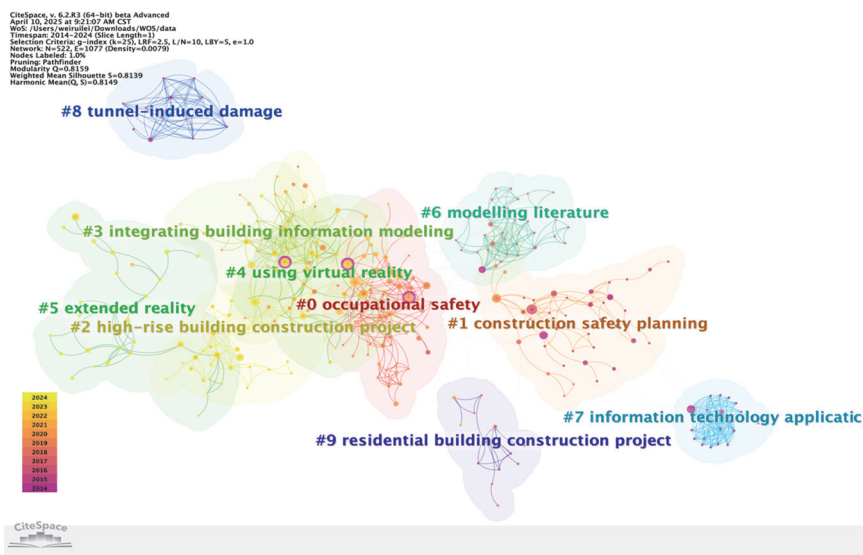
podataka znanja o prevenciji nesreća putem dizajna (PtD) te pruža povratnu informaciju projektantima putem automatskih prozora upozorenja. Ti prozori uključuju ID identifikacije rizika u gradnji i pripadajući ID preventivne kontrole iz modela *Revit*, čime se postiže automatska procjena sigurnosnih rizika u fazi projektiranja. Slično tome Lu i sur. [35] razvili su *plugin* koji povezuje BIM s podacima o sigurnosnim rizicima u *Autodesk Revitu*. Taj *plugin* može automatski izračunati sigurnosne rizike, pomažući arhitektima i projektantima konstrukcija da brzo odaberu alternativna rješenja u dizajnu.

Zou i sur. [33] obavili su pregled upravljanja rizicima kroz BIM i srodne tehnologije, u kojemu su saželi suvremene tehnologije, uključujući BIM, automatsku provjeru pravila, sustave temeljene na znanju, reaktivne IT sustave za sigurnost kao što su baze podataka, VR, 4D CAD i GIS te proaktivne IT sustave za sigurnost (npr. GPS, RFID i lasersko skeniranje). Zaključili su da BIM može služiti ne samo kao sustavan alat za upravljanje rizicima tijekom procesa razvoja, već i kao središnji generator podataka i platforma koja drugim BIM alatima omogućuje dodatnu analizu rizika.

Malekitabar i sur. [34] uspostavili su strukturirani okvir koji pokazuje kako se objektno usmjereni BIM može koristiti za

Tablica 9. Deset najčešće citiranih članaka u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Br.	Učestalost	Članak
1.	26	Building information modelling (BIM) and Safety: Automatic safety checking of construction models and schedules [30]
2.	24	Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modelling and PtD knowledge base [31]
3.	23	Design-for-safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews [32]
4.	23	A review of risk management through BIM and BIM-related technologies [33]
5.	17	Construction safety risk drivers: A BIM approach [34]
6.	17	BIM-integrated construction safety risk evaluation at the design stage of building projects [35]
7.	17	Visualization technology-based construction safety management: A review [36]
8.	16	A science mapping approach-based review of construction safety research [37]
9.	16	BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning [38]
10.	15	Construction safety planning: Site-specific temporal and spatial information integration [39]



Slika 11. Skupina kocitiranih referenci u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

klasifikaciju čimbenika nesreća, rezultirajući s pet skupina: čimbenici koji utječu na posljedice i vjerojatnosti svih vrsta nesreća, čimbenici za rizik od pada ili padajućih predmeta, čimbenici za rizik od nesigurne operacije, čimbenici za rizik od gušenja ili urušavanja i čimbenici za rizik od električnog udara. Guo i sur. [36] pregledali su tehnologije vizualizacije i otkrili da podržavajući sigurnosnu obuku, identificirajući područja radnih opasnosti (JHA) te pružajući usluge nadzora i upozorenja na licu mjesta, vizualizacijska tehnologija može poboljšati upravljanje sigurnošću. Međutim, određene prepreke ograničavaju njezinu široku primjenu, naprimjer, trenutne lokacijske tehnologije učinkovitije rade samo na manjim područjima zbog slabije penetracije signala.

Jin i sur. [37] pružili su pregled tradicionalnog upravljanja rizicima te sveobuhvatno analizirali najnoviju literaturu o upravljanju rizikom primjenom tehnologija poput BIM-a, automatske provjere pravila, sustava temeljenih na znanju te reaktivnih i proaktivnih IT sustava za sigurnost. Zhang i sur. [38] razvili su okvir koji uključuje algoritme za automatsku provjeru sigurnosnih pravila u BIM-u. Kroz studiju slučaja testirali su okvir na modelima ureda i stambene zgrade u Finskoj. Rezultati su pokazali učinkovitost tog okvira, posebno u simulaciji otkrivanja i prevencije opasnosti od pada. Choe i Leite [39] integrirali su sigurnosne podatke, uključujući opće znanje o sigurnosti, vremenske i prostorne informacije specifične za gradilište iz rasporeda projekta te 3D model, u proces planiranja sigurnosti gradnje u 4D. Mogli

prosječni silueta-koeficijent klastera i koristi se za mjerenje kohezivnosti čvorova unutar istoga klastera i razdvajanja između različitih klastera. Veća vrijednost označava razumniju klasterizaciju, pri čemu se S-vrijednosti veće od 0,5 općenito smatraju prihvatljivima. Na slici 11. prikazan je grafikon analize klastera kao mreža kocitiranih referenci s 522 čvora i 1626 veza. Rezultati analize klastera s $Q = 0,732$ i $S = 0,791$ pokazuju relativno pouzdanu i jasno strukturiranu klasterizaciju. Identificirano je devet klastera.

Na slici 12. prikazana je vremenska linija klastera kocitiranih referenci u CiteSpaceu, gdje veličina čvora predstavlja učestalost kicitiranja. Devet klastera citirano je češće unutar mreže kicitiranja, ističući njihov veći utjecaj ili važnost u istraživačkome području.



Slika 12. Vremenska linija klastera kocitiranih referenci u istraživanju procjene rizika na radu u građevinarstvu

Prije 2015. istraživanja su se uglavnom fokusirala na planiranje sigurnosti gradnje [41], primjenu informacijske tehnologije, štete izazvane tunelima i stambene zgrade, što je bilo raspoređeno između analize uzroka nesreća i tradicionalnog planiranja sigurnosti temeljenog na iskustvu s nesrećama. Zahvaljujući razvoju računalne tehnologije, znanstvenici su se usmjerili na informacijske tehnologije, jer pružaju inovativna rješenja poput praćenja u stvarnome vremenu, analize podataka i poboljšane komunikacije za poboljšanje upravljanja sigurnošću, sprječavanje nesreća i optimiranje građevinskih procesa.

Od 2015. do 2020. znanstvenici su se uglavnom fokusirali na visoke zgrade i zaštitu na radu. Građenje visokih zgrada uključuje više složenih procesa poput izgradnje temelja, podizanja konstrukcija i ugradnje vanjskih obloga. Svaki proces nosi vlastite sigurnosne rizike. Istraživači su posebnu pozornost posvetili sigurnosti na radu jer se fokusira na zaštitu radnika od različitih opasnosti na poslu, osiguravajući njihovu dobrobit i neometan tijek građevinskih projekata mjerama poput obuke, procjene rizika i usklađenosti s propisima.

Tehnologije poput BIM-a, VR-a i XR-a pojavile su se i brzo razvijale između 2015. i 2024. Yap i sur. [42] izvijestili su da su najučinkovitije nove tehnologije za upravljanje sigurnošću BIM, nosive sigurnosne tehnologije te robotika i automatizacija (R&A). Implementacija tehnologija za sigurnost u građevinskim projektima može usmjeriti industriju prema budućnosti građevinarstva 4.0.

Za razliku od tradicionalnih metodologija, koje se oslanjaju na vizualne inspekcije pomoću kontrolnih lista, čija učinkovitost ovisi o kvaliteti inspekcije sigurnosnog savjetnika (SA), AR služi kao 3D preglednik s intuitivnim sučeljem za SA. Posljedično, definirani su funkcionalni zahtjevi i predloženi različiti slojevi informacija i korisnička sučelja za AR aplikacije [18].

Rivera i sur. [43] pregledali su kako XR rješava ključne čimbenike koji utječu na sigurnost u građevinskim projektima. XR, koji uključuje VR, AR i tehnologije mješovite stvarnosti (MR), primjenjuje se u upravljanju sigurnošću gradilišta. U radu pregledana je literatura o primjeni XR tehnologija za sigurnosno kritične procese (SCP) i analizirano je kako se ti napreci povezuju s metodologijama i tehnologijama u građevinskoj industriji poput BIM-a. Pokazali su da je od 100 sigurnosno kritičnih procesa (fSCP) 59 obrađeno primjenom XR tehnologija, uglavnom povezanih s kategorijama "gradilište" te "materijali i oprema". Također su pokazali da upotreba digitalnih blizanaca zgrada i infrastrukture zahtijeva alate za vizualizaciju i interakciju, pri čemu XR ima ključnu ulogu. Getuli i sur. [44] primijenili su VR u sigurnosnoj obuci, smanjujući postojeći jaz u znanju o integraciji BIM-a i VR-a u stvarne građevinske projekte za obuku sigurnosti primjenom standardiziranih pravila primjenjivih na različite projekte. Također su koristili prilagođeni set alata s mobilnim rješenjem za upravljanje scenarijima obuke, poboljšavajući prenosivost gradilišta u usporedbi s VR rješenjima temeljenima na PC-u.

XR i BIM integrirani su kako bi poboljšali identifikaciju opasnosti, ojačali planiranje sigurnosti, poboljšali inspekcije, nadzor i praćenje sigurnosti te povećali razinu svijesti o sigurnosti. Zbog

tehnološkog napretka i praktičnosti integracija XR-a i BIM-a postaje sve popularnija u upravljanju sigurnošću.

4. Rasprava

U području procjene rizika u građevinarstvu u posljednjih nekoliko godina došlo je do znatnih promjena u ključnim riječima, a pojavili su se i novi smjerovi istraživanja. U nastavku prikazani su evolucija ključnih riječi i tehnološki trendovi (2014. – 2024.) u području procjene rizika u građevinarstvu, temeljeni na prethodnim poglavljima.

U početku se očekivalo da će primjena digitalnih tehnologija u sigurnosti gradilišta postupno rasti s vremenom, no analiza evolucije ključnih riječi od 2014. do 2024. pokazala je bržu i višedimenzionalnu tehnološku integraciju. Naprimjer, u 2016. istodobna pojava pojmova "BIM", "fragility curves" i "RTLS" označila je znatnu prekretnicu jer je upravljanje sigurnošću počelo prelaziti na digitalne platforme. Posebno je BIM u kombinaciji s RTLS-om omogućio praćenje radnika u stvarnome vremenu pomoću RFID oznaka i vizualizaciju visokorizičnih zona u 3D modelima, što je znatno unaprijedilo inteligentno upravljanje gradilištem.

Godine 2018. pojava ključnih riječi poput "Bayesian networks", "accident prevention technologies" i "4D simulation" označila je prelazak s reaktivnih na proaktivne strategije sigurnosti. Primjena 4D BIM-a za sigurnosnu obuku prije početka gradnje pokazala se učinkovitijom u otkrivanju potencijalnih opasnosti nego tradicionalni pregled planova, ističući važnost prostorno-vremenske vizualizacije u identifikaciji rizika.

Do 2020. imerzivne tehnologije poput VR-a i 3D vizualizacije postale su uobičajene, nudeći angažiraniju i učinkovitiju platformu za sigurnosnu obuku. Istodobno uvođenje ANP-a (*analytic network process*) donijelo je strukturirani i kvantitativni pristup procjeni složenih rizika, posebno u kontekstu visokih zgrada.

Podaci od 2022. nadalje pokazuju intenziviran fokus na podatkovno vođene inteligentne sustave. Pojmovi "machine learning" i "equivalent frame model" postali su istaknuti, što upućuje na trend prema prediktivnome modeliranju. Naprimjer, tehnike nadziranog učenja primijenjene su na podatke u stvarnome vremenu kako bi se predvidjeli potencijalni sigurnosni incidenti i upozorilo na njih, dok su strukturne simulacije korištenjem ekvivalentnih modela korištene za planiranje ojačanja.

Do 2024. godine novi koncepti, poput "grafova znanja", "dubokog učenja", "projekcijske potrage" i "cloud modela" označili su znatan pomak prema inteligentnome, automatiziranome i sustavno upravljanome riziku. Posebno, povezivanje grafova znanja s modelima dubokog učenja omogućava holističku procjenu sigurnosnih uvjeta u stvarnome vremenu, čime se područje pomiče prema podatkovno preciznome i automatiziranome upravljanju sigurnošću gradilišta.

Sveukupno, bibliometrijska evolucija ključnih riječi otkriva ne samo ubrzanu primjenu digitalnih tehnologija, već i sve veću

konvergenciju umjetne inteligencije, simulacije i podatkovno vođenih metodologija u području sigurnosti u građevinarstvu.

5. Zaključak

Ova studija koristila je bibliometrijsku pretragu uz primjenu "grafova znanja" i scientometrijske analize u *CiteSpaceu*, praćenu detaljnom kvalitativnom raspravom, kako bi pregledala 322 članka iz časopisa u području procjene rizika na radu u građevinarstvu. Rezultati su pokazali rastući broj članaka, pri čemu su većinu objavili časopisi *Buildings*, *Safety Science* i *Automation in Construction*. U analizi koinstitucija Hong Kong Polytechnic University istaknuo se najvećim brojem publikacija i središnjosti. U analizi koautorstava sveučilišta su bila glavni doprinositelji, dok su istraživački laboratoriji i tvrtke imali manji utjecaj. Važne suradnje uključuju Huazhong University of Science & Technology, China University of Geosciences, University System of Georgia i Chinese Academy of Sciences, koji su dali znatan doprinos i međusobno surađivali. Najveći doprinos dali su Kina, SAD, Italija, Velika Britanija i Australija, s time da te zemlje znatno nadmašuju ostale u broju publikacija.

Suradnja autora iz različitih zemalja pokazuje zajedničke istraživačke napore. SAD je pokazao najveću središnjost, a slijede Italija i Velika Britanija, lideri u međunarodnoj suradnji. Iako Kina prednjači u opsegu publikacija, ne pokazuje najveću središnjost, što sugerira da bi mogla povećati opseg sudjelovanja u komunikaciji i timske radu.

U analizi suočestale pojave termina identificirana su ključna područja u posljednjemu desetljeću, uključujući "barijere", "AR", "sigurnosnu klimu", "rudarenje podataka", "sprječavanje nesreća" i "zelene zgrade". Neki pojmovi imaju dugu povijest, ali i dalje ostaju središnje teme istraživanja poput "sigurnosna klima", "procjena rizika", "upravljanje sigurnošću u graditeljstvu", "barijere" i "sprječavanje nesreća". Granica istraživanja koncentrirana je na primjenu XR-a, a rastućim težištem na poboljšanju točnosti i interpretabilnosti XR aplikacija, integrirajući nove tehnologije poput *data mininga*, IoT senzora, dronova i BIM-a.

Analiza je također identificirala najproduktivnije znanstvenike u procjeni rizika na radu u građevinarstvu, uključujući Zhanga, Hinze i Ding, koji su bili najčešće citirani autori, dok su [30-32] bili najčešće citirani članci, ističući znatan doprinos i utjecaj tih studija. Scientometrijska analiza dala je uvid u buduće smjerove istraživanja, uključujući primjenu umjetne inteligencije i analitike podataka u nadzoru gradilišta i donošenju odluka, olakšavajući suradnju dionika putem digitalnih platformi i integraciju BIM-a i XR-a u planiranje i obuku sigurnosti. U budućnosti se istraživački trendovi u području procjene rizika u građevinarstvu mogu koncentrirati na sljedeće aspekte:

- **Integracija informacijskih i komunikacijskih tehnologija (ICT) (npr. BIM i VR) u planiranje sigurnosti.**

Nurhendi i sur. [45] istaknuli su da ICT okviri mogu biti dodatno testirani na stvarnim projektima, procjenjujući aspekte poput jednostavnosti korištenja, spremnosti korisnika, prihvaćanja i učinkovitosti komunikacije u području sigurnosti. Daljnja

istraživanja potrebna su za interoperabilnost više ICT alata radi lakše razmjene informacija tijekom prikupljanja i obrade podataka u stvarnome vremenu [37].

- **Integracija umjetne inteligencije (AI) i analitike podataka u nadzor gradilišta i donošenje odluka.**

Naprimjer, AI sustavi s vizualnim prepoznavanjem mogu u stvarnome vremenu identificirati nesigurno ponašanje radnika, dok prediktivna analitika može anticipirati kvarove opreme na temelju povijesnih podataka i trenutnih radnih uvjeta. Napredne metode analitike podataka, uključujući rudarenje podataka, statističku analizu i duboko učenje, mogu otkriti skrivene odnose i trendove. Za buduće primjene potrebno je stručno znanje kako bi AI modeli bili točno trenirani, a generirani uvidi relevantni i primjenjivi.

- **Model oblaka.**

Očekuje se da će integracija modela oblaka u upravljanje sigurnošću na gradilištu transformirati građevinsku industriju, omogućujući pametna, skalabilna rješenja u stvarnome vremenu. Platforme oblaka mogu prikupljati i analizirati velike količine podataka iz različitih izvora, uključujući IoT senzore, dronove i metrike radnika, čime se povećavaju situacijska svijest i prediktivni uvidi. Choe i Leite [39] predložili su četverodimenzionalni (4D) proces planiranja sigurnosti koji integrira prostorne i vremenske podatke specifične za gradilište, pružajući osoblju zaduženom za sigurnost proaktivni alat za planiranje i upravljanje hitnim situacijama [46]. U budućnosti bit će potrebno testirati i verificirati taj pristup na više stvarnih slučajeva.

- **Poticanje suradnje dionika kroz digitalne platforme.**

Istraživanje bi trebalo ispitati rješenja temeljena na digitalnim platformama i kolaborativnim tehnologijama (npr. BIM i oblak) kako bi se poboljšala uključenost dionika i razmjena informacija u upravljanju rizikom. To može pomoći u stvaranju integriranog sustava upravljanja sigurnošću koji omogućuje učinkovitu komunikaciju i suradnju među dionicima u svim fazama projekta, uključujući projektante, izvođače, dobavljače, regulatorna tijela i radnike.

- **Pomak upravljanja sigurnošću i procjene rizika u faze planiranja i projektiranja.**

Sigurnost bi trebalo uzeti u obzir već u fazi dizajna [47], kada se opasnosti mogu identificirati semantičkim modeliranjem temeljenim na ontologiji. Zhang i sur. [48] razvili su okvir koji uključuje automatizirane algoritme za provjeru sigurnosnih pravila u BIM-u, uključujući simulaciju rasporeda i primjenu RFID-a za modeliranje gradilišta, a u skladu s pristupom Rafiquea i sur. [49]. Također su razvijeni metoda konačnih elemenata za stabilnost tornjaka i moduli za provjeru pravila kako bi se identificirale i eliminirale potencijalne opasnosti od padova u ranoj fazi planiranja [50]. Komercijalizacija BIM-a zahtijeva dodatna istraživanja.

- **Transformacija tradicionalne monolitne betonske gradnje u prefabricirane i montažne tipove objekata.**

Ovakvom se transformacijom se smanjuju radovi na gradilištu i minimiziraju rizici. Abd Razak i sur. [51] predložili su pristup

“Design for Manufacturing and Assembly” (DfMA) kako bi se smanjili privremeni radovi i oslanjanje na nekvalificiranu radnu snagu, čime se promiče sigurnije radno okruženje.

Ovo istraživanje sveobuhvatno integrira najnovije preglede literature o procjeni rizika u građevinarstvu u posljednjemu desetljeću, pružajući vrijedan pregled trenutnog stanja istraživanja u tome području. Analizom i sintezom najnovijih trendova studija predlaže buduće smjerove istraživanja, pomažući istraživačima da bolje razumiju ključne izazove, prilike i praznine u znanju. Također nudi uvide u nove tehnologije i njihove potencijalne primjene, što može voditi razvoju učinkovitijih metoda procjene rizika i podršci implementaciji sigurnosnih mjera na gradilištima.

Istraživanje ima i neka ograničenja. Prvo, pregled se temelji isključivo na uzorku literature iz baze podataka WoS i uključuje

samo članke na engleskome jeziku. Zato su neki najnoviji radovi objavljeni na drugim jezicima ili u drugim formatima (npr. knjige, Scopus i EI) mogli biti isključeni. Također, zbog ograničenja softvera različite postavke parametara mogu rezultirati različitim analitičkim rezultatima. Buduća istraživanja mogla bi primjenjivati sustavne metode pregleda literature kako bi detaljnije istražila specifične primjene određenih tipova građevina ili metoda procjene.

Zahvala

Istraživači zahvaljuju malezijskome ministarstvu visokog obrazovanja i Nacionalnom sveučilištu Malezije za priliku i financijsku potporu osiguranu kroz Shemu za temeljna istraživanja (FRGS/1/2024/SSI12/UKM/02/3), koja je omogućila provođenje ovog istraživanja.

LITERATURA

- [1] Hosseini, S.S., Torghabeh, Z.J.: Major theories of construction accident causation models: A literature review, *International Journal of Advances in Engineering and Technology*, 4 (2012), pp. 53-66
- [2] Kim, A.: Advances in fire suppression systems, *Construction Technology Updates*, 75 (2011)
- [3] Abdullah, D.N.M.A., Wern, G.C.M.: An analysis of accidents statistics in Malaysian construction sector, *The Proceedings of the International Conference on E-business, Management and Economics*, 3 (2011), pp. 1-4
- [4] Jones, M.: Risk assessment in modern organizations: Techniques and applications, *Risk Management*, 12 (2019) 3, pp. 156-167
- [5] Brown, A.: Qualitative risk assessment methods: A practical guide, *Risk Analysis*, 38 (2018) 1, pp. 24-37
- [6] Liu, H.: Quantitative techniques for risk evaluation in engineering projects, *Engineering Management*, 29 (2019) 2, pp. 123-135
- [7] Kim, S.: Integrated risk assessment approaches for complex systems, *Safety Science*, 135 (2021) 2, pp. 45-56
- [8] Wang, J.: Introduction to bibliometric analysis: Methods and applications, *Journal of Information Science*, 47 (2021) 3, pp. 345-360
- [9] Chen, C.: CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57 (2006) 3, pp. 359-377
- [10] Kibert, C.J.: *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*, John Wiley & Sons, 2016.
- [11] Wang, X., Liu, Y.: Global research collaboration in environmental science: A bibliometric analysis, *Journal of Cleaner Production*, 242 (2020), p. 118497
- [12] Rongying, Z., Xu, W., Feicheng, M.: *Bibliometrics*, Wuhan University Press, 2019.
- [13] Shuqing, L., Juntao, Z., Wan, W.: Research on topic discovery and evolution trend based on temporal keyword feature, *Scientific Information Research*, 5 2023 (2), pp. 57-77
- [14] Adamtey, S., Kereri, J.O.: Risk management in residential projects in the United States: Implementation status, evaluation techniques and barriers, *Journal of Engineering, Design and Technology*, 21 (2023) 5, pp. 1481-1500, <https://doi.org/10.1108/JEDT-05-2021-0246>
- [15] Zailani, M.B., Abubakar, M., Muhammad, A.: assessment of barriers to risk management (RM) implementation in small construction projects in Nigeria, *African Journal of Built Environment Research*, 3 (2019) 1, pp. 15-28
- [16] Singla, H.K.: Using interpretive structural modelling on barriers to implementation of enterprise risk management in construction projects, *i-Manager's Journal on Management*, 13 (2019) 3, pp. 22-29
- [17] Chileshe, N., Hosseini, M.R., Jepson, J.: Critical barriers to implementing risk assessment and management practices (RAMP) in the Iranian construction sector, *Journal of Construction in Developing Countries*, 21 (2016) 2, pp. 81-112
- [18] Ramos-Hurtado, J., Muñoz-La Rivera, F., Mora-Serrano, J., Deraemaeker, A., Valero, I.: Proposal for the deployment of an augmented reality tool for construction safety inspection, *Buildings*, 12 (2022) 4, p. 500
- [19] Li, X., Yi, W., Chi, H.L., Wang, X., Chan, A.P.C.: A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety, *Automation in Construction*, 86 (2018), pp. 150-162
- [20] Li, Q., Ji, C., Yuan, J., Han, R.: Developing dimensions and key indicators for the safety climate within China's construction teams: A questionnaire survey on construction sites in Nanjing, *Safety Science*, 93 (2017), pp. 266-276, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.11.006>
- [21] Khalfan, M., El-Dakhkhni, W.W., Tait, M.J.: Seismic risk assessment of nonengineered residential buildings in developing countries, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30 (2016) 5, p. 04016013, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000829](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000829)
- [22] Rahayu, I.: BIM-Integrated Construction safety risk assessment at the design stage of building projects, *Jurnal KaLIBRASI - Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri*, 5 (2022), pp. 124-130, <https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v5i2.1121>

- [23] Dewlaney, K.S., Hallowell, M.R., Fortunato, B.R.: Safety risk quantification for high performance sustainable building construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, 138 (2012) 8, pp. 964-971
- [24] Fortunato, B.R., Hallowell, M.R., Behm, M., Dewlaney, K.: Identification of safety risks for high-performance sustainable construction projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 138 (2012) 4, pp. 499-508
- [25] Xia, Z., Zhang, B., Gao, D.: Application of data mining in building safety construction, *The Proceedings of the Chinese Automation Congress*, 2020.
- [26] Perlman, A., Sacks, R., Barak, R.: Hazard recognition and risk perception in construction, *Safety Science*, 64 (2014), pp. 22-31, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.11.019>
- [27] Arslan, M., Cruz, C., Ginhas, D.: Visualizing intrusions in dynamic building environments for worker safety, *Safety Science*, 120 (2019), pp. 428-446
- [28] Skibniewski, M.J.: Information technology applications in construction safety assurance, *Journal of Civil Engineering and Management*, 20 (2014) 6, pp. 778-794, <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.987693>
- [29] Zhang, Z., Qiu, Y.: Construction safety analysis of urban steel structure buildings based on cloud-building information modelling, *Environment, Development and Sustainability*, (2024), <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05176-2>
- [30] Zhang, S., Teizer, J., Lee, J.K., Eastman, C. M., Venugopal, M.: Building information modelling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules, *Automation in Construction*, 29 (2013), pp. 183-195, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>
- [31] Yuan, J., Li, X., Xiahou, X., Tymvios, N., Zhou, Z., Li, Q.: Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modelling and PtD knowledge base, *Automation in Construction*, 102 (2019), pp. 86-104, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.015>
- [32] Hossain, M.A., Abbott, E.L.S., Chua, D.K.H., Nguyen, T.Q., Goh, Y.M.: Design for safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews, *Automation in Construction*, 94 (2018), pp. 290-302, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.010>
- [33] Zou, Y., Kiviniemi, A., Jones, S.W.: A review of risk management through BIM and BIM-related technologies, *Safety Science*, 97 (2017), pp. 88-98, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>
- [34] Malekitabar, H., Ardeshir, A., Sebt, M.H., Stouffs, R.: Construction safety risk drivers: A BIM approach, *Safety Science*, 82 (2016), pp. 445-455, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.002>
- [35] Lu, Y., Gong, P., Tang, Y., Sun, S., Li, Q.: BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects, *Automation in Construction*, 124 (2021), p. 103553, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103553>
- [36] Guo, H., Yu, Y., Skitmore, M.: Visualization technology-based construction safety management: A review, *Automation in Construction*, 73 (2017), pp. 135-144, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.004>
- [37] Jin, R., Zou, P.X.W., Piroozfar, P., Wood, H., Yang, Y., Yan, L., Han, Y.: A science mapping approach based review of construction safety research, *Safety Science*, 113 (2019), pp. 285-297
- [38] Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C.M., Teizer, J.: BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning, *Safety Science*, 72 (2015), pp. 31-45, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>
- [39] Choe, S., Leite, F.: Construction safety planning: Site-specific temporal and spatial information integration, *Automation in Construction*, 84 (2017), pp. 335-344, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.007>
- [40] Sun, H., Wu, M., Ma, Y., Steam, F.: Education research based on visual analysis, *The Proceedings of the 2022 2nd International Conference on Education, Information Management and Service Science (EIMSS 2022)*, Changsha, China, 2022., pp. 121-130
- [41] Skibniewski, M.: Research trends in information technology applications in construction safety engineering and management, *Frontiers of Engineering Management*, 1 (2014) 3, pp. 246-259, <https://doi.org/10.15302/J-FEM-2014034>
- [42] Yap, J.B.H., Lee, K.P.H., Wang, C.: Safety enablers using emerging technologies in construction projects: Empirical study in Malaysia, *Journal of Engineering, Design and Technology*, 21 (2023) 5, pp. 1414-1440, <https://doi.org/10.1108/JEDT-07-2021-0379>
- [43] Muñoz-La Rivera, F., Mora-Serrano, J., Oñate, E.: A Critical review of how extended reality (XR) has addressed key factors influencing safety on construction projects (fSCPs), *Archives of Computational Methods in Engineering*, 31 (2024) 4, pp. 2015-2048, <https://doi.org/10.1007/s11831-023-10042-x>
- [44] Getuli, V., Capone, P., Bruttini, A.: Planning, management and administration of HS contents with BIM and VR in construction: An implementation protocol, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28 (2020) 2, pp. 603-623, <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0647>
- [45] Nurhendi, R.N., Khoiry, M.A., Hamzah, N.: Conceptual framework factors affecting construction labour productivity, *Jurnal Kejuruteraan*, 34 (2022) 1, pp. 89-99
- [46] Samsudin, K., Sansuddin, N., Hussin, M.F., Kamarudin, A.H., Hapani, M., Hashim, A.F.: A review of emergency management governance at construction sites in Malaysia, *Jurnal Kejuruteraan*, 35 (2023) 2, pp. 275-285, [https://doi.org/10.17576/jkukm-2023-35\(2\)-02](https://doi.org/10.17576/jkukm-2023-35(2)-02)
- [47] Teo, A.L.E., Ofori, G., Tjandra, I.K., Kim, H.: Design for safety: Theoretical framework of the safety aspect of BIM system to determine the safety index, *Construction Economics and Building*, 16 (2016) 4, pp. 1-18
- [48] Zhang, S., Boukamp, F., Teizer, J.: Ontology-based semantic modelling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA), *Automation in Construction*, 52 (2015), pp. 29-41
- [49] Rafique, M.Z., Haider, M., Raheem, A., Ab Rahman, M.N., Amjad, M.S.: Essential Elements for Radio Frequency Identification (RFID) adoption for Industry 4.0 Smart Manufacturing in Context of Technology-Organization-Environment (TOE) Framework - A review, *Jurnal Kejuruteraan*, 34 (2022) 1, pp. 1-10
- [50] Shima, F., Kasa, A.: Stability analysis on tower crane foundation using finite element method, *Jurnal Kejuruteraan*, 5 (2022) 2, pp. 199-206, [https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-si5\(2\)-21](https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-si5(2)-21)
- [51] Abd Razak, M.I., Khoiry, M.A., Wan Badaruzzaman, W.H., Hussain, A.H., Mohd Zain, M.Z.: Development of application framework for design for manufacturing and assembly towards digital and sustainable construction in Malaysia, *Jurnal Kejuruteraan*, 35 (2023) 2, pp. 351-360