

Primljen / Received: 25.11.2014.

Ispravljen / Corrected: 19.1.2015.

Prihvaćen / Accepted: 6.2.2015.

Dostupno online / Available online: 10.5.2015.

# Višekriterijsko ocjenjivanje nedovršenih građevinskih projekata

## Autori:



**Marius Lazauskas**, dipl.ing.građ.

Tehničko sveučilište Vilnius Gediminas, Litva  
Građevinski fakultet  
[marius.lazauskas@gmail.com](mailto:marius.lazauskas@gmail.com)



Dr.sc. **Vladislavas Kutut**, dipl.ing.građ.

Tehničko sveučilište Vilnius Gediminas, Litva  
Građevinski fakultet  
[vladislavas.kutut@vgtu.lt](mailto:vladislavas.kutut@vgtu.lt)



Prof.dr.sc. **Edmundas Kazimieras Zavadskas**,  
dipl.ing.građ.

Tehničko sveučilište Vilnius Gediminas, Litva  
Građevinski fakultet  
[edmundas.zavadskas@vgtu.lt](mailto:edmundas.zavadskas@vgtu.lt)

Izvorni znanstveni rad

**Marius Lazauskas, Vladislavas Kutut, Edmundas Kazimieras Zavadskas**

## Višekriterijsko ocjenjivanje nedovršenih građevinskih projekata

U ovom radu su prikazani mogući načini ocjene obnove nedovršenih stambenih zgrada kako bi se uspješno postigli ciljevi građevinskog projekta. Razvijeni model se pokazao učinkovitim u procjeni nedovršenih projekata u Vilniusu, glavnom gradu Litve. Odabrana su moguća rješenja za nedovršene zgrade te izražena pomoću pokazatelja, koji su potom primijenjeni za višekriterijsko ocjenjivanje koje se rješava kombinacijom metoda AHP+ARAS, MOORA i MULTIMOORA. Napravljen je računalni model prilagođen za učinkovitu i jednostavnu procjenu uspješnosti investicijskih projekata u mnogim područjima graditeljstva.

### Ključne riječi:

nedovršene zgrade, AHP, ARAS, MOORA, MULTIMOORA, građevinski projekti

Original scientific paper

**Marius Lazauskas, Vladislavas Kutut, Edmundas Kazimieras Zavadskas**

## Multicriteria assessment of unfinished construction projects

Possible ways for assessing completion of unfinished residential buildings to achieve appropriate construction project objectives are presented in the paper. The developed model enables an efficient assessment of unfinished projects in Vilnius, the capital of Lithuania. Unfinished building solutions, expressed through indicators, were selected and used to formulate a multicriteria task to be solved by combinations of methods AHP+ARAS, MOORA and MULTIMOORA. A computational model was created and adjusted for a simple and efficient assessment of the adequacy of investment projects in many areas of construction.

### Key words:

unfinished buildings, AHP, ARAS, MOORA, MULTIMOORA, construction projects

Wissenschaftlicher Originalbeitrag

**Marius Lazauskas, Vladislavas Kutut, Edmundas Kazimieras Zavadskas**

## Mehrkriterielle Bewertung unvollendeter Bauvorhaben

In dieser Arbeit werden mögliche Methoden zur Bewertung der Wiederaufnahme unvollendeter Wohnbauprojekte dargestellt, um die Ziele der Bauvorhaben zu erreichen. Das entwickelte Model hat sich zur Beurteilung unvollendeter Projekte in Vilnius, der Hauptstadt von Litauen, als wirksam erwiesen. Mögliche Lösungen für unvollendete Gebäude sind ausgesucht und mittels Indikatoren dargestellt, die zur mehrkriteriellen Bewertung aufgrund einer Kombination der Methoden AHP+ARAS, MOORA und MULTIMOORA angewandt wurden. Ein Computermodell, das zur wirksamen und einfachen Erfolgsbeurteilung von Investitionsprojekten in vielen Bereichen des Bauwesens geeignet ist, wurde entwickelt.

### Schlüsselwörter:

unvollendete Gebäude, AHP, ARAS, MOORA, MULTIMOORA, Bauprojekte

## 1. Uvod

Globalna financijska kriza koja je počela polako tijekom prvog i drugog tromjesečja 2007., a nastavila se u 2008. godini, nastala je zbog prezaduživanja građana i nepovoljne situacije na Wall Streetu [1-4]. Nakon propasti korporacije *Lehman Brothers* u jesen 2008., prekida financijskih veza i pojave nestabilnog financijskog tržišta - među bankarima i kreditnim zaduženicima je zavladao strah zbog utjecaja kriza na ekonomsku situaciju [5]. Mnoge financijske institucije bile su na rubu propasti, a neke su zaista i bankrotirale. U međuvremenu nastupilo je razdoblje dugotrajne recesije, a kao posljedica toga industriju je pogodila financijska kriza [1].

Građevinski sektor ima velik utjecaj na nacionalnu ekonomsku politiku te je izravni pokazatelj njezinog stanja. Stanje u građevinskom sektoru također ovisi o općenitim ekonomskim procesima koji su uvjetovani fluktuacijama nacionalnih i međunarodnih ekonomskih sustava. Litvanska građevinska industrija bila je pogođena krizom kao i zapadne zemlje. Krajem 2013. i početkom 2014. počeo je oporavak u tom sektoru. Litva poput mnogih drugih zemalja širom svijeta ima desetke kvalitetnih građevinskih projekata zgrada i stambenih kompleksa.

Razvoj gradova obuhvaća stare gradove, stambena područja i predgrađa, ali postoji problem o kojem se ne raspravlja, a to su nedovršeni građevinski projekti. Tvrtke koje su gradile takve projekte morale su odustati od njih zbog krize, promjene bankovne politike i promjena na tržištu nekretnina. Mnoge od njih su propale tijekom krize.

Problemi koji nastaju u projektima komplicirani su i uključuju veliku neizvjesnost i subjektivnost. U usporedbi s drugim industrijama, građevinska industrija je izložena većim rizicima zbog jedinstvenih pojava u građevinskim aktivnostima, poput kasnog roka za dovršenje projekta koji uključuje kompleksne procese, neuređen okoliš, financijsku napetost i dinamičke planove građenja [6]. Pri rješavanju problema koji nastaju u krizi na tržištu nekretnina, države imaju različite prioritete i usvajaju različite pristupe za upravljanje kriznim situacijama u graditeljstvu. Premda ne iznenađuje činjenica da države imaju različita stajališta i poglede u vezi s ekonomijom, tržištem, postoje i pravne, tehnološke, tehničke, kulturne, psihološke te druge razlike. Štoviše, nemaju sve države isto shvaćanje građevinarstva ili kriznog menadžmenta, te prihvaćaju različite strategije. Tradicionalne analize o krizi u građevinarstvu i nekretninama se temelje na ekonomskim, pravnim/regulativnim, institucionalnim i političkim stajalištima. Manje se pažnje posvećuje socijalnim, kulturološkim, etičkim, psihološkim i obrazovnim aspektima u kriznom menadžmentu [7].

Sada kad su se ekonomski i financijski procesi (bankroti, nezaposlenost, nemogućnost otplaćivanja kredita, smanjenje plaća, smanjenja cijena nekretnina i različita očekivanja) stabilizirali, a tržište nekretnina u Litvi se oporavilo, treba vidjeti koje sve mogućnosti postoje da se završe nedovršeni građevinski projekti stambenih zgrada i zgrada javne namjene.

Brojni nedovršeni spomenici kulturne baštine nalaze se u starom dijelu grada. Svaka napuštena zgrada narušava njenu moralnu vrijednost i treba biti iskorištena.

Cilj je istraživanja navesti mogućnosti kako bi se odredilo najbolje rješenje za građevinske projekte koje ispunjava zahtjeve investitora, stanara i drugih interesnih sudionika. Rješenje za nedovršene zgrade ima važnu ulogu u eliminaciji glavnog negativnog utjecaja u narušavanju izgleda javnih površina, opasnosti za obližnje stanovnike i povrede koncepta održivog razvoja. Uz to, privatni investitori i državne institucije dobit će informacije o potencijalno poželjnim gradskim projektima.

Istraživanje sadrži informacije o pokazateljima koji će se primijeniti pri definiranju mogućih alternativa i izbora metode odabira podataka. *AHP* metodom se utvrđuju mjerodavni kriteriji na temelju iskazanih razina utjecaja uključenih dionika.

Najučinkovitije metode su odabrane primjenom optimizacije (eng. *Additive Ratio Assessment - ARAS*), na temelju analize omjera (*MOORA*) i *MOORA plus* cijeli višestruki oblik (*MULTIMOORA*), a dobiveni rezultati su međusobno uspoređeni.

## 2. Određivanje područja implementacije projekta i određivanje kriterija za procjenu

Uporabni vijek građevina sastoji se od niza procesa, počevši od početnog projektiranja, preko izvođenja projekta, održavanja i nadzora [8].

Grad Vilnius, njegov okolni krajolik i panorama stalno se mijenjaju zbog učestalih građevinskih radova i razvojnih projekata. Ta promjena se posebno odnosi na nove zgrade izgrađene od suvremenih materijala [9]. Sredinom 2013. u Vilniusu je bilo 95 nedovršenih zgrada i zgrada koje su se koristile za neke druge svrhe, a ne za izvornu namjenu, prema priopćenju gradske uprave Vilnusa. Nakon oporavka građevinarstva, gradske su vlasti odredile prioritete da povećaju potencijalno gradsko područje, ali da se istodobno spriječi širenje predgrađa, dok investitori također priželjkuju upotrebu slobodnog gradskog područja na kojem se mogu graditi atraktivni građevinski projekti za upravnu, stambenu i javnu namjenu. Na znatnom dijelu površine vrijednoga gradskog prostora se nalaze stare, napuštene zgrade u samom središtu grada. Osim toga, u Vilniusu ima nekoliko zastarjelih postrojenja, napuštenih stambenih zgrada i neiskorištenog komercijalnog prostora u stambenim područjima.

Broj nedovršenih građevinskih projekata u bilo kojem gradu u svijetu mogao bi se procijeniti primjenom nesofisticiranih metoda procjene. Grad Vilnius nije iznimka. Vizualnim pregledom grada odabrano je pet velikih nedovršenih građevinskih projekata, a raspored je prikazan na slici 1. Izgled jednog takvog projekta prikazan je na slici 2. Općenito, broj nedovršenih projekata ovisi o dostupnosti informacija vezanima za te projekte i mogućnostima primjene tih informacija za javno dobro.

Zbog toga su autori odabrali pet velikih nedovršenih građevinskih projekata u Vilniusu, a s uspješnim završetkom radova ostvarit će se maksimalna ekonomska i socijalna dodana

vrijednost grada. Autori su procijenili vrijednost izgradnje i druge statističke podatke.



Slika 1. Lokacija nedovršenih projekata u Vilniusu (\*središte grada)



Slika 2. Projekt  $a_1$

Tablica 1. Kriteriji za procjenu mogućnosti

Kriterij	Opis
$x_1$	Potrebna su financijska ulaganja za kupnju zgrade u sadašnjem stanju [miliona EUR]
$x_2$	Potrebna su financijska ulaganja za dovršavanje zgrade [miliona EUR]
$x_3$	Cijena kvadratnog metra za ugledno područje u Vilniusu [EUR]
$x_4$	Iznajmljivanje trgovine, mjesečni najam po 1 m <sup>2</sup> u uglednom području u Vilniusu [EUR]
$x_5$	Vrijeme putovanja iz središta grada javnim prijevozom tijekom prometne gužve [h]
$x_6$	Stanovi za iznajmljivanje u području [broj]
$x_7$	Građevinsko zemljište [m <sup>2</sup> ]
$x_8$	Tržišna vrijednost građevinskog zemljišta [miliona EUR]
$x_9$	Slobodna parkirališna mjesta za korisnike [broj]
$x_{10}$	Stanovi za prodaju u gradu i izvan njega [broj]

U bilo kojem gradu na svijetu možemo vidjeti interakciju okoliša s interesima različitih dionika. Vilnius nije iznimka, a interakcija se odnosi na vladine agencije, tvrtke, vjerske zajednice, investitore, stanovnike i turiste. Priroda i društvo su u bliskoj interakciji, koju je potrebno održavati zbog sigurnosti obje strane. Da bi se osigurao interes većeg broja skupina dionika, potrebne su računalne metode kako bismo uzeli u obzir doprinos svake skupine dionika u odluci. Da bismo riješili taj problem, tj. izgradili projekt, određeni su kriteriji procjene navedeni u tablici 1.

Kako bi se mogla provesti analiza, svi projekti su označeni kao nedovršeni, iako su na projektima pojedini dijelovi bili dovršeni. Kriterij procjene  $x_1$  pokazuje ukupan iznos koju tvrtke moraju uložiti u projekt. Prethodna ulaganja u nedovršeni projekt mogu se procijeniti na dva načina, primjerice da investicijski projekt nudi pravna osoba ili stečajni upravitelj zadužen za raspolaganje imovinom u slučaju stečaja, koji nude raspoloživu imovinu za odgovarajuću cijenu.

Prednost tog kriterija može se ocijeniti na dva načina: što je manja investicija, veći su izgledi da se odabere prikladna tehnologija, kako bi se osigurali visoko kvalitetni radovi na građevini, te razmatranje prostornih rješenja; ako se ulaganje povećava, građevine će se završiti što je prije moguće. Racionalno rješenje bila je primjena koncepta održive gradnje: traženo je minimalno ulaganje s ciljem razumne revizije rješenja projekta primjenom suvremenih tehnologija i ispunjavanja potreba korisnika.

Kriterij procjene  $x_2$  govori o osnovnoj analizi cijena nekretnina, kako bi se procijenilo koliko treba uložiti u takav projekt. Građevinske procjene su provedene zbog pretpostavki da će se sve te građevine koristiti za stambenu gradnju s ciljem dovršetka građevine s potpuno opremljenim interijerima, vodovodnim sustavom i instalacijama te svim ostalim sadržajima u stanovima koji su potrebni za boravak u njima.

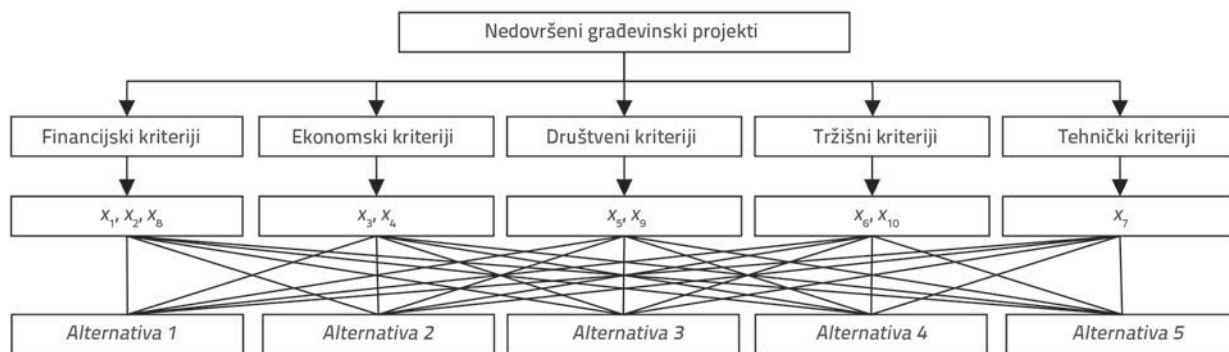
Kriteriji procjene  $x_3$ ,  $x_4$ ,  $x_6$  i  $x_{10}$  odnose se na mogućnost procjene odnosa između trenutnog stanja na tržištu nekretnina i planiranog projekta.

Kriteriji su odabrani s obzirom na stanje na tržištu nekretnina i područje u kojem se nedovršeni projekt nalazi. Kriterijem se ocjenjuje hoće li građevina nakon izgradnje biti atraktivna za prodaju ili najam. Što je građevina atraktivnija korisnicima, prije će se isplatiti ulaganja u projekt i ostvariti dobit.

Autori ovog rada proveli su manje istraživanje, koristili su se javnim prijevozom (autobusima i trolejbusima) da bi stigli do nedovršenih projekata. Vrijeme putovanja ( $x_5$ ) određeno je tijekom prometne gužve, između 7.30 i 8.00 sati te između 16.45 i 17.30, kada većina ljudi u Litvi ide ili se vraća s radnog mjesta ili škole. Referentne točke putovanja bile su između nedovršenih građevina i središta staroga dijela grada.

U skladu s principima održive gradnje, zelene površine bi trebale dominirati u gradskom krajoliku, međutim, u ovom slučaju, omjer veličine građevinskog zemljišta i ukupne investicije u projekt je najmanji mogući.

Vilnius se poput drugih gusto naseljenih i urbanih gradova suočava s problemom parkirališnih mjesta u blizini stambenih



Slika 3. Model hijerarhijske strukture nedovršenih građevinskih projekata

zgrada. Nekoliko čimbenika utječe na taj problem, poput napuštenih automobila u blizini kuća, poboljšanja financijske situacije stanovnika, povećanja obitelji, te potrebe da obitelj treba više od jednog automobila.

Na osnovi položaja u blizini građevine, kriterijem  $x_9$  može se procijeniti vjerojatnost slobodnog parkirališnog mjesta u blizini stana. Kriterij se ocjenjuje s obzirom na faktore poput okoliša ispred zgrade, veličina građevinskog zemljišta, namjena drugih građevina, mogućnost širenja itd.

### 3. Određivanje važnosti faktora primjenom analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP)

Analitički hijerarhijski proces (eng. *Analytic Hierarchy Process - AHP*) jest metoda višekriterijskog odlučivanja (eng. *Multi-criteria decision making - MCDM*) koja pomaže donositelju odluka da se suoči s više konfliktnih i subjektivnih kriterija (primjerice mjesto ili izbor investicije, rangiranje projekata itd.) [10].

Popularna dvostruka metoda usporedbe *AHP*, u kojoj su pisali Saaty [11] i Saaty i suradnici [12], široko je primjenjivana. Dvostruke usporedbe omogućuju veću kompatibilnost procjena. *AHP* rješava probleme na osnovi triju načela [13], a to su:

1. hijerarhijska struktura (slika 3. prikazuje trenutni model istraživanja)
2. matrica dvostruke usporedbe
3. metodologija dodjeljivanja važnosti.

Prednost metode *AHP* za razliku od drugih metoda za višekriterijsko odlučivanje jest fleksibilnost, praktičnost za donositelje odluka i mogućnost provjere kompatibilnosti [14]. Metoda *AHP* može procijeniti kvalitativne (subjektivne) i kvantitativne (objektivne) attribute alternativa. Metodologija dvostruke usporedbe smanjuje pristranost u odlučivanju. Metoda *AHP* primjenjuje relativne vrijednosti, stoga se smatra prikladnom metodom za rad sa svojstvima različitih dimenzija. Tradicionalno višekriterijsko odlučivanje procjenjuje sva svojstva na istoj razini, što istovremeno ograničava usporedbu brojčanih heterogenih alternativa [15]. Donositelj odluke može odrediti svojstva obično ili numeričkom vrijednosti o važnosti svakog kriterija [6].

U stvarnosti je vrlo zahtjevno precizirati podatke koji se odnose na mjerenje faktora, zbog moguće ljudske pogreške. Donositelji odluka također preferiraju izraze napisane običnim jezikom nego točne brojeke pri procjeni kriterija i alternativa. [16]. Metoda *AHP* omogućuje prepoznavanje važnosti pokazatelja na jednoj razini hijerarhije protiv druge, ili nestrukturirane važnosti pokazatelja. Suština metode nalazi se u matrici dvostruke usporedbe [17]. Stanovnici, potencijalni investitori, stručnjaci za zaštitu okoliša, arhitekti i građevinske tvrtke ispitani su kako bi se odredila stajališta dionika na građevinskom projektu. Ispitano je pet reprezentativnih dionika, a djeluju u interesu investitora. Autori ovog rada dobili su, pomoću procjena, uvid u sve mogućnosti koje se pružaju na trenutnom tržištu nekretnina da bi se učinkovito završili nedovršeni projekti. Predstavnici interesnih skupina procijenili su faktore (tablica 2.) na Saatyjevoj ljestvici [18].

Tablica 2. Matrica dvostruke usporedbe prema mišljenju eksperata

Ekspert <sub>i</sub> (i = 1 do 10)	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
$x_1$	1	1	3	5	4	5	4	3	4	5
$x_2$	1	1	3	4	5	4	5	3	4	6
$x_3$	1/3	1/3	1	2	4	3	3	1	3	2
$x_4$	1/5	1/4	1/2	1	4	3	4	2	4	1
$x_5$	1/4	1/5	1/4	1/4	1	2	3	1/4	2	1
$x_6$	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1	3	1/8	2	2
$x_7$	1/4	1/5	1/3	1/4	1/3	1/3	1	1/4	3	2
$x_8$	1/3	1/3	1	1/2	4	8	4	1	5	4
$x_9$	1/4	1/4	1/3	1/4	1/2	1/2	1/3	1/5	1	2
$x_{10}$	1/5	1/6	1/2	1	1	1/2	1/2	1/4	1/2	1

Tablica 2. prikazuje primjer faktora procjene na osnovi reprezentativne skupine stanovnika. U tablici 3., procjene predstavnika interesnih skupina primijenjene su u proračunima pomoću metode *AHP* [17]. Izlazni podaci tih proračuna omogućuju određivanje važnosti faktora, na temelju koje će se odrediti jedna mogućnost. Kada se odredi važnost faktora, moguće je dodatno procijeniti



Tablica 3. Redosljed i rezultati izračuna svojstvenog vektora  $\omega$ 

Koraci u proračunu	Kriterij									
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
<b>Korak I</b>	$\omega''_1$	$\omega''_2$	$\omega''_3$	$\omega''_4$	$\omega''_5$	$\omega''_6$	$\omega''_7$	$\omega''_8$	$\omega''_9$	$\omega''_{10}$
Izračunani elementi $a_{ij}$ svih eksperata	$\omega''_i = \prod_{j=1}^{10} a_{ij}$									
Množenje svakog reda	72,000.00	86,400.00	48.00	9.60	0.0094	0.0042	0.0007	142.22	0.0002	0.0005
<b>Korak II</b>	$\omega'_1$	$\omega'_2$	$\omega'_3$	$\omega'_4$	$\omega'_5$	$\omega'_6$	$\omega'_7$	$\omega'_8$	$\omega'_9$	$\omega'_{10}$
n-ti korijen izračunan iz svakog reda $\omega''_i$ ( $n = 10$ )	$\omega'_i = \sqrt[10]{\omega''_i} = \sqrt[10]{\prod_{j=1}^{10} a_{ij}}$									
Deseti korijen svih pomnoženih kriterija $a_{ij}$	3,060	3,116	1,473	1,254	0,627	0,578	0,483	1,642	0,421	0,470
<b>Korak III</b>	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$	$\omega_5$	$\omega_6$	$\omega_7$	$\omega_8$	$\omega_9$	$\omega_{10}$
Svaki element $\omega'_i$ podijeljen je sa zbrojem svih elemenata II	$\omega_i = \frac{\sqrt[10]{\prod_{j=1}^{10} a_{ij}}}{\sum_{i=1}^{10} \sqrt[10]{\prod_{j=1}^{10} a_{ij}}}$									
Normalizirana vrijednost $\omega_i$ (svojstveni vektor) svih kriterija	0,233	0,237	0,112	0,096	0,048	0,044	0,037	0,125	0,032	0,036

Tablica 4. Konzistentnost matrice i mišljenja eksperata

Stupanj proračuna	Kriterij									
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
<b>Korak IV</b>	$\lambda'_{\max,1}$	$\lambda'_{\max,2}$	$\lambda'_{\max,3}$	$\lambda'_{\max,4}$	$\lambda'_{\max,5}$	$\lambda'_{\max,6}$	$\lambda'_{\max,7}$	$\lambda'_{\max,8}$	$\lambda'_{\max,9}$	$\lambda'_{\max,10}$
Izračunane vrijednosti najviše svojstvene vrijednosti $\lambda'_{\max}$ elementa	$\lambda'_{\max,i} = \frac{\sum_{j=1}^{10} a_{ij} \omega_j}{\omega_i}$ ; $\lambda'_{\max,i} = \frac{\sum_{j=1}^{10} \lambda'_{\max,i}}{10}$									
Element stupca sa važnosti $\omega_i$ i svojstvena vrijednost svakog eksperata	10,846	10,57	10,577	11,974	11,22	11,487	11,759	11,479	11,417	11,487
<b>Korak V</b>	$S_i = \frac{S_i}{S_A} = \frac{\lambda'_{\max,i} - m}{m - 1} = \frac{\lambda'_{\max,i} - 10}{1.49}$									
Konzistentnost matrice										
Vrijednost matrice, nasumična konzistentcija $S_A$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Konzistentnost	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48
Konzistentnost	$S_i = 0,096$									
Gornja vrijednost je 0.1, matrica je konzistentna, a procjene eksperata su usklađene										

dosljednost matrice koju su postavili stručnjaci i usporediti njihova stajališta. Inverzne matrice drugog reda uvijek su dosljedne. Odnos između izračunanog indeksa  $S_i$  te matrice i prosječne vrijednosti indeksa  $S_A$  je dosljedan. Vrijednost indeksa konzistentcije  $S$  manja ili jednaka 0.1 prihvatljiva je pod uvjetom da je matrica konzistentna [19] (tablica 4.).

#### 4. Određivanje problema primjenom metoda višekriterijskog odlučivanja

Nekoliko metoda primjenjuje se za rješavanje ovakvog problema višekriterijskog odlučivanja: *ARAS*, *MOORA* i *MULTIMOORA*. Navedene tri metode upotrijebljene su da

se utvrdi utječe li izbor metode na dobivene rezultate. Izborom metoda za višekriterijsko odlučivanje, za razliku od pregleda znanstvene literature dobro poznatim metodama za rješavanje problema koji se navode, predviđa se odabir metoda koje omogućuju procjenu podataka o stajalištima interesnih sudionika s jedne strane i eliminiranju subjektivnosti u drugom slučaju. U prvom slučaju, metodom se procjenjuje faktor ljudskog razmišljanja, koji se temelji na metodi *ARAS*. U podacima procjene primjenom metode *ARAS* korištene su važnosti kriterija određene metodom *AHP*. Druge metode, kao što su računalne metode *MOORA* i *MULTIMOORA*, eliminiraju rizik subjektivnosti zbog propusta u procjeni važnosti kriterija. Te metode pružaju donositelju odluka priliku da uspoređi rezultate metoda i donese ispravnu odluku.

#### 4.1. Rješavanje problema uz pomoć metode *ARAS*

Svaki građevinski objekt ili proizvod ili slični proizvod mogu se opisati višekriterijskim atributima, kao što su projektni rokovi, mikrovrijednost ili makrovrijednost u regionalnom ili gradskom kontekstu, itd.

Za rješavanje tih problema i procjenu pet razmatranih projekata odabrano je nekoliko kriterija koji su prikazani u tablici 1. Svaki od pet nedovršenih projekata ocijenjen je odgovarajućim kriterijima i određeni su parametri (prikazani su u tablici 5.) svakog kriterija.

Tablica 5. Pokazatelji mogućnosti

Kriterij	Mogućnosti (alternative)				
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$x_1$	1,611	1,278	0,763	1,343	1,175
$x_2$	12,843	10,071	5,318	10,645	9,505
$x_3$	1,606	1,261	1,216	1,332	1,335
$x_4$	7,70	7,30	5,30	4,90	5,80
$x_5$	0,63	0,68	0,20	0,78	0,58
$x_6$	9	7	2	4	8
$x_7$	1,768	980	1,842	1,008	1,615
$x_8$	0,686	0,378	0,140	0,460	1,050
$x_9$	5	9	4	10	8
$x_{10}$	157	96	114	153	157

Izabrano je pet mogućnosti (alternativa) upotrebom različitih vrijednosti kriterija. Stoga je važno provesti integriranu procjenu i odrediti koja je od mogućnosti najbolja za projekt i njegovo učinkovito završavanje i uspješnost. U većini slučajeva, ljudska razmišljanja i prosudbe su nejasne i ne mogu se izraziti konkretnim brojčanim vrijednostima. Ljudsko razmišljanje i ponašanje suočeno je s problemima donošenja loših odluka u neizvjesnoj okolini. Odlučivanje u proračunu je subjektivno [20]. Da bi se riješio taj problem, primijenjena je višekriterijska metoda odlučivanja *ARAS*. Metoda *ARAS* se temelji na

Tablica 6. Izmijenjena matrica odlučivanja s važnostima kriterija

Kriterij	Važnost kriterija		Optimalno	Mogućnosti					
				$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$x_1$	$\tilde{w}_1$	0,233	min.	1/0,763	1/1,611	1/1,278	1/0,763	1/1,343	1/1,175
$x_2$	$\tilde{w}_2$	0,237	min.	1/5,318	1/12,843	1/10,071	1/5,318	1/10,645	1/9,505
$x_3$	$\tilde{w}_3$	0,112	maks.	1,606	1,606	1,261	1,216	1,332	1,335
$x_4$	$\tilde{w}_4$	0,096	maks.	7,7	7,7	7,3	5,3	4,9	5,8
$x_5$	$\tilde{w}_5$	0,048	min.	1/0,20	1/0,63	1/0,68	1/0,20	1/0,78	1/0,58
$x_6$	$\tilde{w}_6$	0,044	min.	1/2	1/9	1/7	1/2	1/4	1/8
$x_7$	$\tilde{w}_7$	0,037	min.	1/1,008	1/1,768	1/980	1/1,842	1/1,008	1/1,615
$x_8$	$\tilde{w}_8$	0,125	min.	1/0,140	1/0,686	1/0,378	1/0,140	1/0,460	1/1,050
$x_9$	$\tilde{w}_9$	0,032	maks.	10	5	9	4	10	8
$x_{10}$	$\tilde{w}_{10}$	0,036	min.	1/96	1/157	1/96	1/114	1/153	1/157
Vrijednost optimalne funkcije i-te mogućnosti	$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^{10} \left( \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^{10} x_{ij}} \right) \cdot \omega_{a,j}$			0,247	0,12	0,144	0,226	0,133	0,13
Stupanj korisnosti	$K_i = \frac{S_i}{S_0}$			1	0,485	0,585	0,918	0,54	0,526

argumentima da se fenomen kompliciranog svijeta može razumjeti primjenom jednostavnih usporedbi [9]. To objašnjava promatranu mogućnost kao zbroj vrijednosti normaliziranih kriterija i kriterija važnosti. Ti kriteriji opisuju optimalnu mogućnost i stupanj optimizacije koji se postiže usporedbom mogućnosti. Za rješavanje problema primijenjeni su alternativni faktori prikazani u tablici 5 i njihove važnosti prikazane u tablici 3. Važnosti koje se odnose na faktore različitih dimenzija prikazane u tablici 5 treba standardizirati tijekom rješavanja problema primjenom metode ARAS.

Za standardiziranje dobivenih dimenzija predlaže se određivanje i izračun (ako je faktor minimiziran) maksimalnog i minimalnog smjera metode ARAS. Ako se težina kriterija izrazi maksimizacijom smjera, tada se primjenjuje sljedeća formula:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (1)$$

U slučaju da se težina kriterija izrazi minimizacijom smjera, onda se računa na sljedeći način:

$$x_{ij}^* = \frac{1}{x_{ij}}; \quad \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (2)$$

gdje je:

m - broj mogućnosti  $x_{ij}$  matrica vrijednosti

i - mogućnost

j - faktor

$x_{ij}^*$  - minimalizirana vrijednost faktora

$\bar{x}_{ij}$  - standardizirana vrijednost faktora.

Kada su težine kriterija standardizirane, sve težine različitih mjernih jedinica opisanih u prvom koraku dobivaju svoje ekvivalentne vrijednosti. Uzimajući u obzir proračun, optimalna funkcija  $\tilde{S}_j$  (tablica 6.) ima direktnu i proporcionalnu vezu s vrijednostima  $x_{ij}$  i važnostima  $\tilde{w}_j$  ispitanih kriterija i njihovog relativnog utjecaja na konačni rezultat. Dakle, što je veća vrijednost funkcije optimalnosti  $\tilde{S}_j$ , veća je učinkovitost alternative.

Mogućnosti se mogu poredati po prioritetima na osnovi vrijednosti  $S_j$ , pa stoga ta metoda predstavlja prikladan alat za procjenu i poredak mogućih rješenja [20].

Tablica 7. Proračun metode MOORA

Koraci u proračunu		Pokazatelj mogućnosti										
		$a_i$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
Korak I	Mogućnosti	$a_1$	1,611	12,843	1,606	7,7	0,63	9	1,768	0,686	5	157
		$a_2$	1,278	10,071	1,261	7,3	0,68	7	980	0,378	9	96
		$a_3$	0,763	5,318	1,216	5,3	0,2	2	1,842	0,14	4	114
		$a_4$	1,343	10,645	1,332	4,9	0,78	4	1,008	0,46	10	153
		$a_5$	1,175	9,505	1,335	5,8	0,58	8	1,615	1,05	8	157
Korak II Normalizacija podataka	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}$	$a_1$	0,57	0,575	0,529	0,547	0,464	0,615	0,001	0,492	0,296	0,006
		$a_2$	0,452	0,451	0,416	0,518	0,501	0,479	0,0003	0,271	0,532	0,004
		$a_3$	0,27	0,238	0,401	0,376	0,147	0,137	0,001	0,1	0,237	0,005
		$a_4$	0,475	0,477	0,439	0,348	0,574	0,273	0,0003	0,33	0,591	0,006
		$a_5$	0,416	0,426	0,44	0,412	0,427	0,547	0,001	0,752	0,473	0,006
Korak III Sustav RS		$y_j^* = \sum_{i=0}^3 x_{ij}^* - \sum_{i=g+1}^7 x_{ij}^*, \quad y_2^* = (0,529+0,547+0,296)-(0,570+0,575+0,464+0,615+0,001+0,492+0,006) = -1,351$ $y_2^* = -0,691; y_3^* = -0,116; y_4^* = -0,758; y_5^* = -1,250$										
		Poredak: $a_3 > a_2 > a_4 > a_5 > a_1$										
Korak IV Referentna točka (RP)		$\text{Min} \left\{ \max_{(i)}  r_i - x_{ij}^*  \right\}$										
		r1	0,27	0,238	0,529	0,547	0,147	0,137	0,0003	0,1	0,591	0,004
		$a_1 = 0,479$		$a_2 = 0,353$		$a_3 = 0,355$		$a_4 = 0,427$		$a_5 = 0,652$		
		Poredak: $a_3 > a_2 > a_4 > a_5 > a_1$										

To rješenje pokazuje da se mogućnosti mogu poredati na sljedeći način:

$$a_3 > a_2 > a_4 > a_5 > a_1$$

Kombinirana primjena metoda *AHP* i *ARAS* pokazala je da je najprikladniji projekt  $a_3$ .

### 4.2. Rješavanje problema primjenom metode MOORA

Brauers i Zavadskas [21] predložili su metodu *MOORA*. Metoda počinje matricom  $X$  u kojoj element  $x_{ij}$  označava  $i$ -tu mogućnost  $j$ -tog objekta ( $i = 1, 2, \dots, m$  i  $j = 1, 2, \dots, n$ ). Drugi korak u rješavanju problema je standardizacija svih izlaznih podataka u različitim mjernim jedinicama kao nedimenzionirane vrijednosti. Metoda *MOORA* se sastoji od dva dijela: sustav odnosa i referentna točka [22]. Na osnovi podataka u tablici 5, tablica 7. pokazuje princip proračuna i rezultate dobivene tom metodom.

### 4.3. Rješavanje problema primjenom metode MULTIMOORA

*MULTIMOORA* se sastoji od metode *MOORA* i metode višeobjektne optimizacije (*Full Multiplicative Form of Multiple Objects*). Brauers i Zavadskas [23] predložili su ažuriranje metode *MOORA* dodavanjem metode višeobjektne optimizacije, koja uključuje maksimalizaciju i minimalizaciju korisne multiplikativne funkcije. Proračun metode *MULTIMOORA* napravljen je na osnovi podataka u tablici 5. Korisnost  $i$ -te mogućnosti može se izraziti brojčano:

$$U_i = \frac{A_i}{B_i} \tag{3}$$

gdje:

$A_i = \prod_{j=1}^g x_{ij}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  - označava proizvode  $i$ -te mogućnosti maksimalizirane sa  $g = 1, \dots, n$  kao broj objekata koje je potrebno maksimalizirati

$B_i = \prod_{j=g+1}^n x_{ij}$  - označava proizvode  $i$ -te mogućnosti koje treba minimalizirati sa  $n - g$  brojem pokazatelja koje treba smanjiti.

Ukupna korisnost ( $U$ ) dobivena množenjem različitih mjernih jedinica postaje bezdimenzijska.

$$U_1 = \frac{1606 \times 7,7 \times 5}{1,611 \times 12,843 \times 0,63 \times 9 \times 1,68 \times 0,686 \times 157} = \frac{61831}{22338351} = 0,003$$

$$U_2 = 0,038; U_3 = 0,540; U_4 = 0,0021; U_5 = 0,004;$$

Cijeli pomnoženi oblik rješenja pokazuje da mogućnosti imaju sljedeći poredak:

$$a_3 > a_2 > a_4 > a_5 > a_1$$

### 4.4. Procjena konačnih rezultata

Rezultati (tablica 8.) dobiveni metodama *ARAS*, *MOORA* i *MULTIMOORA* pokazuju da je, s obzirom na trenutačno stanje na tržištu nekretnina, najučinkovitiji izbor za privatne investitore ulaganje i dovršetak gradnje nedovršene građevine (mogućnost  $a_3$ ).

Tablica 8. Poredak prema višekriterijskom odlučivanju

Mogućnosti	Poredak prema metodi ARAS	MULTIMOORA				
		MOORA		Cjelokupni multiplikativni oblik	Zbroj poredaka	Konačni poredak
		Odnos sustava	Referentna točka			
$a_1$	5	5	4	5	14	5
$a_2$	2	2	1	2	5	2
$a_3$	1	1	2	1	4	1
$a_4$	3	3	3	3	9	3
$a_5$	4	4	5	4	13	4

Ta zgrada se nalazi u južnom dijelu grada Vilnius, na granici dviju četvrti. Smještena je na atraktivnoj lokaciji, primjerice, u tom dijelu grada je nedavno izgrađena zaobilaznica i glavne ceste koje vode do središta grada. U tome dijelu grada nalaze se stambene zgrade i manja industrijska postrojenja. U tom području dominiraju tradicionalni stanovi, ali ima i prostranih stanova u potkrovljima zgrada. S obzirom na ostale razmatrane projekte, projekt  $a_3$  predstavlja atraktivnu stambenu zgradu za građane srednjeg sloja. Najnepovoljniji izbor je projekt  $a_1$  koji se nalazi u novom dijelu grada, a trenutačno je u izgradnji. Nakon završetka planiranog projekta mogli bi se pojaviti novi problemi koji se odnose na potražnju novoizgrađenih stanova i njihovu učinkovitu upotrebu.

Primjena metoda *AHP* i *ARAS* te *MOORA* i *MULTIMOORA* za odabir rješenja projekta s obzirom na vrijeme, troškove i trud, pokazala je da su metode *MOORA* i *MULTIMOORA* manje zahtjevne pri određivanju rezultata. Dosada, niti jedan drugi poznati pristup ne zadovoljava uvjete robusnosti i uključuje tri ili više metoda, stoga je *MULTIMOORA* najbolja metoda za višeobjektnu optimizaciju.

Metoda *MULTIMOORA* uključuje internu normalizaciju, a svi objekti tretiraju se s jednakom važnosti.

U principu, svi dionici zainteresirani za projekt mogu određeni objekt istaknuti više od drugog. Mogu, dakle, množiti bezdimenzijski broj koji predstavlja odgovor projekta s koeficijentom značajnosti ili mogu unaprijed odlučiti da se projekt podijeli u više manjih [24].



## 5. Zaključak

Kada treba donijeti ispravnu odluku, važno je, u bilo kojoj situaciji, uzeti u obzir sve raspoložive informacije koje mogu pridonijeti postizanju cilja. Kad je riječ o nedovršenim građevinskim projektima, moramo uzeti u obzir dostupne informacije i odrediti uspješnost promatranog projekta koliko god je to moguće kako bi se izbjegle rizične odluke. U ovom radu predstavljen je računalni model pristupa informacija i kriterija koji opisuju projekt. Problemi koji nastaju u određenom građevinskom području, a povezani su s učinkovitom implementacijom projekta i učinkovitom implementacijom nedovršenih građevinskih projekata, relevantni su na tržištu nekretnina u Litvi, ali metode odlučivanja koje su u radu opisane mogu se primijeniti ne samo na lokalnom području već i za procjenu građevina u drugim državama.

Naravno, u radu je predstavljeno samo nekoliko od cijelog niza mogućih kriterija za projektiranje, izvođenje i održavanje, ali za

cjelokupan ciklus implementacije projekta trebalo bi navesti puno više kriterija, s boljim uvidom u proces izgradnje i upotrebu tehnologije. Postoje različiti dionici na projektu, no njihove želje se moraju ograničiti da bi projekt bio uspješan. Prema tome, primjena znanstvenih metoda koje obrađuju veliki broj podataka može pružiti najracionalnija rješenja.

Od mnogih metoda odlučivanja koje postoje u svijetu, u ovom istraživanju primijenjene su metode *AHP*, *ARAS*, *MOORA* i *MULTIMOORA* za određivanje rješenja i odabir najprikladnijeg projekta.

Procjene eksperata su određene uz pomoć metoda *AHP*, *ARAS*, *MOORA*. Primjenom tih metoda ocjenjeno je da je u trenutačnom stanju na tržištu nekretnina najbolje ulagati u projekt a<sub>3</sub>, odnosno stambenu zgradu koja nije dovršena zbog krize u građevinarstvu.

Potencijal tog projekta leži u činjenici da se ta stambena zgrada nalazi u blizini starog dijela grada, blizu prometnih gradskih cesta, a smještena je u atraktivnom dijelu grada.

## LITERATURA

- [1] Kang, H. H., Liu, Sh. B.: The impact of the 2008 financial crisis on housing prices in China and Taiwan: A quantile regression analysis, *Economic Modelling*, 42, pp. 356–362, 2014., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2014.07.018>
- [2] Auerbach, A. J., Gale, W. G., Harris, B.H.: Activist Fiscal Policy, *Journal of Economic Perspectives*, 24(4), pp. 141–163, 2010., doi: <http://dx.doi.org/10.1257/jep.24.4.141>
- [3] Hall, R.E.: Why Does the Economy Fall to Pieces after a Financial Crisis?, *Journal of Economic Perspectives*, 24(4), pp. 3–20, 2010., doi: <http://dx.doi.org/10.1257/jep.24.4.3>
- [4] Mishkin, F.S.: Over the Cliff: From the Subprime to the Global Financial Crisis, *Journal of Economic Perspectives*, 25(1), pp. 49–70, 2011., doi: <http://dx.doi.org/10.1257/jep.25.1.49>
- [5] Angelopoulou, E., Balfoussia, H., Gibson, H. D.: Building a financial conditions index for the euro area and selected euro area countries: What does it tell us about the crisis?, *Economic Modelling*, 38, pp. 392–403, 2014., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2014.01.013>
- [6] Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R., Kabli, M. R.: Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies, *Applied Soft Computing*, 17, pp. 105–116, 2014., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003>
- [7] Kaklauskas, A., Kelpšienė, L., Zavadskas, E. K., Bardauskienė, D., Kaklauskas, G., Urbonas, M., Sorakas, V.: Crisis management in construction and real estate: Conceptual modeling at the micro-, meso- and macro-levels, *Land Use Policy*, 28, pp. 280–293, 2011., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003>
- [8] Kahraman, C., Kaya, T.: A fuzzy multiple attribute utility model for intelligent building assessment, *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(6), pp. 811–820, 2012.
- [9] Kutut, V., Zavadskas, E. K., Lazauskas, M.: Assessment of priority alternatives for preservation of historic buildings using model based on ARAS and AHP methods, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 14(2), pp. 287–294, 2014., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2013.10.007>
- [10] Ishizaka, A., Labib, A.: Review of the main developments of the analytic hierarchy process, *Expert Systems with Applications*, 38(11), pp. 14336–14345, 2011., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.143>
- [11] Saaty, T. L.: Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. 1st edition. RWS Publications, pp. 477 p, 2000.
- [12] Saaty, T. L., Vargas, L. G., Dellmann, K.: The allocation of intangible resources: the analytic hierarchy process and linear programming, *Socio-Economic Planning Sciences*, 37(3), pp. 169–184, 2003., doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0121\(02\)00039-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0121(02)00039-3)
- [13] Aydoğan, E. K.: Performance measurement model for Turkish aviation firms using the rough-AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment, *Expert Systems With Applications*, 38, pp. 3992–3998, 2011., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.060>
- [14] Ramanathan, R.: A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment, *Journal of Environmental Management*, 63, pp. 27–35, 2001., doi: <http://dx.doi.org/10.1006/jema.2001.0455>
- [15] Saaty, T. L., Shang, J. S.: An innovative orders-of-magnitude approach to AHP-based multi-criteria decision making: Prioritizing divergent intangible humane act, *European Journal of Operational Research*, 214(3), pp. 703–715, 2011., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.019>

- [16] Heo, E., Kim, J., Boo, K. J.: Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), pp. 2214–2220, 2010., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.01.020>
- [17] Sivilevičius, H.: Modelling the interaction of transport system elements, *Transport*, pp. 26(1), pp. 20–34, 2011.
- [18] Saaty, T.L.: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [19] Podvezko, V.: Application of the AHP technique, *Journal of Business Economics and Management*, 10(2), pp. 181–189, 2009., doi: <http://dx.doi.org/10.3846/1611-1699.2009.10.181-189>
- [20] Turskis, Z., Lazauskas, M., Zavadskas, E. K.: Fuzzy Multiple Criteria Assessment of Construction Site Alternatives for Non-Hazardous Waste Incineration Plant in Vilnius City, Applying ARAS-F and AHP Methods, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 20(2), pp. 110–120, 2012., doi: <http://dx.doi.org/10.3846/16486897.2011.645827>
- [21] Brauers, W.K.M., Zavadskas, E.K.: The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics*, 35(2), pp. 445–469, 2006.
- [22] Brauers, W.K.M., Zavadskas, E.K., Peldschus, F., Turskis, Z.: Multi-objective decision-making for road design, *Transport*, 23(3), pp. 183–193, 2008., doi: <http://dx.doi.org/10.3846/1648-4142.2008.23.183-193>
- [23] Brauers, W.K.M., Zavadskas, E.K.: Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies, *Technological and Economic Development of Economy*, 16(1), pp. 5–24, 2010. , doi: <http://dx.doi.org/10.3846/tede.2010.01>
- [24] Baležentis, T., Zeng, Sh.: Group multi-criteria decision making based upon interval-valued fuzzy numbers: An extension of the MULTIMOORA method, *Expert Systems with Applications*, 40, pp. 543–550, 2013., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.07.066>