

Primljen / Received: 29.7.2015.

Ispravljen / Corrected: 18.2.2016.

Prihvaćen / Accepted: 12.5.2016.

Dostupno online / Available online: 10.6.2016.

Analiza i prevencija nesreća na gradilištima

Autori:



Mr.sc. **Giedrė Leonavičiūtė**, dipl.ing.građ.
Tehničko sveučilište Vilnius Gediminas, Litva
Građevinski fakultet
giedreleon@gmail.com



Izv.prof.dr.sc. **Titas Dėjus**, dipl.ing.građ.
Tehničko sveučilište Vilnius Gediminas, Litva
Građevinski fakultet
titas.dejus@vgtu.lt



Izv.prof.dr.sc. **Jurgita Antucevičienė**, dipl.ing.građ.
Tehničko sveučilište Vilnius Gediminas, Litva
Građevinski fakultet
jurgita.antuceviciene@vgtu.lt

Prethodno priopćenje

Giedrė Leonavičiūtė, Titas Dėjus, Jurgita Antucevičienė

Analiza i prevencija nesreća na gradilištima

Iz analiza izvještaja o gradilišnim nesrećama može se zaključiti da do nesreća najčešće dolazi tijekom rada na visini i zbog nekorištenja ili neodgovarajućeg korištenja osobnih zaštitnih sredstava. Zbog toga se u ovom radu daje nekoliko mogućnosti osobnih zaštitnih sredstava koja se koriste za prevenciju pada s visine. Predlaže se odabir najprikladnijeg zaštitnog sredstva primjenom nove metode za višekriterijsko odlučivanje (engl. multiple criteria decision making - MCDM) s ocjenjivanjem ponderiranih skupnih proizvoda i sivim brojevima (engl. weighted aggregated sum product assessment with grey numbers - WASPAS-G) kako bi se pridonijelo naporima za sprečavanje nesreća tijekom rada na visini.

Ključne riječi:

nesreće na gradilištu, sprečavanje nesreća, osobna zaštitna sredstva, MCDM, WASPAS-G

Preliminary report

Giedrė Leonavičiūtė, Titas Dėjus, Jurgita Antucevičienė

Analysis and prevention of construction site accidents

The analysis of reports on construction site accidents suggests that most accidents involve work at high elevations and the lack or inappropriate use of personal protection devices. Therefore, the paper provides several alternatives of personal protection devices intended for the prevention of falls from elevations. It is suggested to select the most appropriate protection device using the new multiple criteria decision making (MCDM) method of the weighted aggregated sum product assessment with grey numbers (WASPAS-G) to help prevent accidents when working at elevations.

Key words:

construction site accidents, prevention of accidents, personal protection devices, MCDM, WASPAS-G

Vorherige Mitteilung

Giedrė Leonavičiūtė, Titas Dėjus, Jurgita Antucevičienė

Analyse und Prävention von Baustellenunfällen

Aus Analysen von Berichten über Baustellenunfälle geht hervor, dass die meisten Unfälle bei Arbeiten in der Höhe geschehen, sowie durch mangelnden oder nicht fachgerechten Gebrauch persönlicher Schutzausrüstung verursacht werden. Daher werden in dieser Arbeit Möglichkeiten zur Verwendung persönlicher Schutzausrüstung gegeben, die als Absturzsicherung gebraucht wird. Es wird empfohlen, aufgrund der neuen auf mehreren Kriterien beruhenden Entscheidungsmethode (engl. multiple criteria decision making - MCDM) zur Beurteilung gewichteter Produktsammen mit grauen Zahlen (engl. weighted aggregated sum product assessment with grey numbers - WASPAS-G), die passende Schutzausrüstung zu wählen, um der Prävention von Umfällen bei Arbeiten in der Höhe beizutragen.

Schlüsselwörter:

Baustellenunfälle, Unfallprävention, persönliche Schutzausrüstung, MCDM, WASPAS-G

1. Uvod

Mnoge nesreće koje se događaju na gradilištu mogle bi se izbjeći odgovarajućim planiranjem poslova i pravilnom procjenom opasnosti od pada ili ozljeđivanja. Radna mjesta, skele i ostale konstrukcije koje se nalaze na visini trebaju se prikladno postaviti i zaštititi. Posebna se pažnja treba usmjeriti na izobrazbu zaposlenika i njihov upoznavanje s raznim aspektima zaštite zdravlja i zaštite na radu.

Cilj je ovog rada analiza sigurnosnih mjera kojima bi se mogle spriječiti nesreće na gradilištima. Težište je na prevenciji padova s visine jer su takve nesreće najčešće upravo kod osoba koje rade na visini. Analizom izvještaja o nesrećama ustanovljeno je da u mnogim slučajevima radnici nisu bili opremljeni odgovarajućim osobnim zaštitnim sredstvima, tj. da ih nisu mogli koristiti na odgovarajući način. Zbog toga bi se, za zaštitu od pada tijekom instalaterskih radova na krovu ili radova u blizini nezaštićenih rubova konstrukcija, trebao koristiti sustav s užetom ili sustav sa zategom usidrenom u strop i povezanom s pojasom.

U radu se za odabir najpogodnijega zaštitnog sredstva predlaže primjena metodologije višekriterijskog odlučivanja (engl. *multiple criteria decision making* - MCDM). Kroz analizu faktora koji se odnose na padove s visine razvijeno je više različitih mogućih mjera sigurnosti, što uključuje korištenje proizvoda koji su danas dostupni na tržištu. Te su mjere opisane primjenom tehnoloških i ekonomskih kriterija, a usporedne vrijednosti tih kriterija definirane su na bazi rezultata stručne analize, pri čemu su rezultati ocijenjeni primjenom matematičko-statističkih metoda. U radu se predlaže da bi se najprikladnija alternativa trebala određivati pomoću nove metode MCDM s ocjenjivanjem ponderiranih skupnih proizvoda sa sivim brojevima (engl. *weighted aggregated sum product assessment with grey numbers* - WASPAS-G). Ovom se metodom mogu analizirati dvosmislene informacije, pri čemu su početni podaci prikazani kao sivi brojevi, a u konačnici se dobiva pouzdano i dovoljno točno rješenje. Informacije se mogu ažurirati ako dođe do promjene situacije bilo na tržištu ili na gradilištu. Stoga predloženi pristup može služiti kao pomoć pri odabiru najdjelotvornijih sredstava, a ujedno može u određenoj mjeri pridonijeti prevenciji nesreća na gradilištu, naročito u okolnostima kad se radi na visini.

2. Pregled literature: nesreće na gradilištu i preventivne mjere

2.1. Statistički podaci o nesrećama na gradilištu

Nesreće se na gradilištu često događaju kada se obavljaju radovi na visini, tj. popravci ili montažni radovi na krovu, završni radovi ili pri penjanju ljestvama do mjesta rada. Glavni razlozi nesreća na gradilištu su: neadekvatna organizacija ili obavljanje opasnih radova, nekorištenje kolektivnih zaštitnih sredstava, obavljanje poslova za koje radnici nisu dovoljno osposobljeni i/ili kvalificirani niti su upoznati s pitanjima zaštite zdravlja i sigurnosti na radu, te neadekvatna interna kontrola zaštite zdravlja i sigurnosti

na radu. Takve se nesreće mogu spriječiti odgovarajućim planiranjem rada, određivanjem stupnja opasnosti od pada ili ozljeđivanja te upotrebom osobnih i kolektivnih zaštitnih sredstava.

Iako je u sektoru građevinarstva zaposleno otprilike sedam posto od ukupnog broja zaposlenih, u tom se sektoru bilježi otprilike 30-40 % od svih nesreća [1]. U protekla dva desetljeća u SAD-u je u građevinskom sektoru izgubilo život više od 26.000 radnika, što drugim riječima znači pet smrtnih slučajeva svakog dana. Četrdeset posto od svih zabilježenih smrtnih slučajeva uzrokovano je padom s visine, a u jednoj trećini slučajeva nesreće su uzrokovane padom s krova. Trideset posto radnika koji su pali s visine uopće nisu upotrijebili osobna zaštitna sredstva ili su upotrijebili neprikladna sredstva [2]. Građevinska poduzeća snose i financijske obveze zbog padova s visine, pa je tako samo u SAD-u isplaćeno 54 milijuna dolara za radnike koji su pali s visine, tj. 106 tisuća dolara po osobi [3].

Prema podacima Grupacije za sigurnost u građevinarstvu (engl. *Building Safety Group* – BSG), koja je odgovorna za pitanja zaštite zdravlja i sigurnosti na radu u Velikoj Britaniji, broj padova s visine porastao je u 2012. g. za 140 % te je u ukupnom broju nesreća bio zastupljen sa 23 %. Unatoč porastu broja padova s visine, ukupan broj nesreća koje su se dogodile na gradilištu smanjio se za 21 % [4].

U razdoblju od godine i pol, u litvanskim su građevinskim poduzećima zabilježena 73 slučaja ozbiljnih ozljeđa i ozljeđa sa smrtnim ishodom, što je 28 % od ukupno zabilježenih nesreća u svim granama litvanskog gospodarstva. Pri tome se 86 % od svih nesreća na radu dogodilo kao posljedica pada s visine. Osnovni uzroci tih nesreća su činjenica da se izobrazba u području zaštite zdravlja i sigurnosti na radu smatra pukom formalnošću, zatim neprikladna organizacija radnih mjesta, te nekorištenje osobnih i kolektivnih zaštitnih sredstava. Međutim, stalne akcije koje se organiziraju u svrhu prevencije tih nesreća dovele su do smanjenja broja padova s visine, pa je tako ukupan broj nesreća zapravo smanjen [5].

2.2. Analiza mjera za prevenciju nesreća na gradilištu

U protekla dva desetljeća u mnogim su sektorima poduzete sveobuhvatne tehničke i organizacijske mjere da bi se poboljšalo stanje sigurnosti na radu (tj. da bi se smanjio broj nesreća na radu). Međutim, taj cilj ipak nije postignut u sektoru građevinarstva [6]. Građevinski projekti su dinamični. Na njih utječu brojni faktori kao što su fluktuacije radne snage, vremenski uvjeti i velik postotak nekvalificirane radne snage i sezonskih radnika. Svakako je potrebna promjena odnosa prema građevinarstvu da bi se prikladno odredile opasnosti i rizici, osigurala potrebna razina sigurnosti te spriječile nesreće.

U mnogim slučajevima do neprikladne procjene faktora opasnosti i rizika dolazi zbog ograničenog ili precijenjenog znanja u području planiranja i provedbe mjera sigurnosti na radu te zbog nedostatne izobrazbe radnika. Zaštita na radu može biti

djelotvorna samo ako se odgovarajuće mjere provode tijekom cjelokupnog trajanja projekta. Planiranje zaštite na radu počinje s određivanjem faktora opasnosti i odabirom odgovarajućih mjera zaštite [2]. Važno je i uzeti u obzir sve zahtjeve prilikom određivanja tehnološke karte rada, što bi trebalo upućivati na opasne radne okoline [7].

Voditelji gradilišta često imaju poteškoća s određivanjem faktora opasnosti na gradilištima. Prema podacima iz jedne britanske studije, samo je 6,7 % voditelja gradilišta sposobno identificirati sve faktore opasnosti koji se odnose na gradilište. Ljudska pogreška smatra se jednim od ključnih uzroka nesreća. Do pogrešaka može doći zbog nemara, nebrige ili nedostatnog znanja/iskustva. Mnoge studije pokazuju da se znanje potrebno za određivanje faktora opasnosti i rizika može poboljšati odgovarajućom izobrazbom [8].

Izobrazba radnika na gradilištu obično se smatra pukom formalnošću. Veća se pažnja aspektu sigurnosti posvećuje samo u slučaju velike opasnosti ili rizika. Kao i u svakom drugom području, i u građevinarstvu radnici na gradilištu mogu steći iskustvo samo kroz kontinuiranu i odgovarajuću izobrazbu. Istraživači [9] su analizirali hipotezu prema kojoj je izobrazba radnika pomoću virtualnog gradilišta djelotvornija od klasičnih metoda. U toj je studiji sudjelovalo 66 radnika. Pola je od njih obučavana pomoću tradicionalnih metoda, dok su se za drugu polovinu sudionika primjenjivale tehnike virtualne stvarnosti, tj. virtualni prikazi raznih situacija na gradilištu. Rezultati studije pokazali su da su radnici koji su sudjelovali u virtualnoj obuci o sigurnosti obavljanja betonskih radova prošli testove sigurnosti na radu bolje od radnika čija se izobrazba bazirala na tradicionalnim metodama. U obuci u kojoj je korišteno virtualno gradilište, radnici su se mogli bolje usredotočiti na nastavne teme, više su se uključivali u nastavni proces i lakše su usvajali nastavne materijale [9]. Korištenje virtualnog gradilišta nastavnicima omogućuje zorno prikazivanje bitnih tema kao što su redoslijed radnih aktivnosti te postupci koje treba primjenjivati pri obavljanju pojedinih radnih zadataka. Osim toga, tako se veća pažnja može posvetiti faktorima opasnosti na radnom mjestu.

Treba napomenuti da na radnike bitno djeluje stav voditelja gradilišta, tj. poslovođe prema pitanju zaštite zdravlja i sigurnosti na radu [10]. Iako voditelji gradilišta znaju više o pitanjima sigurnosti na radu od samih radnika, oni rijetko kada upozoravaju na nesigurne radne postupke [11].

U provedbi građevinskih projekata naglasak se stavlja na pravovremeni dovršetak radova, na kvalitetu te na građenje u okviru zadanih financijskih parametara. Opasnost se povećava usporedo s povećanjem svijesti radnika o količini rada koji se treba napraviti, tj. usporedo s povećanjem brzine rada pri čemu se nedovoljna pažnja posvećuje sigurnosti [12]. Stoga je izuzetno važno osigurati trajnu komunikaciju između voditelja, poslovođa i radnika. Ustanovljeno je da svakodnevna komunikacija između poslovođa i radnika u vezi s pitanjima sigurnosti na radu, pa čak i jednostavna upozorenja (npr. da nose sigurnosne naočale), povećavaju razinu sigurnosti za 70 % [13].

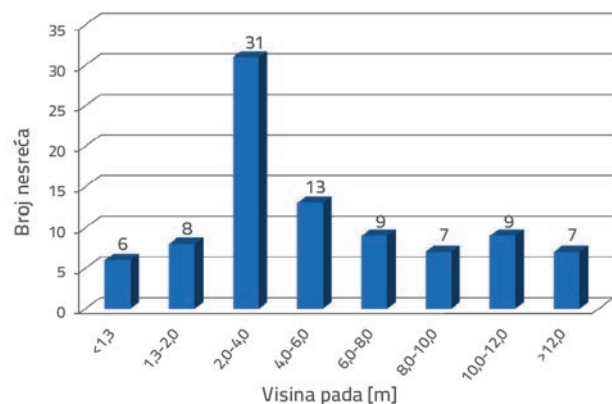
Kako bi se izbjegle nesreće na gradilištu, moguće se opasnosti trebaju razmatrati već u ranom stadiju projektiranja. Poslovi za koje su potrebne ozbiljnije mjere sigurnosti trebaju se definirati kao kritični radovi i oni se na taj način trebaju i označiti u dinamičkom planu građenja [14]. Projektiranje zgrada pomoću 3D modela može pomoći u određivanju najopasnijih mjesta na gradilištu [15]. Izrada detaljnih nacrti može se koristiti radi izbjegavanja nesporazuma, kao pomoć u prikladnom pripremanju radova, te za izradu planova (projekata) zaštite na radu. Primjenom 3D modela koordinatori građenja i izvođači mogu jednostavnije ocijeniti koja su radna mjesta zapravo opasna [16].

Nove tehnologije kao što su informacijsko modeliranje građevina (engl. *building information modelling* – BIM) mogu također pomoći u planiranju mjera zaštite na radu. Faktori rizika koji utječu na postupak građenja automatski se mogu uočiti i eliminirati pomoću metode BIM. Situacija se na gradilištu mijenja svakog dana, pa se tako novi problemi u vezi sa sigurnosti javljaju čim se prethodni problemi te vrste razriješe. Sučelje za otvoreno programiranje može se koristiti da bi se u odgovarajući program BIM instalirao automatski sustav provjere na bazi pravila [2, 17].

3. Analiza podataka o padovima s visine

Budući da se većina nesreća događa pri radu na visini, ovdje će se analizirati padovi s visine od kojih dolazi u građevinarstvu. Analiziraju se podaci o devedeset nesreća koje su se dogodile na gradilištima na kojima su se izvodile stambene i javne građevine. Svi su se analizirani slučajevi dogodili u Litvi. Analizom je obuhvaćeno razdoblje od 2007. do 2012. godine, kada su obavljene preliminarnе istražne radnje koje prethode sudskim postupcima.

Prvi je cilj bio da se pomoću dostupnih podataka odredi najopasnija visina, tj. visina koja je prouzročila najčešće padove. Rezultati analize o vezi između broja nesreća i visine pada prikazani su na slici 1.

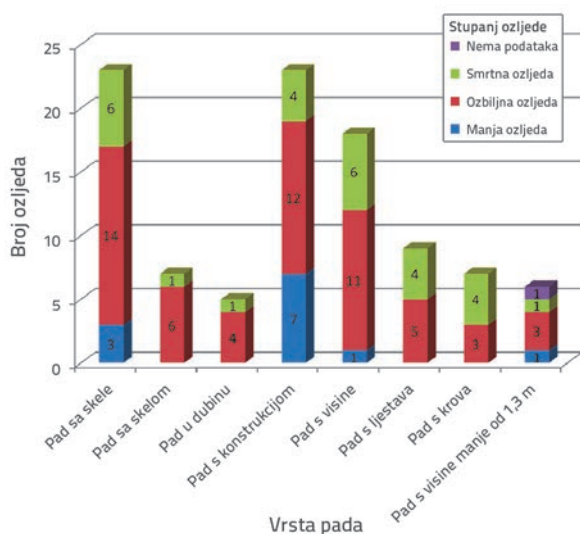


Slika 1. Dijagram padova s visine

Značajno i vrlo osjetljivo pitanje je i upotreba osobnih zaštitnih sredstava prilikom izvođenja građevinskih radova. Analizom spomenutih devedeset nesreća ustanovljeno je da su se osobna

zaštitna sredstva kao što su pojasi za čitavo tijelo i zaštitni pojasi koristila samo u deset slučajeva. Međutim, čak i u tih deset slučajeva pet je završilo smrtnim ishodom, dok su u preostalim pet slučajeva radnici pretrpjeli ozbiljne tjelesne ozljede. Stoga se može zaključiti da radnici nisu upotrebljavali osobna zaštitna sredstva na odgovarajući način, tj. iako su nosili pojase za čitavo tijelo, oni ih nisu povezali sa sigurnosnom užadi.

U devedeset slučajeva analiziranih u ovoj studiji ozlijeđeno je zapravo 98 radnika, tj. u nekim je slučajevima ozlijeđeno više od jednog radnika. U 58 slučajeva radnici su zadobili ozbiljne tjelesne ozljede, 27 nesreća je završilo smrtnim ishodom, a 12 radnika je zadobilo manje tjelesne ozljede (Slika 2.).



Slika 2. Stupanj ozljeđivanja u ovisnosti o vrsti pada

Na temelju dostupnih podataka određeni su glavni uzroci pada s visine. Od devedeset slučajeva, 24 radnika pala su sa skele. Od ta 24 slučaja, u 17 slučajeva uopće nisu podupore, ograde s rukohvatom, platforme ili sigurnosne mreže bile predviđene ili su bile neprikladne.

U šest slučajeva radnici su pali zajedno sa skalom. Do takvih je nesreća došlo zbog neravne površine, neodgovarajuće ili nestabilne skele, zato što se nisu držali uputa, zbog montaže skele na suviše strmoj rampi te zato što nije bilo podupora i ograde ili su bile neprikladne.

U pet slučajeva radnici su pali kroz nezaštićeni otvor u podu jer nije bilo ograde s rukohvatom, platformi ili sigurnosnih mreža, a ako su i postojale, nisu bile prikladne,

U 16 slučajeva radnici su pali zajedno s građevinskim elementima. To se najčešće događalo zbog nepostojanja ili neadekvatnosti podupora, ograde s rukohvatom, platformi i sigurnosnih mreža. Osim toga, nisu bile poduzete mjere za praćenje privremene nestabilnosti konstrukcija. U tri slučaja od spomenutih 16 nisu bile dobro projektirane platforme, tj. ljestve za pristup ploči ili skeli. Osim toga, radnici nisu poštivali tehnološka pravila ili su se pak na radnim mjestima nalazili tereti čija je težina bila veća od dopuštene.

Osam radnika palo je s ljestava zbog gubitka ravnoteže. Ti su se slučajevi mogli izbjeći da su korišteni sigurnosni pojasi. Jedna se nesreća dogodila u iskopu, a i tu je razlog bio nepoštivanje mjera zaštite na radu. Radove rušenja nadzirala je nedovoljno kvalificirana osoba, nisu bile poduzete zaštitne mjere, a nisu bile postavljene ni platforme ni sigurnosne mreže. Dva slučaja su se dogodila zbog nepostojanja ili neadekvatnosti podupora, ograde s rukohvatom, platformi i sigurnosnih mreža.

Slijedi analiza o razlozima koji su doveli do padova s visine. U tri slučaja do nesreća je došlo zato što nisu bila postavljena odgovarajuća kolektivna zaštitna sredstva te zato što radnici nisu dobili osobna zaštitna sredstva. Pretpostavlja se da su se radovi na krovu obavljali, a da nisu predviđene stepenice ili potrebne zaštitne mjere. U dva slučaja do nesreća je došlo zbog nepostojanja ili neadekvatnosti podupora, ograde s rukohvatom, platformi ili sigurnosnih mreža. U jednom slučaju vjerojatno visoke konstrukcije nisu bile postavljene u skladu sa zahtjevima, ili radnik nije upotrijebio sigurnosni remen pri radu na ljestvama na visini većoj od 1,3 m.

Učestalost nesreća također ovisi o vremenu u kojem se nesreća dogodila i o godišnjem dobu. Stoga su dostupni podaci korišteni u svrhu određivanja najopasnijega sata u radnom danu i najrizičnijega mjeseca u godini.

Na gradilištima prva smjena počinje raditi oko 6 sati ujutro, a rad završava u 3 sata poslijepodne. Analizom je ustanovljeno da se čak 18,9 posto nesreća dogodilo između 2 i 3 sata poslijepodne. Iz toga se može zaključiti da su radnici manje pažljivi pri kraju radnog dana. Velik broj nesreća dogodio se oko ručka, tj. jedanaest nesreća dogodilo se između 11 i 12 sati, a deset između 12 sati i 1 sat poslijepodne. Najmanji broj nesreća dogodio se u juturnjim satima.

Od 90 nesreća, 12 ih se dogodilo u lipnju, 11 u svibnju i 10 u kolovozu, tj. u mjesecima kada su građevinske aktivnosti na vrhuncu. Međutim, u razdoblju od listopada do prosinca broj je nesreća u mjesecu varirao od osam do devet. Te su nesreće najvjerojatnije bile uzrokovane lošim vremenskim uvjetima.

4. Primjena metode WASPAS-G za određivanje najracionalnijih zaštitnih mjera za izbjegavanje pada s visine

Najbolja zaštita radnika od padova s visine postiže se primjenom kolektivnih zaštitnih mjera (ograde, mreže itd.). U slučajevima kada se kolektivne zaštitne mjere ne mogu primijeniti (npr. kod izrade fasade) radnici trebaju koristiti osobna zaštitna sredstva kao što su remenje i pojasevi za čitavo tijelo.

Iz gornje analize izvedene su okolnosti u kojima je dolazilo do padova s visine zbog neodgovarajuće upotrebe ili nekorištenja zaštitnih sredstava. Zato su odgovarajuća zaštitna rješenja formilirana za sljedeće slučajeve: pad sa skele, pad u otvor, pad s konstrukcijom i pad s krova. Za svaki je slučaj formilirano pet mogućnosti koje su definirane primjenom raznih kriterija, kako bi se olakšao odabir najpovoljnijega osobnog zaštitnog sredstva.

Za odabir optimalnog rješenja predlažu se metode višekriterijskog odlučivanja (engl. *multiple criteria decision making* – MCDM). Metodologija MCDM razvijena je iz operativnog istraživanja, a bavi se projektiranjem matematičkih i proračunskih alata koje mogu koristiti donositelji odluka kao pomoć pri analizi kriterija učinkovitosti. Kraticu MCDM prvi je puta koristio Zeleny u radu objavljenom 1975. godine [18]. Razvoj i primjena te metodologije detaljno se analizira u mnogim preglednim radovima [19-21]. Poseban pregled o višekriterijskom odlučivanju i operativnom istraživanju prikazan je u radu [22]. Poseban pregled inženjerskih primjena daje se u radu [23]. Primjene u građevinarstvu prikazane su u radovima [24, 25]. Zavadskas i dr. [26] objavili su 2014. pregled publikacija (preglednih radova i knjiga) o metodologiji MCDM. U radu koji su 2016. objavili Zavadskas i dr. [27] razmotreno je i pitanje primjene hibridnih postupaka višekriterijskog odlučivanja za inženjerske potrebe.

Pravilan odabir metode izazov je koji se kontinuirano javlja u situacijama kada je potrebno donijeti odluku. Niti jedna od dostupnih metoda ne može se smatrati najboljom, bilo da se radi o rješavanju nekog općeg ili pak specifičnog problema [28]. Raznim metodama MCDM ponekad se dobivaju različita rangiranja mogućih rješenja. U ovom se radu primjenjuje metoda WASPAS koja omogućuje integraciju dviju različitih tradicionalnih metoda primjenom originalnog koeficijenta povezivanja, čime se omogućuje postizanje najvišega stupnja točnosti u analizi višekriterijskog problema. Osim toga, na temelju analize literature, koja je uglavnom bila usredotočena

na razvoj i primjenu analizirane izrazite metode, autori smatraju da se sivi dodatak metodi WASPAS može primijeniti u većini praktičnih aplikacija.

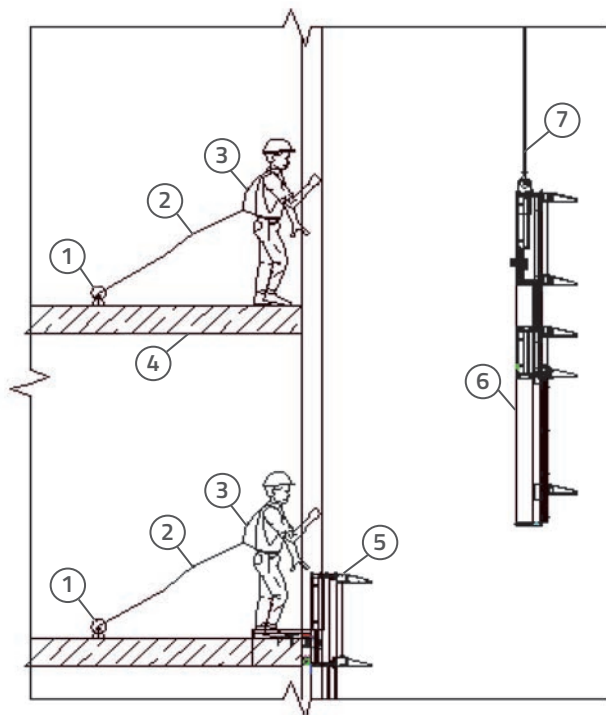
4.1. Formulacija zaštitnih mjera kojima se onemogućuje pad s visine

Kako bi se radnici zaštitili od padova s visine, trebaju se unaprijed odabrati odgovarajuće zaštitne mjere. U ovom su radu formulirane mogućnosti zaštitnih sredstava za razne vrste padove, kao što se to vidi na slici 2. Međutim u nekim se situacijama ne trebaju koristiti osobna zaštitna sredstva. Prema propisima koji se odnose na zaštitu zdravlja i sigurnost na radu, rad koji se obavlja na visinama manjima od 1,3 m ne smatra se opasnim. Dakle, u takvim se slučajevima ne trebaju upotrebljavati kolektivna ili osobna zaštitna sredstva.

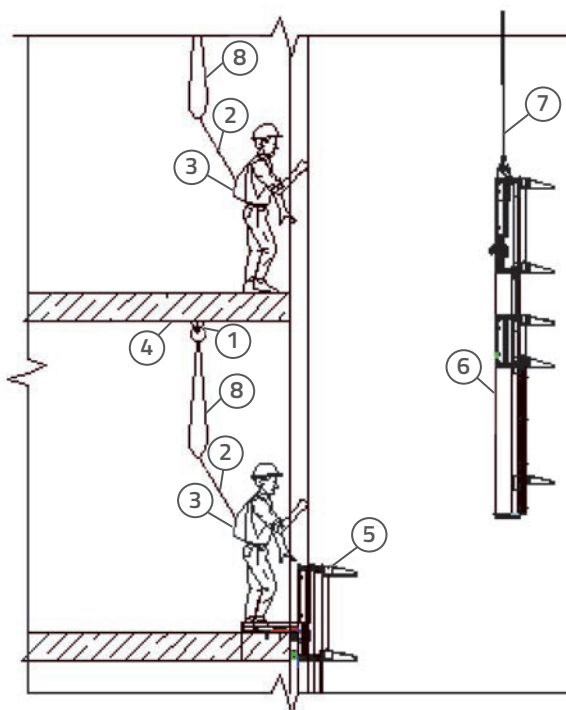
Osim toga, ni za penjanje po ljestvama nisu predviđene alternative zaštitnih sredstava, jer propisi koji se odnose na zaštitu zdravlja i sigurnost na radu definiraju upotrebu koso položenih ljestava s elementima koji onemogućuju klizanje ili pad.

Prije radova na skeli potrebno je provjeriti njenu stabilnost, ustanoviti je li radna površina ravna, ima li prekida većih od 5 mm, te ima li skela ogradu koja onemogućuje padove. Osobne zaštitne mjere za slučajeve pada radnika sa skele ili zajedno sa skelom uopće se niti ne nude, jer se takve nesreće događaju zbog nepravilno montiranih konstrukcija za rad na visini.

Alternativna rješenja formulirana su za slučajeve kada radnici obavljaju poslove blizu ruba neograđene konstrukcije ili otvora,



Slika 3. Sustav s dva užeta: 1 - zatega, 2 - sigurnosno užje; 3 - pojas, 4 - pod, 5 - montirani fasadni element, 6 - fasadni element koji se treba montirati, 7 - priveznica



Slika 4. Zatega na stropu: 1 - zatega, 2 - sigurnosno užje; 3 - pojas za čitavo tijelo, 4 - strop, 5 - montirani fasadni element, 6 - fasadni element koji se treba montirati, 7 - priveznica, 8 - remen spojen na sigurnosno užje

tj. kada obavljaju instalaterske poslove na krovu ili fasaderske radove.

Kako bi se radnici zaštitili od pada tijekom instalaterskih radova na krovu ili tijekom rada uz neograđeni rub zgrade (fasaderski radovi), treba se koristiti sustav s dva užeta (slika 3.) ili sustav sa spojnim elementom usidrenim u stropu te sa spajanjem pomoću remena (slika 4.).

Sustav s dva užeta sastoji se od zatega učvršćenih u pod, užeta provučenog kroz zatege i sigurnosnog užeta koje je s jedne strane povezano s prvim užetom a s druge s pojasom za čitavo tijelo, a nosi ga radnik. Šest stvarnih kriterija primijenjeno je za ocjenjivanje pet kombinacija sustava s dva užeta. Početni su podaci prikazani u tablici 2.

Drugi sustav također uključuje upotrebu zatega koje su ovaj put učvršćene u strop. Zatega je povezana s pojasom, a pojas je spojen sa sigurnosnim užetom. Pet stvarnih kriterija primijenjeno je za ocjenjivanje pet kombinacija. Početno donošenje odluka prikazano je u tablici 3.

Alternativna su rješenja opisana primjenom tehnoloških i ekonomskih kriterija. Cijena je svakako značajan kriterij zbog svoje odlučujuće uloge u javnoj nabavi. Međutim, za sigurno korištenje i jednostavan rad trebale bi se istovremeno razmotriti i bitne tehničke karakteristike kao što su težina pojasa, težina zaustavljača pada, dužina užeta na zaustavljaču pada i broj zatega.

Usporedno značenje kriterija određuje se na temelju stručne procjene, tj. stručnjaci ocjenjuju kriterije na temelju svog osobnog znanja i iskustva. Prema Kendallovoj teoriji podudarnosti, broj stručnjaka ne smije biti manji od sedam niti manji od broja kriterija [29, 30]. Stoga je značenje kriterija za odabir zaštitnih mjera ocijenilo ukupno jedanaest stručnjaka, tj. tri tehnička direktora građevinskih poduzeća i osam nadzornih stručnjaka s najmanje pet godina iskustva u praktičnom radu na gradilištu. Kako se mišljenja i stavovi stručnjaka u pogledu dotičnih kriterija mogu razlikovati, smatra se da je ova metoda ocjenjivanja pouzdana samo ako su stručna mišljenja usklađena, tj. ako se potvrdi značenje Kendallovog koeficijenta podudarnosti. Dokazano je da se statistička hipoteza o dogovoru stručnjaka o rangiranju može prihvatiti [31] ako je izračunana vrijednost značenja koeficijenta usklađenosti veća od kritične vrijednosti preuzete iz tablice raspodjele, pri čemu odgovarajući stupanj slobode i odabrana razina značenja trebaju biti bliski nuli.

4.2. Metoda WASPAS-G

Metoda za ocjenjivanje ponderiranih skupnih proizvoda (eng. *weighted aggregated sum product assessment* - WASPAS) predložena je 2012. godine [32]. Izvedena je iz dvije metode: model ponderiranog zbroja (eng. *Weighted Sum Model* - WSM) i model ponderiranog proizvoda (eng. *Weighted Product Model* - WPM), a u razvoju je korišten originalni koeficijent povezivanja. Primjeri korištenja metode WASPAS [32] u rješavanju građevinskih problema na bazi izrazitih podataka prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Primjena WASPAS-a u građevinarstvu

Literatura	Problem koji se analizira
Bagočius i dr., 2013. [33]	Proširenje državne morske luke
Dėjus, Antučevičienė, 2013. [34]	Ocjena zaštite zdravlja i sigurnosti na radu na gradilištu
Hashemkhani Zolfani i dr., 2013. [35]	Određivanje moguće lokacije trgovačkog centra
Šliožinytė, Antučevičienė, 2013. [36]	Poboljšanje prirodne rasvjete u starim zgradama
Staniūnas i dr., 2013. [37]	Ekološka i ekonomska ocjena obnove stambenih zgrada
Zavadskas i dr., 2013. [38]	Ocjenjivanje fasada
Vafaiepour i dr., 2014. [39]	Odabir najpovoljnije lokacije za solarnu elektranu

Metoda WASPAS-G predložena je za rješavanja problema u nesigurnoj okolini, pri čemu su primarni podaci izraženi u intervalima primjenom teorije sivih brojeva [40]. Metoda je prilagođena za odabir izvođača u području građevinarstva [40]. Autori rada predlažu primjenu nove metode WASPAS-G u svrhu ocjenjivanja sigurnosnih mjera na bazi više kriterija te za određivanja prioriteta.

Pretpostavimo da su A_i alternative, x_j su kriteriji, $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$;

gdje je:

m - broj alternativa

n - broj kriterija

$\otimes x_{ij}$ - sive ocjene i -te alternative u odnosu na j -ti atribut.

$\otimes x_{ij}$ se sastoji od dva realna broja: α je donja granica dok je β gornja granica, $\otimes x_{ij} = [\alpha, \beta]$.

Etape metode WASPAS-G [40]:

1. Određena je početna matrica za donošenje odluka (tablice 2. i 6.). $\otimes x_{ij}$ - početna siva vrijednost kriterija.
2. Normaliziraju se početne vrijednosti kriterija za donošenje odluka (tablice 3. i 7.). $\otimes \bar{x}_{ij}$ je siva normalizirana vrijednost kriterija. Kako je kriterij maksimaliziran, primjenjuje se jednadžba (1), a jednadžba (2) se primjenjuje ako je kriterij minimaliziran:

$$\otimes \bar{x}_{ij} = \frac{\otimes x_{ij}}{\max_i \otimes x_{ij}}; \quad \bar{x}_{ij\alpha} = \frac{x_{ij\alpha}}{\max_i x_{ij\beta}}; \quad \bar{x}_{ij\beta} = \frac{x_{ij\beta}}{\max_i x_{ij\beta}} \quad (1)$$

$$\otimes \bar{x}_{ij} = \frac{\min_i \otimes x_{ij}}{\otimes x_{ij}}; \quad \bar{x}_{ij\alpha} = \frac{\min_i x_{ij\alpha}}{x_{ij\beta}}; \quad \bar{x}_{ij\beta} = \frac{\min_i x_{ij\alpha}}{x_{ij\alpha}} \quad (2)$$

3. Određuje se ponderirana normalizirana matrica za donošenje odluka (tablice 4. i 8.), tj. vrijednosti svakog normaliziranog kriterija množe se s razinom značaja dotičnog kriterija. $\otimes \hat{x}_{ij}$ je siva ponderirana normalizirana vrijednost kriterija, $\otimes w_j$ - je ponder kriterija:

$$\otimes \hat{x}_{ij} = \otimes \bar{x}_{ij} \times \otimes w_j$$

(3) 5. Kako bi se poboljšala točnost i djelotvornost proračuna, koristi se i koeficijent λ :

4. Određuju se vrijednosti kriterija optimalnosti:

$$S_i = \sum_{j=1}^n \otimes \hat{x}_{ij}, j = 1, \dots, m, \text{ ili } S_i = 0.5 \sum_{j=1}^n (\hat{x}_{ij\alpha} + \hat{x}_{ij\beta}) \quad (4) \quad \lambda = 0.5 \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{\sum_{i=1}^m S_i} \quad (6)$$

$$P_i = \prod_{j=1}^n \otimes \bar{x}^{\otimes w_j}, j = 1, \dots, m, \text{ ili } P_i = \prod_{j=1}^n 0.5 (\otimes \bar{x}_{i\alpha}^{\otimes w_j} + \otimes \bar{x}_{i\beta}^{\otimes w_j}) \quad (5)$$

6. Određuju se relativne vrijednosti alternativa Q_i i definira se redoslijed važnosti (tablice 5. i 10.):

gdje je:

S_i - kriterij optimalnosti za WSM

P_i - kriterij optimalnosti za WPM.

$$Q_i = \lambda \sum_{j=1}^n \otimes \hat{x}_{ij} + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n \otimes \bar{x}^{\otimes w_j}, \quad \lambda = 0, \dots, 1 \quad (7)$$

Tablica 2. Početna matrica za donošenje odluka (sprečavanje pada s krova, sustav s dva užeta)

Red. br.	Kriterij x_j Mogućnost A_i	Broj vrsta aktivnosti za koje je pojas pogodan* [kom]	Masa pojasa [g]	Masa zaustavljača pada [g]	Duljina užeta na zaustavljaču pada [m]	Broj zatega (instalirani sustav duljine 50 m) [kom]	Cijena po kompletu [EUR]
1	A_1 : pojas za čitavo tijelo P02, zaustavljač pada CR 200, zatege, uže	9	1080	(4700–6000)	(6–12)	(4–6)	(336,17–343,06)
2	A_2 : pojas za čitavo tijelo P20, zaustavljač pada CR 200, zatege, uže	9	1350	(5300–6100)	(10–15)	(5–7)	(359,59–344,49)
3	A_3 : pojas za čitavo tijelo P50, zaustavljač pada CR 200, zatege, uže	8	1460	(6000–7500)	(15–20)	(6–8)	(364,12–477,06)
4	A_4 : pojas za čitavo tijelo P60, zaustavljač pada CR 200, zatege, uže	8	1540	(4700–5300)	(6–10)	(7–9)	(368,99–375,38)
5	A_5 : pojas za čitavo tijelo P70, zaustavljač pada CR 200, zatege, uže	8	1660	(5300–6000)	(10–12)	(8–10)	(416,9–417,40)
Smjer optimalizacije		maks.	min.	min.	maks.	min.	min.
Relativno značenje w_j		0,0719	0,2026	0,1961	0,1699	0,0850	0,2745

*Broj vrsta aktivnosti za koje je pojas pogodan - prema naznaci proizvođača (građevinski i instalaterski radovi za armiranobetonske građevine, zidane građevine, čelične ili drvene građevine, krovne konstrukcije, betonski radovi, instalaterski radovi na skeli, instalaterski radovi pomoću toranjske dizalice, akcije spašavanja, radovi koji uključuju penjanje)

Tablica 3. Normalizirana siva matrica za donošenje odluka i drugi kriterij optimalnosti

Kriteriji Mogućnosti	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	P_i	Rangiranje
A_1	1	1	1	0,3000	1	1	0,8290	1
	1	1	0,7833	0,6000	0,6667	0,9799		
A_2	0,8889	0,8000	0,8868	0,5000	0,8000	0,9349	0,8050	2
	0,8889	0,8000	0,7705	0,7500	0,5714	0,9321		
A_3	0,8889	0,7397	0,7833	0,6000	0,6667	0,9232	0,7510	3
	0,8889	0,7397	0,6267	1	0,5000	0,7047		
A_4	0,8889	0,7013	1	0,3000	0,5714	0,9111	0,7130	4
	0,8889	0,7013	0,8868	0,5000	0,4444	0,8955		
A_5	0,8889	0,6506	0,8868	0,5000	0,5000	0,8064	0,6970	5
	0,8889	0,6506	0,7833	0,6000	0,4000	0,8054		

Tablica 4. Ponderirana normalizirana siva matrica za donošenje odluka i prvi kriterij optimalnosti

Mogućnosti \ Kriteriji	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	S_i	Rangiranje
A_1	0,0719	0,2030	0,1960	0,0510	0,0850	0,2750	0,8690	1
	0,0719	0,2030	0,1540	0,1020	0,0570	0,2690		
A_2	0,0719	0,1620	0,1740	0,0850	0,0680	0,2570	0,8180	2
	0,0719	0,1620	0,1510	0,1275	0,0490	0,2560		
A_3	0,0640	0,1500	0,1540	0,1020	0,0570	0,2540	0,7620	3
	0,0640	0,1500	0,1230	0,1700	0,0430	0,1940		
A_4	0,0640	0,1420	0,1960	0,0510	0,0490	0,2510	0,7510	4
	0,0640	0,1420	0,1740	0,0850	0,0380	0,2460		
A_5	0,0640	0,1320	0,1740	0,0850	0,0430	0,2220	0,7130	5
	0,0640	0,1320	0,1540	0,1020	0,0340	0,2210		

4.3. Traženje optimalnog rješenja: sprečavanje pada pomoću sustava s dva užeta

Početa matrica za donošenje odluka koja se odnosi na sprečavanje pada s krova pomoću sustava s dva užeta prikazana je u tablici 2. Prikazano je pet mogućnosti (od A_1 do A_5) baziranih na proizvodima koji su trenutno dostupni na tržištu, pri čemu su kombinirani različiti pojasi za čitavo tijelo, zaustavljač pada s različitim duljinama užeta te razni brojevi zatega.

Proračuni u kojima se koriste jednadžbe (1-7) s rangiranjem alternativnih odluka za sprečavanje pada s krova pomoću sustava s dva užeta prikazani su u tablicama od 3. do 5.

Tablica 5. Konačni rezultati za sprečavanje pada s krova (sustav s dva užeta)

Mogućnosti	P_i	S_i	Q_i	Rangiranje
A_1	0,8290	0,8690	0,7740	1
A_2	0,8050	0,8180	0,7297	2
A_3	0,7510	0,7620	0,6587	3
A_4	0,7130	0,7510	0,6253	4
A_5	0,6920	0,7130	0,5959	5
	Σ 3,794	Σ 3,913	$\lambda = 0,4848$	

Tablica 6. Početna matrica za donošenje odluka (za zaštitu od pada u dubinu)

Red. br.	Mogućnost A_i	Kriterij x_j	Broj vrsta aktivnosti za koje je pojas pogodan* [kom]	Masa pojasa [g]	Masa zaustavljača pada [g]	Duljina užeta na zaustavljaču pada [m]	Cijena po kompletu [EUR]
1	A_1 : pojas za čitavo tijelo P02, zaustavljač pada CR 200		9	1080	(4700-6000)	(6-12)	(271,14-278,03)
2	A_2 : pojas za čitavo tijelo P20, zaustavljač pada CR 200		9	1350	(5300-6100)	(10-15)	(289,94-291,01)
3	A_3 : pojas za čitavo tijelo P50, zaustavljač pada CR 200		8	1460	(6000-7500)	(15-20)	(289,85-402,79)
4	A_4 : pojas za čitavo tijelo P60, zaustavljač pada CR 200		8	1540	(4700-5300)	(6-10)	(290,1-296,49)
5	A_5 : pojas za čitavo tijelo P70, zaustavljač pada CR 200		8	1660	(5300-6000)	(10-12)	(333,39-333,89)
Smjer optimalizacije			maks.	min.	min.	maks.	min.
Relativni značaj w_j			0,0760	0,2000	0,2190	0,1710	0,3330

*Broj vrsta aktivnosti za koje je pojas pogodan - prema naznaci proizvođača (građevinski i instalaterski radovi za armiranobetonske građevine, zidane građevine, čelične ili drvene građevine, krovne konstrukcije, betonski radovi, instalaterski radovi na skeli, instalaterski radovi pomoću toranjske dizalice, akcije spašavanja, radovi koji uključuju penjanje)

Tablica 7. Normalizirana siva matrica za donošenje odluka i drugi kriterij optimalnosti

Kriteriji Mogućnosti	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	P_i	Rangiranje
A_1	1	1	1	0,3000	1	0,8391	1
	1	1	0,7833	0,6000	0,9752		
A_2	1	0,8000	0,8868	0,5000	0,9352	0,8249	2
	1	0,8000	0,7705	0,7500	0,9317		
A_3	0,8890	0,7397	0,7833	0,6000	0,9354	0,7671	3
	0,8890	0,7397	0,6267	1	0,6732		
A_4	0,8890	0,7013	1	0,3000	0,9346	0,7555	4
	0,8890	0,7013	0,8868	0,5000	0,9145		
A_5	0,8890	0,6506	0,8868	0,5000	0,8133	0,7359	5
	0,8890	0,6506	0,7833	0,6000	0,8121		

Tablica 8. Ponderirana normalizirana siva matrica za donošenje odluka i prvi kriterij optimalnosti

Kriteriji Mogućnosti	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	S_i	Rangiranje
A_1	0,0760	0,2000	0,2190	0,0513	0,3330	0,8770	1
	0,0760	0,2000	0,1716	0,1026	0,3247		
A_2	0,0760	0,1600	0,1942	0,0855	0,3114	0,8350	2
	0,0760	0,1600	0,1687	0,1283	0,3103		
A_3	0,0676	0,1479	0,1716	0,1026	0,3115	0,7750	4
	0,0676	0,1479	0,1372	0,1710	0,2242		
A_4	0,0676	0,1403	0,2190	0,0513	0,3112	0,7910	3
	0,0676	0,1403	0,1942	0,0855	0,3045		
A_5	0,0676	0,1301	0,1942	0,0855	0,2708	0,7450	5
	0,0676	0,1301	0,1716	0,1026	0,2704		

Dobiveni rezultati pokazuju da je najbolja prva mogućnost sa sustavom s dva užeta (A_1), a najnepovoljnija je peta mogućnost (A_5).

4.4. Traženje optimalnog rješenja: zaštita od pada u dubinu

Početna matrica za donošenje odluka u vezi sa zaštitom od pada u dubinu prikazana je u tablici 6. Formulirano je pet mogućnosti (od A_1 do A_5) baziranih na proizvodima koji su trenutno dostupni na tržištu, a u njima se kombiniraju različiti pojasi za čitavo tijelo i zaustavljač pada s različitim dužinama užadi. Značajan kriterij za odabir najbolje mogućnosti bio je težina pojasa, težina zaustavljača pada, duljina užeta na zaustavljaču pada, cijena i prikladnost uređaja za obavljanje raznih aktivnosti. Na temelju ocjene stručnjaka ustanovljeno je da na odabir sigurnosnog uređaja najviše utječe cijena i težina uređaja, tj. njihovo komparativno značenje bilo je veće (tablica 6.). Prikazuju se proračuni prema jednadžbama (1-7) te rangiranje alternativnih rješenja za zaštitu od pada u dubinu. Normalizirana siva matrica za donošenje odluka, te rangiranje prema drugom kriteriju optimalnosti, prikazani su u tablici 7. Ponderirana

normalizirana siva matrica za donošenje odluka, te rangiranje alternativnih rješenja prema prvom kriteriju optimalnosti, prikazani su u tablici 8. Konačno rangiranje alternativnih uređaja za zaštitu od pada u dubinu prikazano je u tablici 9.

Tablica 9. Konačni rezultati za zaštitu od pada u dubinu

Mogućnosti	P_i	S_i	Q_i	Rangiranje
A_1	0,8391	0,8771	0,7869	1
A_2	0,8249	0,8352	0,7554	2
A_3	0,7671	0,7745	0,6775	3
A_4	0,7555	0,7907	0,6774	4
A_5	0,7359	0,7452	0,6407	5
	$\Sigma 4,023$	$\Sigma 3,923$	$\lambda = 0,4877$	

U analiziranom se slučaju vide prednosti odabrane metode MCDM. Rang analiziranih mogućnosti se mijenja ovisno o tome primjenjuje li se prvi ili drugi kriterij optimalnosti. Treća (A_3) i četvrta (A_4) mogućnost uzajamno su zamjenjive, kao što se može vidjeti u tablicama 7. i 8. U takvim slučajevima trebao bi se primijeniti koeficijent agregacije (povezivanja) koji omogućuje

postizanje najviše točnosti procjene. Primjena metode WASPAS-G za odabir najprikladnije moguće zaštite od pada u dubinu pokazuje da je najbolja prva alternativa (A1), dok za njom vrlo malo zaostaje druga alternativa (A2), a peta alternativa (A5) je najgora. Primjenom ponderiranog povezivanja dva kriterija optimalnosti ustanovljeno je da su treća (A3) i četvrta (A4) mogućnost jednake te da se odlikuju istim vrijednostima racionalnosti (tablica 9.).

5. Rasprava

Vincke [41] vjeruje da osnovna poteškoća u rješavanju problema višekriterijskog odlučivanja leži u činjenici što zapravo ne postoji optimalno rješenje takvog problema, tj. rješenje koje bi bilo bolje od svih drugih rješenja po svim kriterijima. Odgovor na to pitanja traži se u okviru brojnih metoda u kojima se predlaže rješenje problema na koje nailazimo primjenom metode MCDM. Odabir najpogodnije, najrobusnije i efektivno najkorisnije metode već je desetljećima predmet stalnih rasprava u znanstvenim krugovima [28, 42, 43]. U tu svrhu stručnjaci obično pribjegavaju Paretovom optimalnom rješenju. Stoga, dok se optimalno rješenje pokušava dobiti na razne načine, vrijedi naglasiti da se predloženom metodom može postići rješenje koje je vrlo blizu optimalnom. U tom smislu metoda WASPAS-G u velikoj je prednosti nad ostalim metodama, i to ponajviše zato što u sebi objedinjuje tri pristupa: dvije metode i teoriju sivog sustava.

Kako nije lako dokazati da je predložena metoda u stvarnosti primjenjiva, trebalo je riješiti nekoliko višekriterijskih problema. U tom su smislu predložena dva problema, tj. odabrana su alternativna zaštitna sredstva za dvije različite vrste pada. Ohrabruje činjenica da rezultati upućuju na primjenljivost predloženog pristupa za ocjenjivanje zaštitnih sredstava, pri čemu je krajnji cilj ostvariti viši stupanj zaštite od nesreća na gradilištu.

6. Zaključak

Nesreće na radu izuzetno su osjetljivo pitanje. Ljudska se pogreška smatra jednim od najčešćih razloga zbog kojih dolazi do nesreća, s obzirom na to što radnici obično nisu upoznati s osnovnim postavkama zaštite na radu, i ne mogu točno odrediti faktore opasnosti. Stoga se više pozornosti treba usmjeriti na obavještavanje i poučavanje radnika pomoću virtualnih prikaza gradilišta. Voditelji gradilišta i poslovođe trebaju stalno upozoravati radnike na mjere sigurnosti te poduzimati sve mjere da bi spriječili opasne situacije.

Analizom je obuhvaćeno devedeset nesreća koje su se dogodile na gradilištima stambenih i javnih zgrada koje su izvedene u Litvi, te za koje su od 2007. do 2012. godine obavljene istražne radnje koje prethode sudskom postupku. Analizirane nesreće upozorile su na nekorištenje ili neodgovarajuće korištenje

osobnih zaštitnih sredstava (eng. *personal protection devices* - PPS), tj. na propuste kako u primjeni odgovarajućih mjera sigurnosti tako i u izobrazbi radnika. Samo u deset od tih devedeset slučajeva korištena su osobna zaštitna sredstva, no unatoč tome pet je nesreća rezultiralo smrtnim posljedicama, a u preostalih pet zabilježene su ozbiljne tjelesne ozljede. U okviru istraživanja određena je i najopasnija visina, zatim najopasniji sati u radnom danu te najkritičniji mjeseci u godini. Dobiveni rezultati pokazuju da bi se veća pažnja trebala posvetiti zaštiti na radu u slučajevima kada se radovi obavljaju na relativno niskoj visini (2-4 m) te pri kraju radnog vremena. To bi se moglo postići trajnom suradnjom između poslovođa i radnika radi što bolje zaštite na radu, što između ostalog uključuje i osiguravanje prikladnih osobnih zaštitnih sredstava te poticanje na njihovo korištenje.

Kako bi se spriječio pad s visine, tj. pad s ruba konstrukcije (npr. tijekom montaže fasadnog zida), u radu se nude alternativna rješenja za sustav s dva užeta koji se sastoji od zatega pričvršćenih na pod i od užeta provučenog kroz te zatege. Uže je pričvršćeno na uže zaustavljača pada, dok je drugi kraj pričvršćen na pojas za čitavo tijelo, a nosi ga radnik.

Pojasi za čitavo tijelo i sigurnosna užad nude se kao sredstva za sprečavanje pada s konstrukcije. Ta se sredstva trebaju upotrijebiti tako da se jedan kraj pričvrsti na pojas, a drugi na odgovarajuće postavljenu konstrukciju. Alternativna su rješenja formulirana na bazi proizvoda koji su trenutačno dostupni na tržištu. Ta se moguća rješenja mogu korigirati u slučaju promjene potreba ili promjene situacije na tržištu.

Spomenute mogućnosti opisane su pomoću nekoliko kriterija, a njihovo je značenje određeno pomoću analize koju su proveli stručnjaci. Ustanovljeno je da na odabir sredstava za zaštitu na radu najviše utječe cijena i težina pojasa i zaustavljača pada.

Za odabir najbolje mogućnosti primijenjena je metoda WASPAS-G. Ta se metoda predlaže jer se pomoću nje može analizirati donekle nepouzdana informacija, a kao rezultat se može dobiti pouzdano i dovoljno točno rješenje koje bi moglo doprinijeti povećanju sigurnosti na gradilištu, kroz odabir najboljih mjera za sprečavanje nesreća pri radu na visini.

Mogla bi se primijeniti i neka druga odgovarajuća metodologija za analizu drugih faktora opasnosti karakterističnih za neka određena gradilišta. U tom se smislu mogu predložiti tipične mjere zaštite kojima se sprečava odron tla, odron materijala, ozljeda pri korištenju strojeva i ozljeda uslijed električnog udara. Tako dobivena rješenja mogu se usporediti u svrhu odabira najracionalnije zaštitne mjere.

Predloženim pristupom autori žele pokazati kako se formalne metode za donošenje odluka mogu primijeniti na upravljanje rizicima na raznim inženjerskim projektima i na gotovim građevinama. Krajnji cilj takvog donošenja odluka trebao bi biti oblikovanje održivije radne okoline u smislu ekonomske isplativosti i sigurnosti.

LITERATURA

- [1] Zhou, Z., Goh, M.Y., Li, Q.: Overview and analysis of safety management studies in the construction industry, *Safety Science*, 72, pp. 337-350, 2015., <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.10.006>
- [2] Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, Ch.M., Teizer, J.: BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning, *Safety Science*, 72, pp. 31-45, 2015., <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>
- [3] Dong, X.S., Choi, S.D., Borchardt, J.G., Wang, X., Largay, J.A.: Fatal falls from roofs among U.S. construction workers, *Journal of Safety Research*, 44, pp. 17-27, 2013., <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2012.08.024>
- [4] Huge increase in construction workers falling from heights, <http://blog.recipro-uk.com/2012/11/huge-increase-in-construction-workers-falling-from-heights/#.U8Q-WHaTJDE>, 01.7.2014.
- [5] State Labour Inspectorate, http://www.vdi.lt/Tekstai/Tekstai1.aspx?Tekstai_ID=190,01.7.2014.
- [6] Ozmec, M.N., Karlsen, I.L., Kines, P., Andersen, L.P.S., Nielse, K.J.: Negotiating safety practice in small construction companies, *Safety Science*, 71, pp. 275-281, 2015., <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.03.016>
- [7] Déjus, T.: Safety of technological project using multi-criteria decision making methods, *Journal of Civil Engineering and Management*, 17, pp. 177-183, 2011., <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2011.576809>
- [8] Perlman, A., Sacks, R., Barak, R.: Hazard recognition and risk perception in construction, *Safety Science*, 64, pp. 22-31, 2014., <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2013.11.019>
- [9] Sacks, R., Perlman, A., Barak, R.: Construction safety training using immersive virtual reality, *Construction Management and Economics*, 31, pp. 1005-1017, 2013., <http://dx.doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>
- [10] Dingsdag, D.P., Biggs, H., Sheahan, V.: Understanding and defining OH&S competency for construction site positions: Worker perceptions, *Safety Science*, 46, pp. 619-633, 2008., <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2007.06.008>
- [11] Hung, Y., Smith-Jackson, T., Winchester, W.: Use of attitude congruence to identify safety interventions for small residential builders, *Construction Management and Economics*, 29, pp. 113-130, 2011., <http://dx.doi.org/10.1080/01446193.2010.521758>
- [12] Leung, M., Chan, I.Y.S., Yu, J.: Preventing construction worker injury incidents through the management of personal stress and organizational stressors, *Accident Analysis and Prevention*, 48, pp. 156-166, 2012., <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2011.03.017>
- [13] Kines, P., Andersen, L.P.S., Spangenberg, S., Mikkelsen, K.L., Dyreborg, J., Zohar, D.: Improving construction site safety through leader-based verbal safety communication, *Journal of Safety Research*, 41, pp. 399-406, 2010., <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2010.06.005>
- [14] Benjaoran, V., Bhokha, S.: An integrated safety management with construction management using 4D CAD model, *Safety Science*, 48, pp. 395-403, 2010., <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.09.009>
- [15] Guo, H.L., Li, H., Li, V.: VP-based safety management in large-scale construction projects: A conceptual framework, *Automation in Construction*, 34, pp. 16-24, 2013., <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.013>
- [16] Park, C.S., Kim, H.J.: A framework for construction safety management and visualization system, *Automation in Construction*, 33, pp. 95-103, 2013., <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.012>
- [17] Zhang, S., Teizer, J., Lee, J.-K., Eastman, Ch.M., Venugopal, M.: Building information modeling (BIM) and safety: automatic safety checking of construction models and schedules, *Automation in Construction*, 29, pp. 183-195, 2013., <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>
- [18] Zeleny, M.: MCDM - state and future of arts, *Operations Research*, 23, pp. B413-B413, 1975.
- [19] Zavadskas, E.K., Turskis, Z.: Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview, *Technological and Economic Development of Economy*, 17, pp. 397-427, 2011., <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>
- [20] Liou, J. J. H., Tzeng, G.-H.: Comments on „Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview“, *Technological and Economic Development of Economy*, 18, pp. 672-695, 2012., <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2012.753489>
- [21] Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K. M. D., Zakwan, N., Valipour, A.: Multiple criteria decision-making techniques and their applications - a review of the literature from 2000 to 2014, *Economic Research-Ekonomika Istrazivanja*, 28, pp. 516-571, 2015., <http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>
- [22] Peng, Y., Shi, Y.: Editorial: Multiple criteria decision making and operations research, *Annals of Operations Research*, 197, pp. 1-4, 2012., <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-012-1104-7>
- [23] Wiecek, M.M., Ehr Gott, M., Fadel, G., Figueira, J.R.: Editorial: Multiple criteria decision making for engineering, *Omega*, 36, pp. 337-339, 2008., <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2006.10.001>
- [24] Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., Canteras-Jordana, J.C.: A review of application of multi-criteria decision making methods in construction, *Automation in Construction*, 45, pp. 151-162, 2014., <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.013>
- [25] Antucheviciene, J., Kala, Z., Marzouk, M., Vaidogas, E.R.: Solving civil engineering problems by means of fuzzy and stochastic MCDM methods: current state and future research, *Mathematical Problems in Engineering*, Article Number: 362579, 2015., <http://dx.doi.org/10.1155/2015/362579>
- [26] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Kildiene, S.: State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods, *Technological and Economic Development of Economy*, 20, pp. 165-179, 2014., <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2014.892037>
- [27] Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J., Turskis, Z., Adeli, H.: Hybrid multiple-criteria decision-making methods: a review of applications in engineering, *Scientia Iranica. Transactions A: Civil Engineering*, 23, pp. 1-20, 2016.
- [28] Saaty, T.L., Ergu, D.: When is a decision-making method trustworthy? Criteria for evaluating multi-criteria decision-making methods, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 14, pp. 1171-1187, 2015.
- [29] Podvezko, V.: Determining the level of agreement of expert estimates, *International Journal of Management and Decision Making*, 8, pp. 586-600, 2007., <http://dx.doi.org/10.1142/S021962201550025X>
- [30] Kendall, M.: *Rank correlation methods*, Hafner Publishing House. N.Y., 1955.

- [31] Kendall, M.: *Rank correlation methods*, Griffin, London, 1970.
- [32] Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antucevičienė, J., Zakarevičius, A.: Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment, *Electronics and Electrical Engineering = Elektronika ir Elektrotechnika*, 122, pp. 3-6, 2012., <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>
- [33] Bagočius, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z.: Multi-criteria selection of a Deep-Water Port in Klaipėda, *Procedia Engineering*, 57, pp. 144-148, 2013., <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.021>
- [34] Dėjus, T., Antucevičienė, J.: Assessment of health and safety solutions at a construction site, *Journal of Civil Engineering and Management*, 19, pp. 728-737, 2013., <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2013.812578>
- [35] Hashemkhani Zolfani, S., Aghdaie, M. H., Derakhti, A., Zavadskas, E.K., Varzandeh, M.H.M.: Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating, *Expert Systems with Applications*, 40, pp. 7111-7121, 2013., <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.06.040>
- [36] Šiožinytė, E., Antucevičienė, J.: Solving the problems of daylighting and tradition continuity in a reconstructed vernacular building, *Journal of Civil Engineering and Management*, 19, pp. 873-882, 2013., <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2013.851113>
- [37] Staniūnas, M., Medineckienė, M., Zavadskas, E.K., Kalibatas, D.: To modernize or not: Ecological - economical assessment of multi-dwelling houses modernization, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 13, pp. 88-98, 2013., <http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2012.11.003>
- [38] Zavadskas, E.K., Antucevičienė, J., Šaparauskas, J., Turskis, Z.: Multi-criteria assessment of facades' alternatives: Peculiarities of ranking methodology, *Procedia Engineering*, 57, pp. 107-112, 2013., <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.016>
- [39] Vafaeipour, M., Hashemkhani Zolfani, S., Varzandeh, M.H.M., Derakhti, A., Eshkalag, M.K.: Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: New application of a hybrid multi - criteria decision making approach, *Energy Conversion and Management*, 86, pp. 653-663, 2014., <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.083>
- [40] Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antucevičienė, J.: Selecting a contractor by using a novel method for multiple attribute analysis: weighted aggregated sum product assessment with grey values (WASPAS-G), *Studies in Informatics and Control*, 24, pp. 141-150, 2015.
- [41] Vincke, P.: *Multicriteria Decision-Aid*, John-Wiley, Chichester, 1992.
- [42] Ozernoy, V. M.: Choosing the best multiple criteria decision-making method, *INFOR*, 30, pp. 159-171, 1992., <http://dx.doi.org/10.1080/03155986.1992.11732192>
- [43] Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., Venkatesan, V. P.: A survey on multi criteria decision making methods and its applications, *American Journal of Information Systems*, 1, pp. 31-43, 2013.