

Odabir izvođača radova pomoću AHP i PROMETHEE metoda

Perić, Monika

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:469012>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-25**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Monika Perić

ODABIR IZVOĐAČA RADOVA POMOĆU AHP I PROMETHEE
METODA
CONTRACTOR SELECTION USING THE AHP AND PROMETHEE
METHODS

Završni rad

Rijeka, 2020.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij

Građevinarstvo

Organizacija građenja

Monika Perić

0066282730

**ODABIR IZVOĐAČA RADOVA POMOĆU AHP I PROMETHEE
METODA**

**CONTRACTOR SELECTION USING THE AHP AND PROMETHEE
METHODS**

Završni rad

Rijeka, lipanj 2020.

Naziv studija: **Prediplomski stručni studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Organizacija i tehnologija građenja

Tema završnog rada

ODABIR IZVOĐAČA RADOVA POMOĆU AHP I PROMETHEE METODA
CONTRACTOR SELECTION USING THE AHP AND PROMETHEE METHODS

Kandidatkinja: **MONIKA PERIĆ**

Kolegij: **ORGANIZACIJA GRAĐENJA**

Završni rad broj: **20-ST-10**

Zadatak:

Kandidatkinja treba izraditi model za odabir najboljeg izvođača radova na primjeru nekog projekta gradnje. U tom smislu potrebno je proanalizirati dostupnu literaturu te problem odabira riješiti pomoću dvije metode višeg ranga (AHP i PROMETHEE). U radu je potrebo prikazati problem odabira izvođača kao i matematičku podlogu navedenih metoda te ih pritom obrazložiti i koristiti na primjeru. Sam problem odabira je potrebno zasebno riješiti pomoću AHP te PROMETHEE metoda, a dobivene rezultate međusobno usporediti te dati završni osvrt s prednostima i manama korištenih metoda. Kandidatkinji se prepušta slobodan izbor projekta, uz sugestiju izbora onih projekata koji su aktualni, imaju dostatnu i pristupačnu dokumentaciju te mjerljive učinke.

Tema rada je uručena: 24. veljače 2020.

Mentor:

doc. dr. sc. Ivan Marović,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Završni rad sam izradila samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Monika Perić

U Rijeci, 29. lipnja 2020.

IZJAVA

Završni rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta Koncept za podršku odlučivanja pri održivom upravljanju urbanih sredina (voditelj: doc. dr. sc. Ivan Marović), koji se realizira uz potporu Sveučilišta u Rijeci (broj potpore uniri-pr-tehnic-19-18).

U Rijeci, 29.lipnja 2020.

Mentor

Zahvala:

Hvala mentoru doc. dr. sc. Ivan Maroviću, dipl. ing. građ. što je uvijek našao vremena i imao strpljenja za sva moja pitanja. Hvala Vam na svim savjetima i pomoći pri izradi završnog rada.

SAŽETAK

U sadašnje vrijeme u svakoj grani ima puno konkurencije te dolazi do naglih promjena, građevinarstvo, kao i sve druge grane, se mora lako prilagoditi. Jedan od problema u projektu gradnje je izbor izvođača radova, koji je česti problem bilo po pitanju javno financiranih ili po pitanju privatno financiranih projekata. Izbor se može vršiti nasumično, po svojoj želji ili se može koristiti neka od metoda kao što su u ovom završnom radu korištene AHP metoda i PROMETHEE metoda. U radu će se prikazati problem odabira izvođača radova kao i matematička podloga metoda AHP i PROMETHEE. Vidjeti će se kako se i jednom i drugom metodom može dobro utvrditi najbolji izvođač među više ponuđenih i dobivene rezultate će se međusobno usporediti te će se dati završni osvrt s prednostima i manama korištenih metoda.

Ključne riječi: izbor izvođača, upravljanja projektom gradnje, AHP, PROMETHEE, višekriterijsko odlučivanje, metode odlučivanja

ABSTRACT

At present, there is a lot of competition in every branch and there are sudden changes, civil engineering, like all other branches, must be easily adapted. One of the problems in construction project is the selection of contractors, which is a common problem either in terms of publicly funded or privately funded projects. The selection can be made at random, at will or one of the methods can be used, such as the AHP method and the PROMETHEE method use din this final paper. The paper will present the problem of selecting contractors as well as the mathematical basis of the AHP and PROMETHEE methods. It will be seen how both methods can well determine the best contractor among the several offered and the results obtained will be compared with each other and a final review will be given with the advantages and disadvantages od the methods used.

Keywords: selection of contractors, construction project management, AHP, PROMETHEE, multi-criteria decision making, desicion making methods

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1. Predmet rada | 1 |
| 1.2. Cilj rada..... | 3 |
| 1.3. Struktura rada..... | 3 |
| 2. PRIMJENA METODA VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA U GRAĐEVINARSTVU | 4 |
| 2.1. Razvoj AHP metode | 5 |
| 2.1.1. Matematička pozadina AHP metode..... | 8 |
| 2.1.2. Saaty-eva skala..... | 10 |
| 2.2. METODA PROMETHEE | 12 |
| 2.2.1. Razvoj PROMETHEE metoda..... | 13 |
| 2.2.2. Matematička pozadina PROMETHEE metoda..... | 13 |
| 2.2.3. Funkcije preferencije..... | 16 |
| 3. PRIMJER ODABIRA IZVOĐAČA RADOVA POMOĆU AHP I PROMETHEE METODA | 21 |
| 3.1. Primjena AHP metode | 24 |
| 3.2. Primjer PROMETHEE metoda..... | 34 |
| 3.3. Usporedba dobivenih rezultata | 40 |
| 4. ZAKLJUČAK..... | 42 |
| 5. LITERATURA | 43 |

1. UVOD

1.1.Predmet rada

Građevinarstvo ili građevina je najstarija i najznačajnija grana tehnike. Građevina se bavi poslovima potrebnim za građenje svih vrsta arhitektonskih zgrada, cesta, željezničkih pruga, mostova, tunela, vodovoda, kanalizacija, elektrana i ostalih postrojenja. [1] Kod svih građevinskih projekata u fazi pripreme nakon što se ishoduje sva dokumentacija i građevinska dozvola, potrebno je izabrati izvođača radova. Odabir izvođača radova je česti problem bilo po pitanju javno financiranih ili po pitanju privatno financiranih projekata. Radi se o osjetljivoj situaciji jer izvođač može biti dobar, ali može biti i loš što može utjecati na projekt gradnje. Konačni ishod svih radova ovisi o odabranom izvođaču. Odabir se može vršiti nasumično, po svojoj želji ili se može koristiti neka od metoda kao što su u ovom završnom radu korištene dvije metode višekriterijskog odlučivanja. Metode višekriterijskog odlučivanja se koriste ukoliko donositelj odluke nije siguran koja odluka bi bila najbolji odabir, ili ukoliko je problem kompliciraniji u smislu da se treba sagledati iz puno aspekata, ako nudi razna rješenja ili treba zadovoljiti puno kriterija. Metode višekriterijskog odlučivanja u građevini se mogu koristiti kroz čitavi projekt pod uvjetom da se problematika određenog problema razumije kako bi se mogli postaviti valjani kriteriji. Za primjenu višekriterijskog odlučivanja postavlja se hijerarhijska struktura koja na vrhu sadrži cilj, nakon cilja slijede kriteriji za kojima slijede alternative.

Odlučivanje je dvojba koja se svakodnevno javlja kod svih ljudi, čiji korijeni sežu duboko u prošlost. Današnji život je posljedica svake donesene odluke u prošlosti. Odlučivanje možemo definirati kroz četiri faze [2]:

1. Proces procjenjivanja ponuđenih mogućnosti,
2. Rezultat izbora između alternativa,
3. Proces stvaranja odluka koji se sastoji od odgovora na tri pitanja:
 - Što je problem koji treba riješiti?
 - Koja nam rješenja stoje na raspolaganju?
 - Koje je rješenje problema najbolje?
4. Proces izbora između dvije ili više različitih mogućnosti rješavanja nekog problema.

Vrste odlučivanja su individualno i grupno odlučivanje, a vrste odluke su strateške (proces odlučivanja najvišeg ranga, dalekosežne posljedice), taktičke i operativne. Kod individualnog odlučivanja odluke donosi jedna osoba odnosno pojedinac. Individualno odlučivanje je u pravilu brže i jednostavnije od grupnog jer nema suprotstavljanja stavova, ali odgovornost snosi samo jedna osoba i radi toga se individualno odlučivanje primjenjuje pri rješavanju problema za čije je rješenje dovoljno znanje jedne osobe. Grupno odlučivanje je bolje radi većeg broja ideja i varijanti za rješavanje problema. [2]

Opća, standardizirana podjela metoda višekriterijskog odlučivanja ne postoji, već se one mogu pronaći prema nekom od kriterija koje autori imaju. Postoji podjela metoda odlučivanja prema postupku rješavanja, prema načinu uključivanja donositelja odluke u proces odlučivanja, prema vrsti problema koje te metode rješavaju. Iako se te metode mogu sistematizirati pomoću navedenih kriterija, one su sve specifične na svoj način.

Višekriterijsko donošenje odluke smatra se složenim i dinamičnim procesom. Iako se odluke donose svakodnevno i često nesvjesno, neke od njih su važnije od drugih. Postoje razne metode koje se mogu primijeniti i koje daju različite rezultate, bez obzira što se primjenjuju na isti problem koristeći iste podatke. Donositelj odluke ima bitnu ulogu u procesu odlučivanja, bez njega se metoda odlučivanja ne može primijeniti. Metoda donosiocu pomaže da donese odluku, ali mu ne govori koju on točno mora izabrati.

U analitičkom pristupu donošenja odluka jedna od najkorištenijih metoda za rješavanje problema višekriterijskog odlučivanja je metoda Analitički hijerarhijski proces (eng. Analytical Hierarchy Process, AHP). U procesu odlučivanja donositelj odluke suočen je s problemom izbora najbolje alternative, gdje je primoran izabrati jednu između dvije ili više dostupnih alternativa, uzimajući u obzir sve relevantne kriterije kako bi se postigao unaprijed zadani cilj. [3, 4]

Metoda PROMETHEE (eng. Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) spada u grupu metoda za višekriterijsko odlučivanje pomoću skupa alternativa opisanih s više atributa. Postoje dvije osnovne verzije metode: PROMETHEE I (djelomično rangiranje) i PROMETHEE II (potpuno rangiranje). [5, 6]

1.2. Cilj rada

Osnovni cilj je prikazati kako se pri odabiru izvođača sukladno ponudi, kao i kod raznih drugih problema vezanih za građevinu, mogu koristiti metode višekriterijskog odlučivanja. U radu se primjenjuju dvije metode AHP i PROMETHEE kroz čiju primjenu će se prikazati njihova razlika, koliko koja doprinosi kojem segmentu. Upravo te metode mogu pomoći donositelju odluke kako bi se u budućnosti znao postaviti prema problemu kako bi došao do najboljeg rješenja. Kroz rad se rješava problem odabira izvođača radova proveden kroz pet kriterija pomoću navedenih metoda. Prikazati će se koji su uvjeti za primjenu navedenih metoda, te njihove prednosti i mane.

1.3. Struktura rada

Rad je podijeljen na tri dijela. Daje se uvid u svaku od metoda kako bi se lakše primijenile i vrši se njihova usporedba pomoću dobivenih rezultata pri odabiru izvođača radova na odabranom projektu. U prvom dijelu prikazan je uvid u odabrane metode višekriterijskog odlučivanja. U drugom dijelu se nalazi teorijska podloga metoda AHP i PROMETHEE gdje je prikazan način kako one funkcioniraju sa svojim matematičkim alatom. U trećem dijelu rada provodi se analiza pomoću AHP i PROMETHEE metode na odabranom problemu odabira izvođača za izgradnju obiteljske kuće. Nakon što je provedena analiza i dobiveni konačni rezultati, na temelju tih rezultata prelazi se međusobno uspoređivanje, te se donose zaključci.

2. PRIMJENA METODA VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA U GRAĐEVINARSTVU

Metode višekriterijskog odlučivanja primjenjuju se u širokom spektru grana znanosti i industrije poput bankarstva, investicija, različitim proizvodnim problemima, različitim logističkim problemima, različitim problemima onečišćavanja i očuvanja okoliša te raznim drugim. Metode višeg ranga moguće je primijeniti u građevini kroz sve faze projekta. Jedan od većih problema je izbor izvođača radova o kojemu ovisi ishod cjelokupnog projekta. Ukoliko se ne odabere dobar izvođač radova dolazi do raznih drugih problema. Upravo iz tog razloga je izbor izvođača jedna od najosjetljivijih odluka koju se mora donijeti pri samom početku projekta ne bitno radi li se o javno financiranim ili privatno financiranim projektima. Iz tog razloga će se taj problem obraditi kroz ovaj završni rad pomoću primjene AHP i PROMETHEE metoda.

Odabir izvođača radova je izazovan posao jer je potrebno usporediti dane ponude uzimajući u obzir koji je cilj projekta, koji izvođač ispunjava koje kriterije i u kolikom postotku, te je stoga vrlo bitno iz definirati kriterije gdje postoji problem subjektivnosti postavljanja istih. Kako svaka gradska uprava (jedinica lokalne samouprave) ima određeni godišnji budžet za izgradnju, održavanje i popravljavanje, pojavljuje se jedna od najvažnijih i najzahtjevnijih tema u procesu njenog odlučivanja. Složenost i multidisciplinarnost ovog problema ukazuje na potrebu za analizom s više kriterija [7]. Metode višeg ranga neće donijeti odluku umjesto donositelja odluke. Donositelj odluke mora razumjeti problem sa kojim se susreće i jasno znati koje kriterije mora ispuniti kako bi ga mogao analizirati i dobiti dobre rezultate. Metoda sugerira najbolji izbor, ali konačna odluka opet ostaje na donositelju odluke.

Kriteriji za rješavanje problema izbora izvođača u ovom radu su odabrani na osnovu čitanja literature gdje se da uočiti kako su se upravo ti kriteriji najčešće koristili pri istom ili sličnom problemu. Autori Marović i Hanák [8] su koristili sedamnaest kriterija od kojih su neki: vrijeme potrebno za izgradnju, vrijeme potrebno za dobivanje građevinske dozvole i troškovi izgradnje. Kosijer [9] i drugi su u svome radu primijenili ovih pet kriterija: investicije za izgradnju trase, troškovi upravljanja i održavanja trase, propusna moć trase, posljedice trase na prostorni razvoj i utjecaj trase na životnu sredinu. Autori Car-Pušić i drugi [10] su u svome radu koristili četrnaest kriterija od kojih su neki: složenost gradnje, vrijeme potrebno za izgradnju te investicijska vrijednost projekta. Svi oni su primijenili iste ili slične kriterije, samo je pitanje u

detaljnosti i iz toga se da zaključiti da je ovih pet kriterija važno promatrati pri izboru izvođača: ukupna cijena radova, trajanje građenja, kvaliteta izrade, reputacija izvođača i resursi izvođača. Jednu od primjena metoda višekriterijskog odlučivanja je moguće pronaći pri planiranju i projektiranju trase željezničke pruge. U povijesti je bilo puno problema i promašaja pri izgradnji željezničkih pruga, a svi su bili vezani uz to da je glavni i jedini kriterij koji se gledao prilikom planiranja bio financijski. Radi pronalaženja boljih dugoročnih rješenja koji će povećati kvalitetu prijevoznih usluga, očuvati kvalitetu životne sredine i racionalno iskoristiti prirodne resurse, potrebno je iskoristiti neku od metoda višekriterijskog odlučivanja. Pri tome je za kriterije osim financijsko-ekonomskih potrebno uzeti u obzir i tehničko tehnološke, prometne, prostorne i ekološke kriterije. U ovom se primjeru pružila mogućnost formiranja četiri nove varijante trase željezničke pruge koja je u planu. Za kriterije su se koristili veličina investicije za izgradnju pruge, troškovi upravljanja i održavanja pruge, kapacitet željezničke pruge, posljedice trase na prostorni razvoj i utjecaj trase na životnu sredinu. Budući da se kriteriji nisu ocjenjivali, već su se mogli analitički izračunati, u obradi tih podataka sudjelovali su planeri i nezavisni eksperti. Provođenjem metode višekriterijskog odlučivanja i provođenjem analize osjetljivosti za dobivene podatke, dobivene su rang liste za slučajeve kada bi jedan od tih kriterija bio najvažniji. Ti podaci su dali podršku pri odlučivanju investitora, u ovisnosti o tome koji se oni kriterij uzmu kao najvažniji. [9]

Metode višekriterijskog odlučivanja u građevinarstvu možemo koristiti kod odabira najbolje trase ceste, pruge, kod izbora izvođača, najpogodnije pozicije mosta i odabira oblika mosta. Također se može koristiti ukoliko želimo procijeniti obnove nedovršenih stambenih zgrada i ostalog. Moguće ih je primjenjivati kroz cjelokupni projekt od početka projektiranja, preko izvođenja projekta i održavanja.

2.1.Razvoj AHP metode

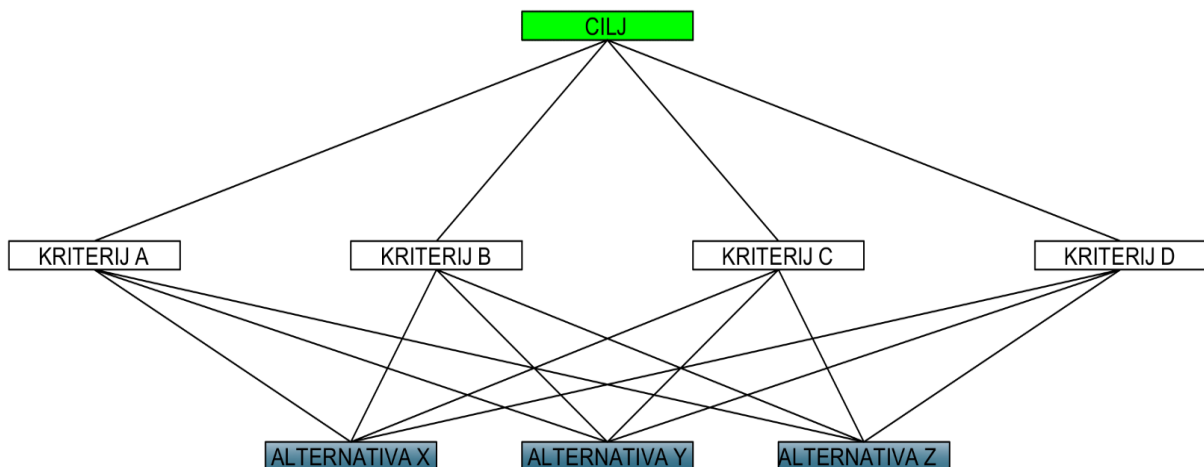
Za organizaciju i analizu kompleksnih odluka moguće je primijeniti složenu tehniku odlučivanja AHP, koju je razvio Thomas L. Saaty [3, 4] 1980-ih u suradnji sa Ernestom Formanom. Spada u najpoznatije i posljednjih godina najviše korištene metode za višekriterijsko odlučivanje. AHP metoda se temelji na matematici i psihologiji, a koristi se za određivanje prioriteta među alternativnim mogućnostima i za izgradnju funkcionalnih vrijednosti. Primjenjuje se širom

svijeta u različitim situacijama, u područjima u koja se ubrajaju vlada, posao, industrija, zdravstvo, brodogradnja i obrazovanje. Gledište s kojeg se promatra, istražuje ili raščlanjuje neki proces, problem ili nešto drugo, može se kritizirati primjenom AHP metode. Ne vodi uvijek ka točnoj odluci, ali pomaže pri boljem razumijevanju i sagledavanju problema te pronalasku odluke koja najbolje odgovara željenom ishodu. Prilikom korištenja AHP metode korisnici prvo dekomponiraju problem u hijerarhiju lakše razumljivih pod-problema, od kojih se svaki može samostalno analizirati. Jednom kada se izgradi hijerarhija, donositelji odluka sustavno ocjenjuju njezine različite elemente koji su iznad njih u hijerarhiji.

Pri uspoređivanju donositelji odluka mogu koristiti konkretne podatke o elementima, ali i svoje prosudbe o značenju i važnosti elemenata. Cilj AHP-a je da se u procjeni mogu koristiti ljudske prosudbe, a ne samo temeljne informacije.

AHP omogućava i interaktivnu analizu osjetljivosti. Analizom osjetljivosti sagledava se kako svaka promjena ulaznih podataka utječe na izlazne rezultate s ciljem otkrivanja zašto je baš ta alternativa ispala najbolja i što bi se dogodilo ako bi se kriteriji malo promijenili s ciljem dobivanja šire slike rješenja problema. U analizi osjetljivosti mogu se simulirati važnosti kriterija i promatrati promjene u rang u alternativa. Analiza se izvodi kako bi se utvrdilo da li je rang lista alternativa dovoljno stabilna u odnosu na prihvatljive promjene ulaznih podataka, odnosno da li će male promjene u ulaznim podacima dovesti do velikih promjena u rang u alternativa. Ukoliko promjenom ulaznih podataka za 5% u svim mogućim kombinacijama, ne dođe do promjene u rang u alternativa, smatra se da je postignuta stabilnost rezultata. [11]

Hijerarhijska struktura AHP metode: na vrhu je cilj, na prvoj razini ispod su kriteriji, na sljedećoj razini su podkriteriji, a na donjoj razini nalaze se alternative (mogućnosti). Kriteriji, podkriteriji i alternative ocjenjuju se u parovima.



Slika 1: Hijerarhijska struktura AHP-a

AHP pretvara ocjene u numeričke vrijednosti koje se mogu obraditi i usporediti u cijelom rasponu problema. Za svaki element hijerarhije određuje se prioritet, izračunava se broječna težina, koja omogućava da se nespojivi elementi uspoređuju jedan s drugim. Metoda AHP koristi tablični zapis podataka za uspoređivanje i rangiranje alternativa, pri odlučivanju koja je od alternativa u prednosti u odnosu na ostale. U procjeni vrijednosti omjera težina kriterija i važnosti alternativa pomaže Saaty-eva skala koja se definira kao omjer skala koja ima pet stupnjeva intenziteta i četiri međustupnja, a svakom od njih odgovara vrijednosni sud o tome koliko puta je jedan kriterij važniji od drugog. Iz tog razloga se ova tehnika donošenja odluka razlikuje od ostalih. U posljednjem koraku procesa izračunavaju se broječni prioriteti za svaku od odluka. Ti brojevi predstavljaju relativnu mogućnost alternativa za postizanje cilja odluka, pa omogućavaju izravno razmatranje različitih načina djelovanja.

Prednosti AHP metode su u situacijama kada je one važnije elemente teško kvantificirati ili uspoređivati, te kada je komunikacija među članovima tima otežana njihovim različitim specijalizacijama, terminologijama ili gledištima. Može se i većinom se primjenjuje kod vrlo kompleksnih problema odlučivanja. AHP metoda integrira i kvalitativne i kvantitativne faktore u odlučivanju. Prije uvođenja AHP metode nije se u obzir uzimala važnost kvalitativnih faktora u odlučivanju, te se time odbacivala teza da su svi ljudski problemi kombinacija psiholoških i fizičkih aktivnosti, kvalitativnih i kvantitativnih elemenata. AHP je teorija relativnog mjerenja u kojoj se koristi apsolutna skala za mjerenje kvalitativnih i kvantitativnih kriterija koji su temeljeni na procjenama eksperata. Opširnost pri uspoređivanju dvaju kriterija ili alternativa

dovodi do toga da je AHP metoda vrlo malo osjetljiva na greške u procjenjivanju. Odlučivanje pomoću AHP metode povećava znanje o problemu i snažno i brzo motivira donositelje odluke. Procesom odlučivanja dolazi se do približnog rješenja problema i to puno brže te s manjim troškovima procesa donošenja odluke. Dobiveni rezultati mogu se koristiti i kao ulazni podaci za neke druge projekte u kojima se mora donijeti puno kompleksnih odluka. Neki od nedostataka AHP metode bi bili što zahtjeva veliki broj usporedbi parova kod velike većine problema, postizanje konzistencije je teško, skala za uspoređivanje kriterija i alternativa nije dovoljno velika, odnosno procjenjivač sa njom ne može dovoljno kvalitetno opisati razliku važnosti između kriterija i alternativa, te također nemogućnost korištenja neusporedivih alternativa.

2.1.1. Matematička pozadina AHP metode

Metoda AHP se sastoji od četiri osnovna koraka [3, 4]:

1. Napravi se hijerarhija modela problema odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima i podkriterijima na nižim razinama, te alternativama na dnu modela.
2. Na svakoj razini hijerarhijske strukture u parovima se međusobno uspoređuju elementi strukture, pri čemu se preferencije donositelja odluke izražavaju uz pomoć odgovarajuće Saaty-eve skale relativne važnost
3. Iz procjena relativnih važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture problema pomoću odgovarajućeg matematičkog modela izračunaju se lokalni prioriteti (težine) kriterija, podkriterija i alternativa koji se zatim sintetiziraju u ukupne prioritete alternativa.
4. Provodi se analiza osjetljivosti.

Neka je n broj kriterija (ili alternativa) čije težine (prioritete) w_i treba odrediti na temelju procjene vrijednosti njihovih omjera koji se označavaju s $a_{ij} = w_i/w_j$. Od omjera relativnih važnosti a_{ij} formira se matrica A relativnih važnosti.

$$A = \begin{bmatrix} w1/w1 & w1/w2 & \dots & w1/wn \\ w2/w1 & w2/w2 & \dots & w2/wn \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ wn/w1 & wn/w2 & \dots & wn/wn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a11 & a12 & \dots & a1n \\ a21 & a22 & \dots & a2n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ an1 & an2 & \dots & ann \end{bmatrix} \quad (1)$$

Matrica A za slučaj konzistentnih procjena za koje vrijedi $a_{ij} = a_{ik} \alpha_{kj}$ zadovoljava jednadžbu $An = nw$.

Problem rješavanja težine može se riješiti kao problem rješavanja jednadžbe

$$Aw = \lambda w \quad , \quad \lambda \neq 0 \quad (2)$$

Matrica A ima slijedeća svojstva, zbog kojih je samo jedna njezina svojstvena vrijednost jednaka n i različita od 0.

1. Pozitivnost sadrži elemente a_{ij} pozitivne.
2. Recipročnost sadrži elemente koji zadovoljavaju jednadžbu $a_{ij}=1/ a_{ji}$.
3. $r(A)=1$ Rang matrice je jednak 1.

Budući da je suma svojstvenih vrijednosti λ_{max} pozitivne matrice jednaka tragu te matrice, ili sumi dijagonalnih elemenata, ne nulta svojstvena vrijednost ima vrijednost n.

$$\lambda_{max} = n \quad (3)$$

Ukoliko matrica A sadrži nekonzistentne procjene, vektor težina w može se dobiti rješavanjem slijedećeg sustava jednadžbi.

$$(A - \lambda_{max}I)w = 0, \quad \sum_i w = 1 \quad (4)$$

gdje je λ_{max} najveća svojstvena vrijednost matrice A.

Uzevši u obzir gore navedene jednadžbe slijedi

$$Aw = nw \quad (5)$$

$$\sum_j a_{ij}w_j = nw \quad (6)$$

$$w = \frac{1}{n} \sum_j a_{ij}w_j \quad (7)$$

Vrijedi da je

$$\begin{aligned} a_{ij} &= \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{w_j}, \\ \sum_j w_j &= \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{\sum_i a_{ij}} \end{aligned} \quad (8)$$

odakle slijedi da je težina pojedine alternative w_i

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_j \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}} \quad (9)$$

Sinteza prioriteta vrši se na način da se lokalni prioriteti alternativa mjere, tj. važu s težinama svih čvorova kojima pripadaju od najniže razine hijerarhijske strukture prema vrhu, a zatim se ti globalni prioriteti za najvišu razinu zbroje te se konstruira ukupni prioritet za pojedinu alternativu. [12]

Pozitivne recipročne matrice predstavljaju informacije o usporedbama kriterija i alternativa u kojima je donositelj odluke u potpunosti konzistentan. U slučaju potpune konzistencije takve matrice imaju jedinstvenu svojstvenu vrijednost koja je jednaka redu matrice. Svako odstupanje od konzistencije utječe na promjenu svojstvenih vrijednosti koja služi donositelju odluke da preispita svoje preferencije. AHP metodom indikator konzistencije CI (eng. consistency indeks) definiran je

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

2.1.2. Saaty-eva skala

Pri usporedbi pojedinih kriterija koristi se Saaty-eva skala. Skala se sastoji od devet numeričkih ocjena pomoću kojih donositelj odluke razlikuje intenzitet odnosa između dvaju elemenata. Neparnim brojevima dana su kojima ona odgovaraju, dok parni brojevi opisuju njihove međuvrijednosti. Težina kriterija, odnosno njihova važnost, određuje se uspoređivanjem kriterija u parovima, te određivanjem koliko je jedan kriterij važniji od drugog. [3]

Tablica 1: Saaty-eva skala [3]

| Intenzitet važnosti | Definicija | Objašnjenje |
|---------------------|-------------------------------|--|
| 1 | Jednako važno | Dvije aktivnosti jednako doprinose cilju |
| 3 | Umjereno važnije | Na temelju iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednoj aktivnosti i odnosu na drugu |
| 5 | Strogo važnije | Na temelju iskustva i procjena strogo se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu |
| 7 | Vrlo strogo, dokazana važnost | Jedna aktivnost izrazito se favorizira u odnosu na drugu, njezina dominacija dokazuje se u praksi |
| 9 | Ekstremna važnost | Dokazi na temelju kojih se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu, potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću |
| 2, 4, 6, 8 | Međuvrijednosti | |
| 1.1-1.9 | Decimalne vrijednosti | Pri usporedbi aktivnosti koje su po važnosti blizu jedna drugoj, potrebne su decimalne vrijednosti kako bi se preciznije izrazila razlika u njihovoj važnosti. |

Saaty-eva skala nam pomaže pri prikazu koliko puta je jedan od kriterija važniji u odnosu na drugog pri postizanju cilja. Alternative se međusobno uspoređuju u parovima po svakom od kriterija procjenjujući uolikoj mjeri se po tom kriteriju jednoj od njih daje prednost u odnosu na drugu. Iz tablice se može vidjeti da je vrijednost 9 maksimalna vrijednost koja se može dati omjeru važnosti kriterija. Skala nam služi za formiranje matrica omjera važnosti.

2.2.METODA PROMETHEE

Pripada grupi metoda za višekriterijsko odlučivanje u skupu alternativa opisanih s više atributa .[5, 6] PROMETHEE metoda svoj uspjeh i popularnost je stekla svojim matematičkim svojstvima i lakoći primjene. Njezina lakoća primjene čini njezinu najveću prednost. Primjenom PROMETHEE metode rješenje višekriterijskog problema ne ovisi samo o vrijednostima kriterija, nego i o samom donositelju odluke. Izvršava se paralelna usporedba alternativa u svrhu njihovog rangiranja u odnosu na broj kriterija, a od donositelja odluke očekuje se da identificira alternativu koja optimizira sve kriterije.

Za PROMETHEE metodu su karakteristična slijedeća tri segmenta [13]:

1. Obuhvat kriterija: Oblikovanje preferencija donositelja odluke bit će izvršeno na način da će se za svaki kriterij promatrati šest mogućih obuhvata (funkcija preferencije) zasnovanih na intenzitetu preferencije.
2. Procjena relacija "višeg ranga": Upotreba kriterija definiranih na način kao što je definirano u prethodnom segmentu dozvoljava konstrukciju procijenjene relacije "višeg ranga".
3. Korištenje relacije "višeg ranga": Pod ovim pojmom razmatrati će se specifično korištenje procijenjene relacije "višeg ranga", naročito u slučaju kada akcije moraju biti rangirane od najbolje do najgore.

Metoda PROMETHEE uvodi funkciju preferencije $P(a, b)$ za alternative a i b koje su vrjednovane po kriterijskim funkcijama i daju preferenciju donositelja odluke za alternativu a u odnosu na alternativu b . Neka je f određeni kriterij, a a i b dvije alternative iz skupa akcija A . Pridružena funkcija preferencije $P(a, b)$ od a u odnosu na b bit će definirana kao:

$$P(a, b) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } f(a) \leq f(b) \\ f(a), f(b) & \text{ako je } f(a) > f(b) \end{cases} \quad (11)$$

Ta funkcija će biti definirana za svaki kriterij posebno, a njena će se vrijednost kretati između 0 i 1. Što je manja vrijednost funkcije, veća je indiferencija donositelja odluke, a što je ta vrijednost bliže 1, veća je njezina preferencija.

Intenzitet preferencije alternative a u odnosu na alternativu b izražava se slijedećom interpretacijom [13]:

- $P(a, b) = 0$ znači indiferenciju između a i b , tj. nema preferencije a nad b ,
- $P(a, b) \approx 0$ znači slabu preferenciju a nad b ,
- $P(a, b) \approx 1$ znači jaku preferenciju a nad b ,
- $P(a, b) = 1$ znači strogu preferenciju a nad b .

Funkcija preferencije koja se pridružuje pojedinom kriteriju je funkcija razlike kriterijskih vrijednosti alternativa[5]:

$$P(a, b) = P(f(a) - f(b)) = P(d) \quad (12)$$

$P(d)$ je neopadajuća funkcija koja poprima vrijednost nula za negativne vrijednosti razlike [5]

$$d = f(a) - f(b). \quad (13)$$

2.2.1. *Razvoj PROMETHEE metoda*

Metoda PROMETHEE I (parcijalni poredak) i PROMETHEE II (potpuni poredak) razvijene su od strane Jean-Pierre Bransa, Philippe Vincekea i Bertrand Mareschala [5, 6] i prvi put predstavljene na konferenciji na Sveučilištu Laval u Quebecu u Kanadi. Prvotno su rješavale probleme u zdravstvu, no nekoliko godina kasnije od strane Bransa i Mareschala su razvijene PROMETHEE III (rangiranje na temelju intervala) i PROMETHEE IV (kontinuirani slučaj). U 1992. i 1994. godini Brans i Mareschal predlažu dva proširenja PROMETHEE metode na PROMETHEE V (rangiranje uključujući ograničenja segmentacije) i PROMETHEE VI (reprezentacija ljudskog mozga). Znatno broj uspješnih aplikacija tretiran je metodom PROMETHEE u raznim područjima kao što su bankarstvo, medicina, turizam, kemijska industrija i različite druge grane.

2.2.2. *Matematička pozadina PROMETHEE metoda*

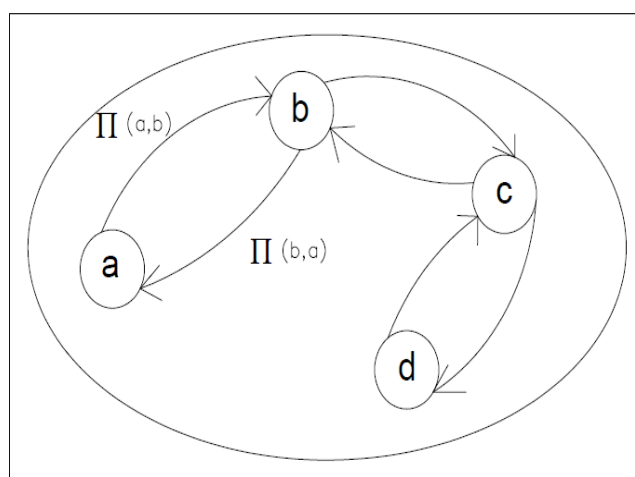
Pod pretpostavkom da je donositelj odluke odredio funkciju preferencije P_i i težinu w_i za svaki kriterij f_i ($i = 1, \dots, k$). Težina w_i je mjera relativne važnosti kriterija f_i . Ako svi kriteriji imaju istu važnost za donositelja odluke, sve težine su jednake. Višekriterijski indeks preferencije

$$\Pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (26)$$

$\Pi(a, b)$ predstavlja intenzitet, odnosno jakost preferencije donositelja odluke za aktivnost a nad aktivnošću b , kada istovremeno uspoređujemo sve kriterije. Varira između vrijednosti 0 i 1.

- $\Pi(a, b) \approx 0$ označava slabu preferenciju a nad b za sve kriterije,
- $\Pi(a, b) \approx 1$ označava jaku preferenciju a nad b za sve kriterije.

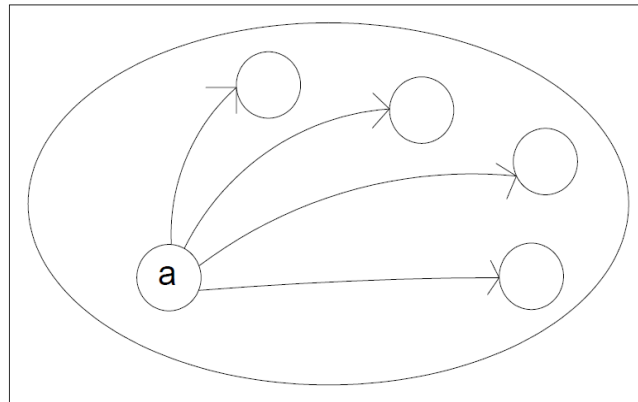
Između dva čvora (dvije aktivnosti) a i b postoje dva luka koji imaju vrijednosti $\Pi(a, b)$ i $\Pi(b, a)$.



Slika 2: Dijagram indeksa preferencije između $(n - 1)$ aktivnosti.

Za svaku alternativu a od konačnog skupa alternativa A definiraju se ulazni i izlazni tokovi. Izlazni tok je zbroj vrijednosti izlaznih lukova. Što je veći Φ^+ , to alternativa a više dominira nad ostalim alternativama u skupu alternativa A .

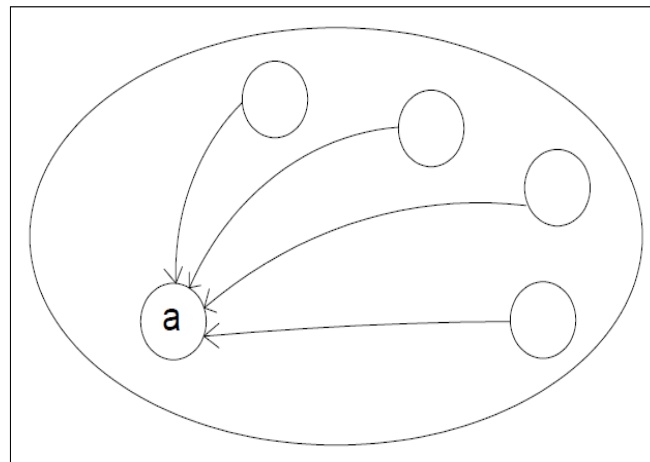
$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \Pi(a, x) \quad (27)$$



Slika 3: $\Phi^+(a)$ izlazni tok

Ulazni tok je zbroj vrijednosti ulaznih lukova. Što je veći Φ^- , to ostale alternative više dominiraju nad alternativom a u skupu alternativa A .

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \Pi(x, a) \quad (28)$$



Slika 4: $\Phi^-(a)$ ulazni tok

Metodom PROMETHEE dobiva se potpuni poredak na osnovu relacije čistog toka

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a). \quad (29)$$

2.2.3. *Funkcije preferencije*

Prema Bransu i Mareschalu, definirano je šest kriterija. [5, 6] Od šest tipova kriterija funkcije koji se koriste za rješavanje praktičnih problema, analitičar i donositelj odluke dogovorom biraju jednu funkciju za svaki kriterij, a parametri se unaprijed biraju:

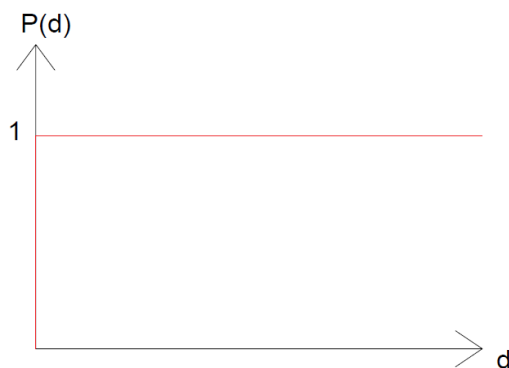
q- prag indiferencije, definira područje unutar kojeg je razlika vrijednosti dviju alternativa po nekom kriteriju zanemariva za donosioca odluke,

p- prag preferencije, definira područje stroge preferencije,

s- parametar čija vrijednost se nalazi između praga indiferencije q i praga preferencije p .

Obuhvat kriterija temeljen je na uvođenju funkcije preferencije koja daje preferenciju donositelja odluke za akciju a u odnosu na akciju b . Neki od njih dopuštaju netranzitivnost indiferencije dok drugi nude blagi prijelaz iz indiferencije u strogu preferenciju. Te funkcije preferencije su [5, 6]:

1. Tip jedan : Obični kriterij (eng. Usual Criterion)



Slika 5: Graf običnog kriterija

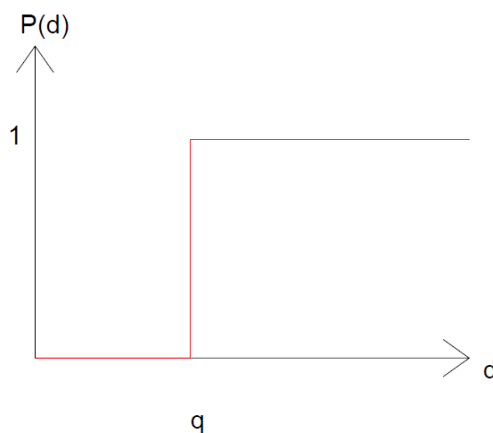
Postoji indiferencija između alternativna a i b ako i samo ako je $f(a) = f(b)$. U suprotnom donositelj odluke ima strogu preferenciju za alternativu koja ima veću vrijednost.

$$P(d) = \begin{cases} 0, & d = 0 \\ 1, & d \neq 0 \end{cases} \quad (14)$$

$$d = f(a) - f(b) \quad (15)$$

Funkcija uobičajena preferencija je pravi izbor za kriterij s nekoliko različitih ocjena. Odgovara optimizaciji da što je veća vrijednost to bolje. Prikladna je za kvalitativne ljestvice na pet razina kao što su : vrlo loše, loše, prosječno, dobro i vrlo dobro.

2. Tip dva: Kvazi kriterij (eng. U-shape Criterion)



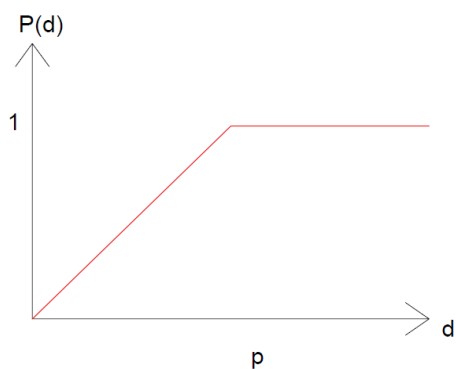
Slika 6: Graf kvazi kriterija

Dvije alternative su za donositelja odluke indiferentne sve dok razlika njihovih vrijednosti ne prekorači prag d , nakon toga, radi se o strogoj preferenciji. Donositelj odluke treba odrediti vrijednost parametra q .

$$P(d) = \begin{cases} 0, & 0 \leq d \leq q \\ 1, & d > q \end{cases} \quad (16)$$

$$d = f(a) - f(b) \quad (17)$$

3. Tip tri: Kriterij s linearnom preferencijom (eng. V-shape Criterion)



Slika 7: Graf kriterija s linearnom preferencijom

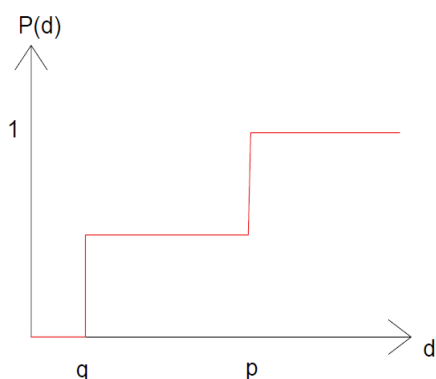
Sve dok je d manji od p preferencija donositelja odluke linearno raste s d , a kad d postane strogo veći od p nastaje situacija stroge preferencije. Donositelj odluke mora odrediti vrijednost parametra p .

$$P(d) = \begin{cases} \frac{d}{p}, & 0 \leq d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases} \quad (18)$$

$$d = f(a) - f(b) \quad (19)$$

Funkcija kriterija s linearnom preferencijom prikladna je za kvantitativne kriterije kada treba uzeti u obzir čak i mala odstupanja.

4. Tip četiri: Kriterij s razinama konstantne preferencije (eng. Level Criterion)



Slika 8: Graf kriterija s razinama konstantne preferencije

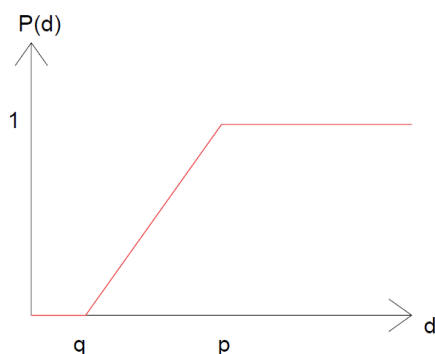
Prag indiferencije q i prag slabe preferencije p su istovremeno definirani. Donositelj odluke mora odrediti vrijednosti parametara p i q .

$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases} \quad (20)$$

$$d = f(a) - f(b) \quad (21)$$

Funkcija kriterija s razinama konstantne preferencije više odgovara kvantitativnim kriterijima kada donositelj odluke želi modulirati stupanj preferencije prema odstupanju između razina ocjenjivanja.

5. Tip pet: Kriterij s linearnom preferencijom i područjem indiferencije (eng. V-shape with indifference Criterion)



Slika 9: Graf kriterija s linearnom preferencijom i područjem indiferencije

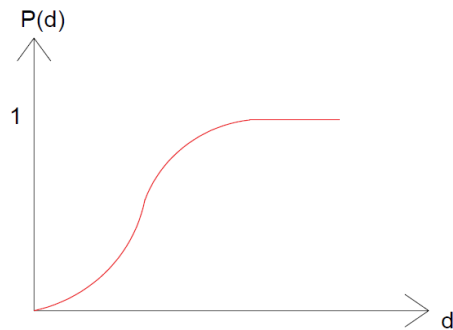
Donositelj odluke smatra da njegova preferencija odluke linearno raste između pragova p i q . Donositelj odluke mora odrediti vrijednost parametara p i q .

$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q}, & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases} \quad (22)$$

$$d = f(a) - f(b) \quad (23)$$

Funkcija kriterij s linearnom preferencijom i područjem indiferencije je najbolji izbor za kvantitativne kriterije kada se želi postići prag indiferentnosti.

6. Tip šest: Gaussov kriterij (eng. Gaussian Criterion)



Slika 10: Graf Gaussova kriterija

Donositelj smatra da njegova preferencija odluke ima izgled gaussove krivulje. Donositelj odluke mora odrediti vrijednost parametra σ .

$$P(d) = 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}} \quad (24)$$

$$d = f(a) - f(b) \quad (25)$$

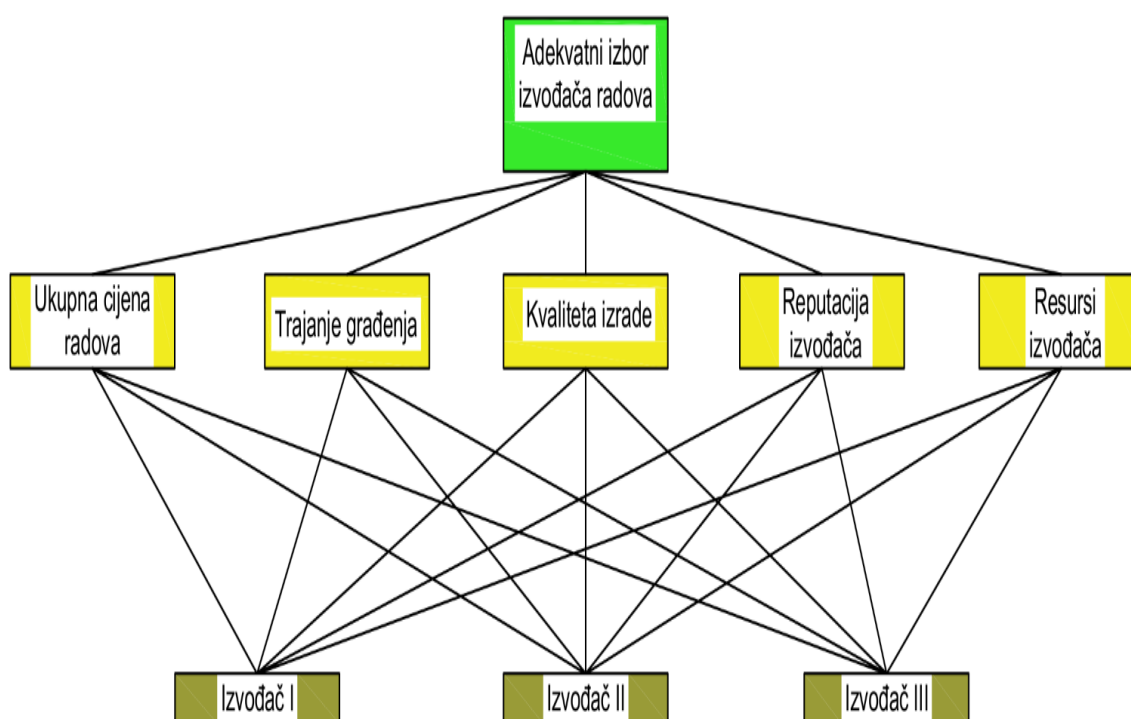
3. PRIMJER ODABIRA IZVOĐAČA RADOVA POMOĆU AHP I PROMETHEE METODA

Građevinarstvo obuhvaća projektiranje, građenje, uporabu, održavanje i uklanjanje građevine. Građenje je složen, dugotrajan i rizičan proces, a mnoge građevine premašuju ugovorene rokove i troškove. Među glavnim uzrocima zbog kojih dolazi do odgode u izgradnji, osim rizika s obzirom na vrijeme i troškove, definitivno su novčana sredstva. Financijski problemi mogu nastati zbog porasta cijene materijala, ljudskih resursa te energija, a također se problem može javiti ukoliko dođe do neke nepredviđene situacije. Kako ne bi došlo do nepredviđene situacije, odnosno kako bi smanjili broj nepredviđenih situacija, bitno je organizirati građenje kako u ekonomskom smislu, tako i u tehničkom kao organizaciju rada. Jedan od problema sa kojim se susrećemo kao izvođači je dobiti natječaj za građevinski projekt. Posebnu pozornost treba pružiti izradi ponude.

U organizaciji građenja je izuzetno bitno da izvođač poznaje okruženje kako bi se mogao natjecati, te je također potrebno da je izvođač upoznat sa kompetitivnim prednostima koje bi ga prikazale boljim u odnosu na druge izvođače, te kako bi adekvatno mogao prema zadanim kriterijima investitoru iskomunicirati svoju ponudu i bio izabran na željenom natječaju. Ukoliko imamo dobro isplanirani projekt, dobru organizaciju, onda si štedimo vrijeme i novac jer najskuplji projekti su upravo oni koji nisu dobro organizirani. Prilikom objave natječaja, investitor donosi odluku koji je izvođač najprikladniji za projekt, s toga je bitno pri javljanju na natječaj prikazati dobru organizaciju rada, priložiti proračune materijala, ljudi i strojeva te svakako vremenski plan. Taj izbor izvođača ćemo izraditi na primjeru programskog zadatka obiteljske kuće [14].

Programski zadatak je baziran na izgradnji obiteljske stambene kuće s jednim stanom na dvije etaže unutar gabarita 13,50 m x 11,00 m. Iz dokumentacije se vidi da ukupna netto površina obiteljske kuće iznosi 167,04 m². Pregledom okolnog terena ustanovljeno je da se građevina izvodi na relativno ravnom terenu koji se sastoji od materijala IV. kategorije. U navedenom zadatku za koji je izračunata cijena kroz fazu prethodnih, zemljanih, tesarskih, armiračkih i betonskih radova i ona iznosi 701.325,98 kuna, također je izračunato i potrebno vrijeme kako bi se ti radovi obavili i kao konačni rezultat dobiveno vrijeme je 67,5 dana.

Kroz riješeni problem, kreiran sa pet kriterija definiranih od strane investitora ili naručitelja koji se općenito primjenjuju pri izboru izvođača prilikom izgradnje obiteljske kuće, može se vidjeti koji kriteriji se najviše uzimaju u obzir prilikom izbora izvođača što bi uvelike moglo koristiti ubuduće prilikom izrade ponude za natječaj. Najkompliciraniji dio je odabir kriterija jer o njima ovisi konačni rezultat. Ako kriteriji nemaju potreban utjecaj na željeni cilj, konačni rezultat nije adekvatan. Odabir kriterija ovisi o vrsti projekta, da li je projekt visokogradnje ili niskogradnje, da li će se upotrebljavati za privatne svrhe ili će imati javnu namjenu te kako će utjecati na okruženje.



Slika 11: Hijerarhijski prikaz problema

Hijerarhijska struktura se sastoji od cilja koji bi bio adekvatni izbor izvođača radova na odabranom projektu, sadrži pet kriterija koji se smatraju najbitnijim za ispuniti kada se radi o projektu obiteljske kuće, i tri alternative. Svaki kriterij nosi određenu težinu i moguće ih je usporediti jedne sa drugima, što i je cilj narednih analiza. Kriteriji su odabrani na osnovu čitanja literature gdje sam uočila kako je upravo ovih pet kriterija najčešće korišteno u slučaju rješavanja ovakvog problema. Autori Marović i Hanák [8] su koristili sedamnaest kriterija za

izbor lokacije od kojih su neki bili: vrijeme potrebno za izgradnju, vrijeme potrebno za dobivanje građevinske dozvole, troškovi izgradnje. Autori Kosijer i drugi [9] su za planiranje i projektiranje trase željezničke pruge primijenili ovih pet kriterija: investicije za izgradnju trase, troškovi upravljanja i održavanja trase, kapacitet, tj. propusna moć trase, posljedica trase na prostorni razvoj i utjecaj trase na životnu sredinu. Autori Car-Pušić i drugi [10] su za prednost prioriteta javnih investicijskih projekata primijenili četrnaest kriterija od kojih su neki: složenost gradnje, vrijeme potrebno za izgradnju, investicijska vrijednost projekta. U idućoj tablici, tablici 2 je predstavljen svaki od odabranih tih pet kriterija za problem koji se rješava u ovom radu.

Tablica 2: Naziv i opis kriterija

| Kod kriterija | Naziv kriterija | Opis kriterija |
|---------------|----------------------|---|
| C1 | Ukupna cijena radova | Uključuje izradu projekta, izgradnju projekta i uređenje. |
| C2 | Trajanje građenja | Procijenjeno, odnosno predviđeno vrijeme potrebno za završetak gradnje |
| C3 | Kvaliteta izrade | Kvaliteta predstavlja uporabljivost, svrsishodnost, čvrstoću, trajnost i ljepotu. Kvalitetna građevina mora zadovoljiti pravne, funkcionalne i estetske zahtjeve. |
| C4 | Reputacija izvođača | Kod procjene reputacije se gleda kakve projekte je izvođač do sada odradio, koliko dobro ili loše, te da li je do sada imao problem sa većim zastoјima u radu. |
| C5 | Resursi izvođača | Interni resursi izvođača, ne bitno radi li se o strojnim, ljudskim ili materijalnim, koje je izvođač u mogućnosti alocirati na gradilište. |

Ukupna cijena radova je jako bitan kriterij i nju bi trebalo dobro proračunati jer kako je gore navedeno, jedan od glavnih razloga zbog kojih dolazi do odgode u izgradnji su novčana sredstva. Ukoliko cijena radova nije dobro izračunata i dogodi se da ima više nepredviđenih izdataka, moglo bi doći do odgode u izgradnji što bi automatski narušilo reputaciju izvođača i došlo bi do prekoračenja rokova. Ukoliko izvođačka firma raspolaže sa dobrim resursima, ima poveći broj radne snage, sve potrebne strojeve ili barem većinu, moguće je osloniti se da će i trajanje građenja biti u predviđenom roku, jer ako nema potrebne resurse moglo bi doći do produženja roka posebice na trenutno stanje na tržištu gdje je teško pronaći potrebnu radnu snagu. Reputacija izvođačke firme raste sa svakim kvalitetno izrađenim, u roku završenim projektom.

S toga je bitno da izvođačka firma ima prikladnog voditelja građenja koji će se pobrinuti da se poštuju svi zakoni vezani za građevinu kako bi i kvaliteta izrade bila u skladu sa propisima. Za potrebe ovog primjera uzeta su tri izvođača da bi se izvršio izbor, te kako bi se vidjelo da svaki od njih ima nešto bolje ponuđeno od drugog. Tri alternative koje su ponuđene predstavljaju izvođače sa njihovim ponudama koje sam izradila na temelju informacija dobivenih programskim zadatkom. Kako bi bilo jasnije zašto je koja od alternativa ocijenjena onako kako je, u slijedećoj tablici, tablici 3 biti će navedene karakteristike svakog izvođača zasebno.

Tablica 3: Karakteristike alternativa

| | Ukupna cijena radova (bez pdv-a) [kn] | Trajanje građenja [dani] | Kvaliteta izrade | Reputacija izvođača | Resursi izvođača |
|-------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Izvođač I | 701.350,00 | 70 | srednja | srednja | visoka |
| Izvođač II | 750.000,000 | 65 | srednja | visoka | visoka |
| Izvođač III | 680.000,00 | 75 | niska | srednja | srednja |

Izvođač I nudi najpribližniju cijenu radova i trajanje građenja po navedenim karakteristikama obiteljske kuće. Izvođač II je ponudio najskuplju opciju ali sa kraćim trajanjem, dok je Izvođač III ponudio najjeftiniju opciju sa najdužim trajanjem građenja. Svaki od izvođača se razlikuje po nečemu, kod nekih je kvaliteta izrade srednja, a kod nekih niska. Tako dolazi do razlika gledajući na resurse i reputaciju izvođača. Nakon što su prikazani kriteriji koji dovode do cilja i objašnjene alternative može se krenuti u proračunsku analizu.

3.1.Primjena AHP metode

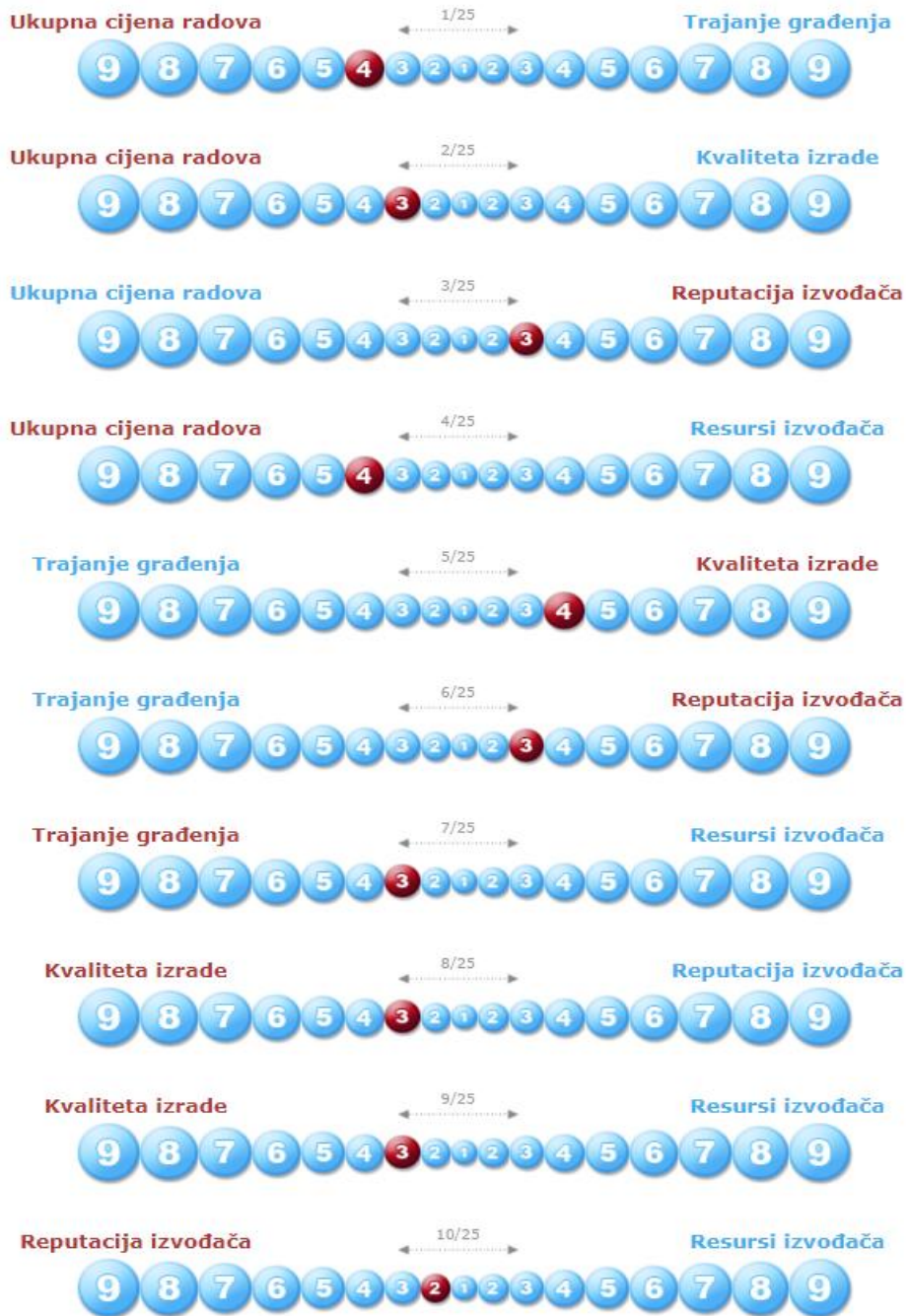
Prije nego se krene u primjenu AHP metode na odabranom projektu, bitno je znati da nakon što su ocjenjeni svi kriteriji, uspoređene sve alternative u odnosu na kriterije, dobivena suma svojstvenih vrijednosti kod svake usporedbe i iznosi indeksa konzistencije CI pomoću kojeg dijeljenjem sa slučajnim indeksom RI (tablica 4) dobivamo i odnos konzistencije.

Tablica 4: Tablica slučajnog indeksa

| | | | | | | | | | |
|----|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| n | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| RI | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,51 |

Tablica predstavlja iznose slučajnih indeksa za do deset kriterija. Oznaka n u tablici predstavlja količinu kriterija koje smo koristili pri analizi. Ukoliko se koristi pet kriterija kao u ovom primjeru, onda za slučajni indeks uzimamo 1,12 i unosi se u matematički izraz za izračun odnosa konzistencije koji mora bit manji ili jednaki 1 kako bi znali da su kriteriji i alternative objektivno ocijenjeni, a ne po preferiranju određenog od strane donositelja odluke.

Prvi korak je navesti kriterije i alternative (slika 11, tablica 2 i tablica 3), te zatim se pomoću Saaty-eve skale definiraju vrijednosti omjera težine kriterija i ocjenjuju se alternative međusobno u odnosu na kriterije.



Slika 12: Definiranje važnosti, omjera težine kriterija

Tablica 5: Prikaz važnosti, omjera težine kriterija

| | Ukupna cijena radova | Trajanje građenja | Kvaliteta izrade | Reputacija izvođača | Resursi izvođača |
|----------------------|----------------------|-------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Ukupna cijena radova | 1 | 4 | 3 | 1/3 | 4 |
| Trajanje građenja | 1/4 | 1 | 1/4 | 1/3 | 3 |
| Kvaliteta izrade | 1/3 | 4 | 1 | 3 | 3 |
| Reputacija izvođača | 3 | 3 | 1/3 | 1 | 2 |
| Resursi izvođača | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 1 |

CI: 0,2770

CR: 0,2496

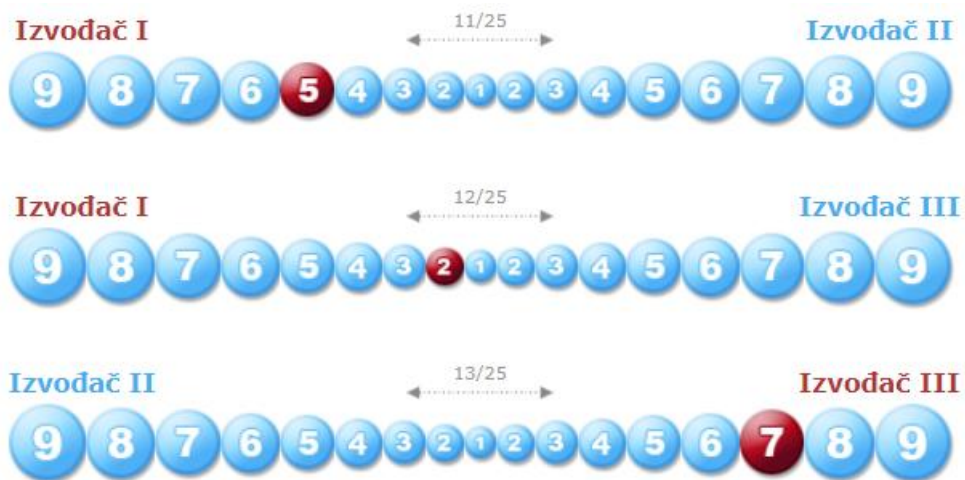
λ : 6,1081

Kao što se može i vidjeti, ukupna cijena radova je važnija od trajanja građenja i resursa izvođača. Ukupna cijena radova je umjereno važnija od kvalitete izrade, ali je kvaliteta izrade umjereno važnija od resursa i reputacije izvođača. Reputacija izvođača je umjereno važnija od ukupne cijene radova, dok je kvaliteta izrade važnija od trajanja građenja. Također je i reputacija izvođača umjereno važnija od trajanja građenja, ali je trajanje građenja važnije od resursa izvođača. Reputacija izvođača je malo važnija od resursa. Gledajući sliku 12 može se vidjeti kako su u tablici 5 prikazani ocjenjeni kriteriji na osnovu kojih smo dobili težinu kriterija, ponderane vrijednosti koje su potrebne za izračun sume svojstvenih vrijednosti λ_{max} pozitivne matrice koja je jednaka tragu te matrice, ili sumi dijagonalnih elemenata. Podatke o indeksu konzistencije CI dobivamo pomoću izraza (10). Nakon što smo dobili iznos indeksa konzistencije, gledajući tablicu 4, unosimo dobivene vrijednosti u izraz $\frac{CI}{RI}$ i dobivamo odnos konzistencije CR koji treba biti manji ili jednak 1 što znači da je uvjet zadovoljen. Nakon što su definirani omjeri težina kriterija, prelazi se na definiranje važnosti alternativa u odnosu na kriterije. Kako bi u idućem koraku što adekvatnije bili ocjenjeni odnosi izvođača s obzirom na kriterije koristiti će se skala prikazana na u tablici 6.

Tablica 6: Skala za ocjenjivanje odnosa alternativa

| Skala odnosa nisko, srednje i visoko | |
|--------------------------------------|---|
| Srednja-niska | 3 |
| Visoka-srednja | 3 |
| Visoka-niska | 5 |

Ukoliko se dogodi da za više kriterija imamo odnos visoko-srednje, srednje-nisko ili slično, kako ocijene ne bi odstupale, primijenjena je tablica 6 kako bi svi bilo ocijenjeni po istom principu.



Slika 13: Važnost alternativa u odnosu na ukupnu cijenu radova

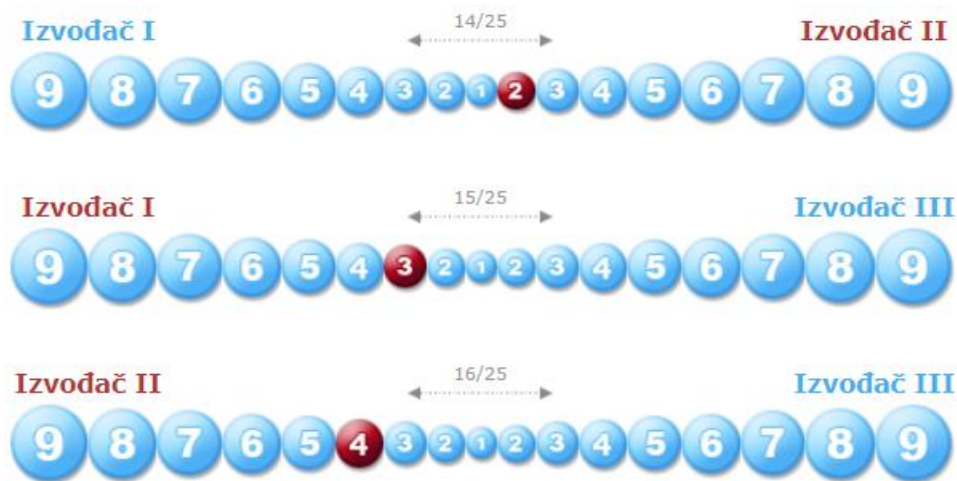
Tablica 7: Matrica odnosa alternativa s obzirom na kriterij ukupne cijene radova

| Ukupna cijena radova | Izvođač I | Izvođač II | Izvođač III |
|----------------------|-----------|------------|-------------|
| Izvođač I | 1 | 5 | 2 |
| Izvođač II | 1/5 | 1 | 1/7 |
| Izvođač III | 1/2 | 7 | 1 |

CI: 0,0591 CR: 0,1137 λ : 3,1183

Gledajući tablicu 3 može se vidjeti kako se kreću ukupne cijene radova za pojedinog izvođača dok programom proračunata cijena radova iznosi kako je gore navedeno. Na osnovu toga se ocjenjuju alternative u odnosu jedna na drugu. S obzirom da je izvođač I u ponudi naveo 701.350,00 kao ukupnu cijenu radova, a Izvođač II je naveo 750.000,00, možemo zaključiti da je Izvođač I u prednosti po ovom kriteriju jer je puno bliže realnoj cijeni u odnosu na Izvođača II. Usporedba Izvođača I i Izvođača III nam pokazuje kako je Izvođač I u ne tako velikoj prednosti naspram Izvođača III po kriteriju ukupne cijene. I u zadnjoj usporedbi dviju alternativa na navedeni kriterij vidi se da je razlika povećala.

Nakon dobivenih odnosa izvođača s obzirom na ukupnu cijenu radova i ubacivanjem vrijednosti u tablicu dobivaju se vrijednosti sume svojstvenih vrijednosti, indeksa konzistencije i odnosa konzistencije po istom principu kao što je gore opisano, ali sa 3 kriterija pa će se za vrijednost n uzimati 0,58. Kao i u prethodnom odnosu, tako i u ovom može se vidjeti da je CR uvjet zadovoljen jer je njegova vrijednost 0,1137 manja od 1.



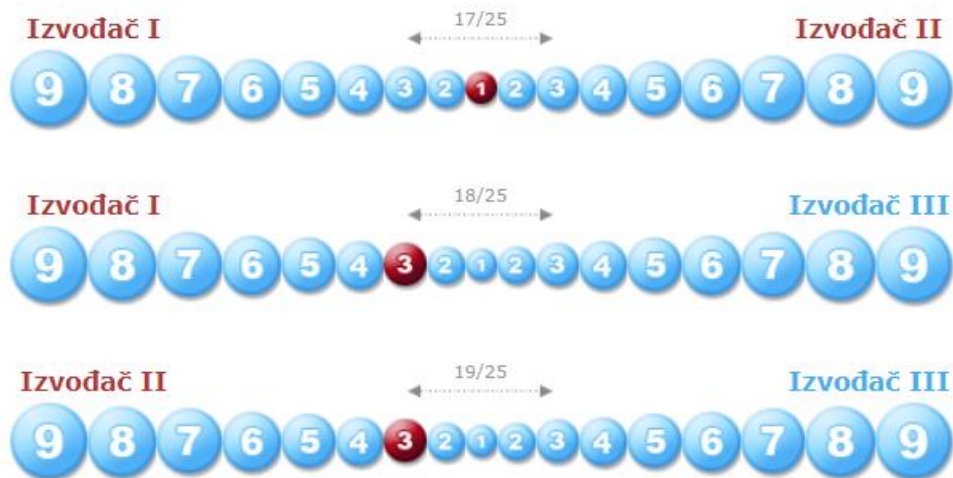
Slika 14: Važnost alternativa u odnosu na trajanje građenja

Tablica 8: Matrica odnosa alternativa s obzirom na kriterij trajanja građenja

| Trajanje građenja | Izvođač I | Izvođač II | Izvođač III |
|-------------------|-----------|------------|-------------|
| Izvođač I | 1 | 1/2 | 3 |
| Izvođač II | 2 | 1 | 4 |
| Izvođač III | 1/3 | 1/4 | 1 |

CI: 0,0093 CR: 0,0178 λ : 3,0185

Izvođač II ima malu prednost naspram Izvođača I kada je u pitanju trajanje radova, dok Izvođač I ima malo veću prednost naspram Izvođača III, što nam automatski govori da Izvođač II ima još veću prednost naspram Izvođača III. Kao i kod prethodne dvije analize, određivanjem važnosti kriterija dobivamo potrebne podatke za izračunati sumu svojstvenih vrijednost, indeks konzistencije i odnos. Uvjet odnosa konzistencije CR je zadovoljen.



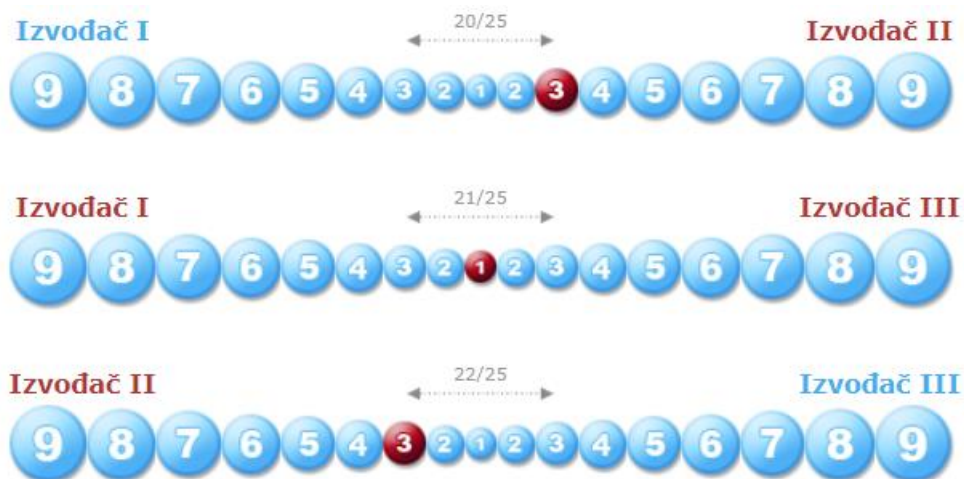
Slika 15: Važnost alternativa u odnosu na kvalitetu izrade

Tablica 9: Matrica odnosa alternativa s obzirom na kriterij kvalitete izrade

| Kvaliteta izrade | Izvođač I | Izvođač II | Izvođač III |
|------------------|-----------|------------|-------------|
| Izvođač I | 1 | 1 | 3 |
| Izvođač II | 1 | 1 | 3 |
| Izvođač III | 1/3 | 1/3 | 1 |

CI: 0,0002 CR: 0,0004 λ : 3,0004

Uspoređujući izvođače na osnovu kvalitete izrade možemo vidjeti da Izvođač I i Izvođač II nose jednaku važnost s obzirom da oboje imaju srednju kvalitetu izrade. Izvođač III odstupa jer je njegova kvaliteta izrade niska. Također kao i kod prethodne tri analizi i ovdje nakon određivanja važnosti kriterija dobivamo potrebne podatke preko kojih dobivamo sumu svojstvenih vrijednosti, indeks i odnos konzistencije koji su zapisano na tablici 9 odmah ispod. Kako i u prethodnima, tako je i ovdje odnos konzistencije CR zadovoljen i iznosi 0,0004.



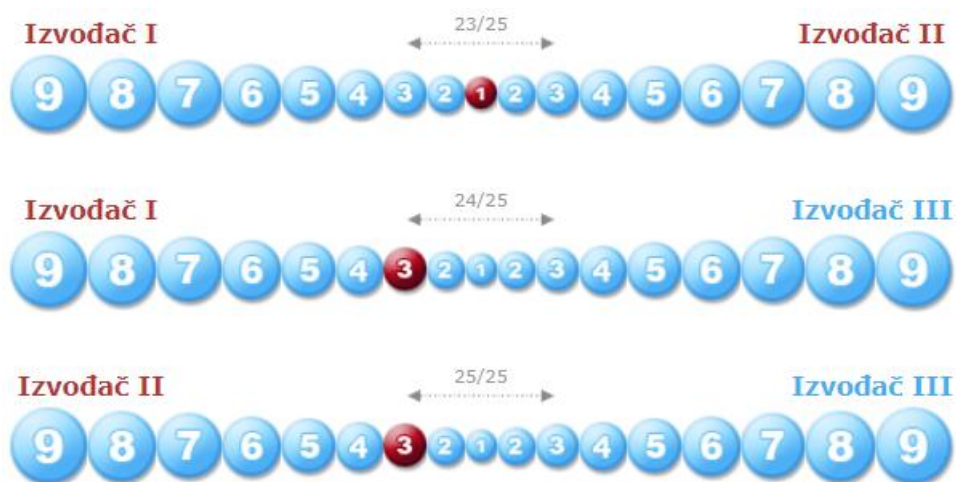
Slika 16: Važnost alternativa u odnosu na reputaciju izvođača

Tablica 10: Matrica odnosa alternativa s obzirom na kriterij reputacije izvođača

| Reputacija izvođača | Izvođač I | Izvođač II | Izvođač III |
|---------------------|-----------|------------|-------------|
| Izvođač I | 1 | 1/3 | 1 |
| Izvođač II | 3 | 1 | 3 |
| Izvođač III | 1 | 1/3 | 1 |

CI: 0,0000 CR: 0,0000 λ : 3,0000

Promatrajući reputaciju izvođača nesumnjivo se može reći da Izvođač II odstupa u pozitivnom smislu sa svojom visokom reputacijom, dok Izvođač I i Izvođač III imaju srednju razinu reputacije. Nakon unesenih omjera važnosti i dobivene sume svojstvenih vrijednosti, s obzirom da se radi o tri kriterija i da suma svojstvenih vrijednosti iznosi 3, ovdje nema indeksa i odnosa konzistencije, točnije oni iznose 0.



Slika 17: Važnost alternativa u odnosu na resurse izvođača

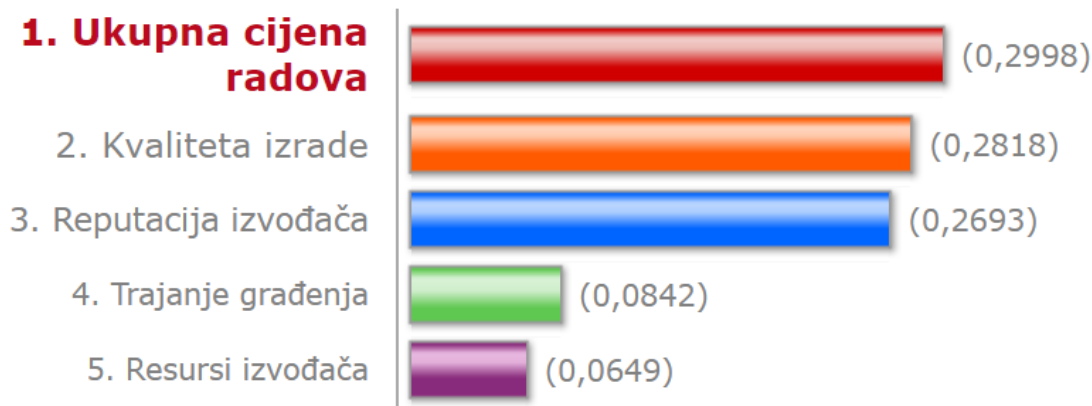
Tablica 11: Matrica odnosa alternativa s obzirom na kriterij resursa izvođača

| Resursi izvođača | Izvođač I | Izvođač II | Izvođač III |
|------------------|-----------|------------|-------------|
| Izvođač I | 1 | 1 | 3 |
| Izvođač II | 1 | 1 | 3 |
| Izvođač III | 1/3 | 1/3 | 1 |

CI: 0,0002 CR: 0,0004 λ : 3,0004

Izvođači I i II imaju znatnu prednost kada se u obzir uzimaju resursi jer za razliku od Izvođača III čiji resursi spadaju u srednju razinu, njihovi spadaju u visoku. I na posljétku kada su i za zadnji odnos izvođača s obzirom na kriterij resursa u matricu unesene važnosti, dobiva se suma svojstvenih vrijednosti, indeks konzistencije i odnos konzistencije za tu matricu. I u posljednjem odnosu je odnos konzistencije CR zadovoljen sa svojim iznosom 0,0004.

Nakon što su napravljene sve usporedbe, određene važnosti kriterija i važnosti alternativa u odnosu na kriterije, dobivaju se rezultati prikazani na idućim slikama.



Slika 18: Odnos važnosti kriterija pri odabiru adekvatnog izvođača

Na prethodnoj fotografiji je vidljiv težinski odnos svih razmatranih kriterija gdje se vidi kako je prvo mjesto važnosti kriterija zauzela ukupna cijena radova koja od ukupnih 100% iznosi 29,98%, zatim za njom slijedi kvaliteta izrade koja iznosi 28,18%, reputacija izvođača sa 26,93%, trajanje građenja sa 8,42% i na kraju resursi izvođača sa ukupnih 6,49% nisu od neposrednog utjecaja kao što se vidi kroz ranije iskazane važnosti kriterija.



Slika 19: Poredak alternativa sa strukturom kriterija

Tablica 12: Poredak alternativa s obzirom na strukturu kriterija

| | Ukupna cijena radova | Trajanje građenja | Kvaliteta izrade | Reputacija izvođača | Resursi izvođača | Rezultati |
|-------------|----------------------|-------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------|
| Izvođač I | 0,1623 | 0,0269 | 0,1208 | 0,0539 | 0,0278 | 0,3917 |
| Izvođač II | 0,0230 | 0,0470 | 0,1208 | 0,1616 | 0,0278 | 0,3802 |
| Izvođač III | 0,1144 | 0,0103 | 0,0403 | 0,0539 | 0,0093 | 0,2281 |

Odnos konzistencije (CR): 0,1814

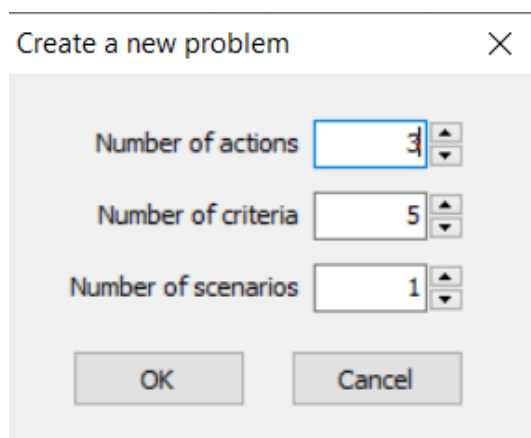
Na temelju težine kriterija definiranih tablicom 5 najbolji izbor izvođača za navedeni projekt bio bi Izvođač I što se može vidjeti u tablici 12. Izvođač I ima najpribližnju cijenu koja od ukupnog postotka 39,17% iznosi 16,23% i poprilično približni period trajanja radova koji je zauzeo 2,69%. Nakon njega slijedi Izvođač II sa ukupnih 38,02% koji je ponudio najveću cijenu radova, ali najkraće trajanje koje od ukupnog zauzima 4,70%. Te je na zadnjem mjestu Izvođač III koji nosi 22,81% sa najmanjom cijenom, niskom kvalitetom i najdužim periodom trajanja radova.

3.2. Primjer PROMETHEE metoda

Prije prikaza i objašnjenja dobivenih rezultata primjenom metoda PROMETHEE, potrebno je znati kako su prilikom izračuna isti kriteriji i iste alternative uzete u obzir kao i kod AHP metode. Kako je jedan od problema PROMETHEE metoda dodjeljivanje težina kriterijima, prilikom ovog proračuna korištene su težine dobivene proračunom AHP metode kako bi se moglo uspoređivati isto sa istim, da ne bude znatnih odstupanja u važnostima kriterija. Kod unosa

ukupne cijene, s obzirom da u softveru Visual PROMETHEE Academic ne postoji opcija unosa u kunama, za prebacivanja kuna u eure uzet je tečaj 7,5.

Prije samog početka unosa podataka u tablicu, prilikom otvaranja, odnosno kreiranja novog problema trebamo definirati koliko kriterija, alternativa i scenarija sadrži naš problem.



The image shows a dialog box titled "Create a new problem" with a close button (X) in the top right corner. Inside the dialog, there are three spinners for inputting values: "Number of actions" is set to 3, "Number of criteria" is set to 5, and "Number of scenarios" is set to 1. At the bottom of the dialog, there are two buttons: "OK" and "Cancel".

Slika 20: Kreiranje novog problema kojeg treba riješiti

Prvo definiramo odabrani broj alternativa koje u ovom završnom radu čine tri različita izvođača koji su svaki dali svoju ponudu. Nakon što smo unijeli broj alternativa, unosimo broj odabranih kriterija. U ovom proračunu, kao i u prethodnom, nalazi se pet kriterija definiranih od strane investitora. Željeni ishod, odnosno scenarij je jedan, jer se želi dobiti konkretno rješenje.

S obzirom da su gore navedeni svi potrebni podaci, može se započeti sa unosom tih podataka u tablicu. Za proračun PROMETHEE metoda korišten je softver Visual PROMETHEE Academic, B. Mareshal [15] čije su glavne karakteristike vrjednovanje mogućih odluka u odnosu na konfliktne kriterije, identificiranje najboljih mogućih odluka, njihovo rangiranje od najgorih do najboljih te vizualiziranje istih. U njemu definiramo zadatak, a nakon što smo definirali zadatak pred nama se pojavi tablica sa brojem alternativa i kriterija koliko smo stavili prilikom kreiranja. U tablicu se unose podaci nakon kojih se može pogledati kako su definirani parcijalni ili potpuni poredak. Također postoje i razne druge opcije, ali pošto one nisu dio ovog završnog rada iz tog razloga neće biti obrađene.

Visual PROMETHEE Academic - PROMETHEE.vpg (saved)

File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options

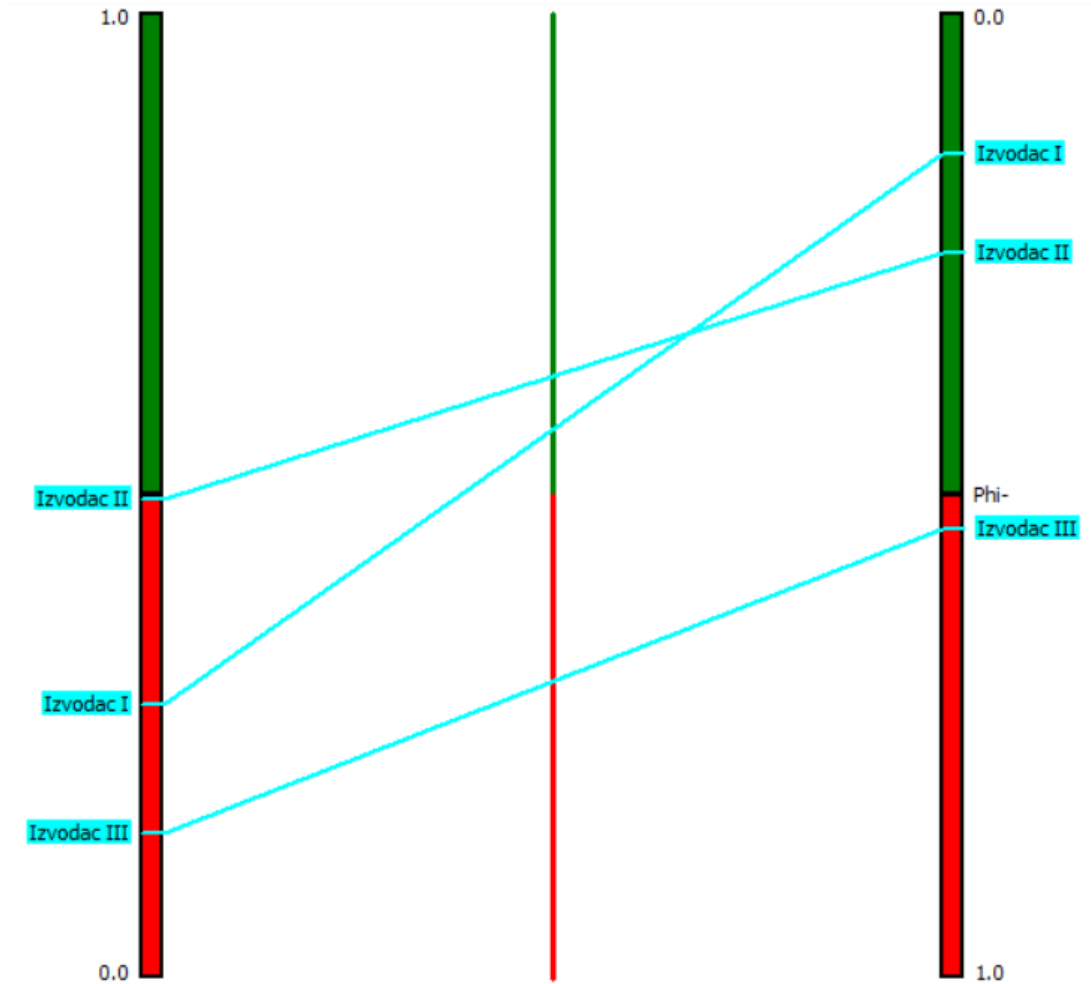
| | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|
| Scenario1 | Ukupna cijena... | Trajanje gra... | Kvaliteta izrade | Reputacija iz... | Resursi izvo... | |
| Unit | unit | impact | impact | impact | impact | |
| Cluster/Group | ◆ | ◆ | ◆ | ◆ | ◆ | |
| Preferences | | | | | | |
| Min/Max | min | min | max | max | max | |
| Weight | 29,98 | 8,42 | 28,18 | 26,93 | 6,49 | |
| Preference Fn. | Linear | Linear | Usual | Usual | Usual | |
| Thresholds | absolute | absolute | absolute | absolute | absolute | |
| - Q: Indifference | € 3.905,71 | 4 | n/a | n/a | n/a | |
| - P: Preference | € 7.811,42 | 8 | n/a | n/a | n/a | |
| - S: Gaussian | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Statistics | | | | | | |
| Minimum | € 90.666,67 | 65 | 2,00 | 3,00 | 3,00 | |
| Maximum | € 100.000,00 | 75 | 3,00 | 4,00 | 4,00 | |
| Average | € 94.726,67 | 70 | 2,67 | 3,33 | 3,67 | |
| Standard Dev. | € 3.905,71 | 4 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | |
| Evaluations | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Izvodac I | € 93.513,33 | 70 | moderate | moderate | high |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Izvodac II | € 100.000,00 | 65 | moderate | high | high |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Izvodac III | € 90.666,67 | 75 | low | moderate | moderate |

Slika 21: Tablica sa unesenim podacima u Visual PROMETHEE Academicu

Nakon kreiranja problema otvara se tablica u koju je potrebno unijeti sve podatke koje imamo. Prvo se dodjele nazivi kriterijima i alternativama kako bi se znalo gdje koji podatak treba unijeti da ne dođe do pogrešnog unosa jer svaki unos ima utjecaj na konačni rezultat. Kada su dodijeljeni nazivi kriterijima i alternativama, unose se podaci o alternativama koji su prethodno definirani, jedina razlika kod unosa podataka je kod ukupne cijene radova, iznosi nisu u kunama, nego u eurima. Na osnovu unesenih podataka određuju se smjer želja. Obzirom da svatko želi za što manje novca što prije izgraditi kuću, smjer ukupne cijene radova i trajanja građenja

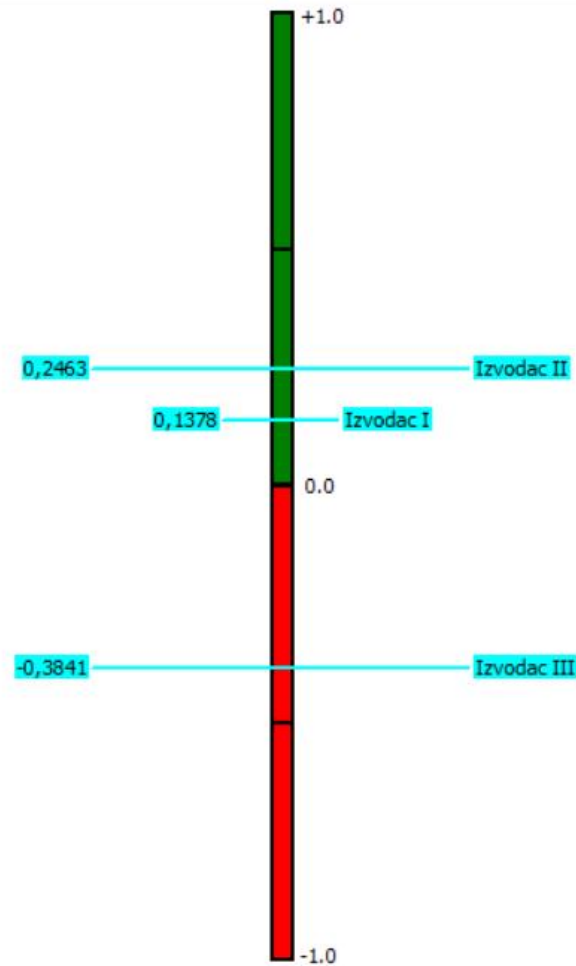
stavljen je na minimum. Naravno da svi žele izvođača sa što boljom reputacijom i velikim resursima, neovisno jesu li ti resursi ljudi, materijali ili strojevi, također tako žele i što kvalitetniju izgrađenu kuću i iz tog razloga je kod tih kriterija smjer želja postavljen na maksimum. Nakon određivanja smjera želja, unose se težine kriterija za koje je prethodno rečeno da su iz razloga kako bi se uspoređivalo isto sa istim, one uzete već proračunate prilikom primjene AHP metode te su takve unesene u tablicu na slici 21. Za svaki kriterij zasebno definira se funkcija preferencije. Kod kriterija ukupne cijene radova definirana je linearna funkcija preferencije iz razloga jer je upravo linearna preferencija najbolja za kvantitativni prikaz podataka, a kako je ukupna cijena radova izražena novčanim iznosom za kojeg se želi da bude što manji, iz toga razloga linearna funkcija preferencije najbolje odgovara.

Sličan slučaj se odvija kod trajanja građenja, samo što trajanje nije izraženo novcem nego danima, za koje je poželjno da ih je potrebno što manje, najbolje odgovara linearna funkcija preferencije. Suprotno od prva dva kriterija, ostala tri su definirana sa običnom, tj. uobičajenom funkcijom preferencije iz razloga jer odgovara smjeru želja i definiranju alternativa. Obična funkcija preferencije najčešće služi kod kvalitativnog prikaza sa više ljestvica kao što su u ovom radu korištene niska, srednja i visoka. Kako se za prva dva kriterija koristila linearna funkcija preferencije, potrebno je unijeti vrijednosti indiferencije i preferencije. Ukoliko se ne unesu prikladne vrijednosti neće se aktivirati odabrana funkcija preferencije. Pod vrijednost indiferencije kod ukupne cijene radova unosi se vrijednost standardne devijacije koja iznosi 3.905,71 , a kod trajanja građenja ona iznosi 4. Pod vrijednost preferencije unesene su vrijednosti dvostruke standardne devijacije 7.811,42 i 8. Navedene promjene će utjecati na rezultat parcijalnog i potpunog, tj. cjelokupnog poretka. Nakon što su svi potrebni podaci uneseni tablica nam automatski prikazuje statistiku koja sadrži minimum, maksimum, prosjek i standardnu devijaciju. Sa time se završava unos u tablicu.



Slika 22: PROMETHEE I (parcijalni poredak)

Kako postoje dva PROMETHEE rangiranja, odabirom metode PROMETHEE I (parcijalni poredak) vidi se parcijalni poredak alternativa čija je vizualna prezentacija iskazana na slici 22. Slika 22 prikazuje nam djelomično rangiranje varijanti koje se bazira na proračunu tokova Φ^+ i Φ^- . Na lijevoj strani se nalazi preferencija od 1 do 0 i predstavlja pozitivne vrijednosti, a na desnoj od 0 do -1 što predstavlja negativne vrijednosti.



Slika 23: PROMETHEE II (potpuni poredak)

PROMETHEE II (potpuni poredak) se bazira na neto toku preferencije, odnosno neto vrijednosti Φ . Metoda PROMETHEE II vrši potpuno rangiranje varijanti zasnovano na balansiranju ulazno-izlaznih tokova. Sve alternative su poredane od najbolje do najgore. U ovom slučaju najbolje se pokazao Izvođač II.

| Rank | action | | Phi | Phi+ | Phi- |
|------|-------------|-------------------------------------|---------|--------|--------|
| 1 | Izvodac II | <input checked="" type="checkbox"/> | 0,2463 | 0,4953 | 0,2490 |
| 2 | Izvodac I | <input checked="" type="checkbox"/> | 0,1378 | 0,2829 | 0,1452 |
| 3 | Izvodac III | <input checked="" type="checkbox"/> | -0,3841 | 0,1499 | 0,5340 |

Slika 24: Tablica funkcije toka

Numeričke vrijednosti funkcije toka svih izvođača nam pokazuju rezultate parcijalnog poretka triju alternativa, odnosno to je sjecište Phi+ i Phi- ljestvice, te potpuni poredak, ljestvica Phi, koji govori kako bi po PROMETHEE metodi najbolji izbor bio Izvođač II, a definitivno najgori Izvođač III.

3.3.Usporedba dobivenih rezultata

Ono što je isto kroz obje metode su kriteriji i alternative. Također je uzeta ista težina kriterija kako bi se mogla provesti usporedba konačnih rezultata obje metoda. Promatrajući konačni rezultat dobiven AHP metodom i rezultat dobiven PROMETHEE metodom, vidi se razlika.

Tablica 13: Odnos dobivenih rezultata

| | Izvođač I | Izvođač II | Izvođač III |
|-----------|-----------|------------|-------------|
| AHP | 0,3917 | 0,3802 | 0,2281 |
| PROMETHEE | 0,1378 | 0,2463 | -0,3841 |

Ako se promatra AHP analiza, kao najbolja alternativa, odnosno najbolji izvođač, prikazan je Izvođač I koji od ukupnih 39,17% u sebi sadrži 16,23% ukupne cijene radova koja je po AHP analizi najbitniji kriterij i od ukupnih 100% ona iznosi 29,98%. Za ukupnom cijenom radova slijedi kvaliteta izrade sa 28,18% koju prate reputacija izvođača sa 26,93%, trajanje građenja sa 8,42% i na posljednjem mjestu poretka važnosti kriterija resursi izvođača sa 6,49%. Izvođač I je u istom rangu sa Izvođačem II kada se pažnja usmjeri ka kvaliteti izrade i resursima izvođača, dok je Izvođač II bolji od Izvođača I kada su u pitanju trajanje građenja i reputacija izvođača. Prema AHP analizi samo 1,15% razlike dijeli Izvođača I od Izvođača II.

Gledajući PROMETHEE metodu Izvođač II je daleko bolji izbor od Izvođača I, dok je Izvođač III, baš kao i kod AHP analize, daleko najlošiji izbor. U ovisnosti o metodi, kako ona reagira, može poremetiti rang, međutim glavni razlog zašto se u jednoj metodi za najbolji izbor dobio Izvođač I, a u drugoj Izvođač II je to što su oba izvođača vrlo sličnih karakteristika sukladno 5 navedenih kriterija. Ovisno kako numerika participira ulazne kvalitativne i kvantitativne podatke, PROMETHEE metoda s obzirom da je finija daje jedan oblik ranga gdje je Izvođač II najbolji izbor za razliku od AHP-a koji je grublji i za najbolji izbor nudi Izvođača I. PROMETHEE metoda je finija iz razloga jer gleda kvalitativno i kvantitativno na kriterije, odnosno, donositelj odluke sam prilagođava pogled na kriterij. Upravo tako je obrađeno u ovom završnom radu, ukupna cijena radova je promatrana kvantitativno jer je izražena količinski, novčanim sredstvima, a tako je i trajanje izraženo danima, i iz istog razloga ju se sagledava kvantitativno, jer kada bi ih se sagledavalo kvalitativno po ovoj metodi, one ne bi igrale skoro nikakvu ulogu u rangiranju konačnih rezultata, bile bi jednake 1. Kvaliteta izrade, reputacija i resursi izvođača su gledani sa kvalitativne strane jer su izraženi kvalitetom koja može biti niska, srednja i visoka. PROMETHEE metoda se realizira kroz funkciju preferencije, a AHP metoda sagledava problem isključivo kroz Saaty-evu skalu. Upravo to sagledavanje problema je razlog zašto je jedna metoda bolja od druge ovisno o problemu kojeg želi riješiti. Što se tiče krajnjeg rezultata, obje metode daju slične rezultate, ali za problem koji se obrađivao kroz ovaj završni rad, smatram da bi više odgovarala PROMETHEE metoda. PROMETHEE metoda se pokazala učinkovitijom od AHP metode jer daje mogućnost uspoređivanja stvarnih kvantitativnih brojeva i iz toga razloga kod kvantitativnih kriterija daje objektivnije rezultate.

4. ZAKLJUČAK

Problem donošenja odluke započinje jasnim definiranjem kriterija. Da bi se neka od metoda višekriterijskog donošenja odluke mogla primijeniti, potrebno je biti dobro upoznat sa problemom i svime što se njega tiče. Subjektivnost donositelja odluke koji zapravo stavlja svoje želje, percepcije o pojedinim kriterijima, ovisi o njegovom razumijevanju kriterija i viđenju samog problema, što može stvoriti problem pri određivanju težina te to sve utječe na konačni rezultat. AHP ima prednosti ako gledamo kvalitativne kriterije, ali ako imamo kvantitativne i kvalitativne kriterije PROMETHEE metoda bi bila bolja za primjenu. Međutim veliki problem PROMETHEE metode je dodjeljivanje težina kriterijima i iz tog razloga se mogu iskoristiti prednosti AHP metode prilikom određivanja težina. Najidealnija bi bila kombinacija obiju metoda. Na istim ulaznim podacima, primjenom AHP i PROMETHEE metoda dobivaju se različiti rezultati, ali donositelju odluke daju veću mogućnost donošenja dobre odluke eliminacijom one alternative koja bi definitivno bila najlošiji odabir. S obzirom da je AHP metoda izbacila Izvođača I, a PROMETHEE Izvođača II kao najbolji odabir. Kroz AHP metodu dobivamo matematičku potvrdu da je netko ili nešto bolje u odnosu na drugo, ali su Izvođač I i Izvođač II vrlo bliski jedan drugome, te postoji mogućnost da je neki od elemenata u AHP metodi pogrešno procijenjen kroz Saaty-evu skalu. Ali i jedan i drugi Izvođač bi bili dobar odabir, dok Izvođač III bi trebao biti u potpunosti eliminiran jer su ga obje metode prikazale kao lošeg. Ne postoji loša metoda donošenja odluke, pitanje je samo o kakvom problemu se radi i koji kriteriji su uzeti u obzir kako bi pronašli metodu koja razumije i odgovara određenoj situaciji.

5. LITERATURA

- [1] Hidroregulacija, *Gradenje*, www.hidroregulacija.hr/index.php/gradenje, pristup 27.06.2020.
- [2] Ishizaka A., Nemery P., *Multi-criteria Decision Analysis: Methods and Software*, John Wiley and Sons, Hoboken, 2013.
- [3] Saaty T. L., *Decision Making with the Analytic Hierarchy Process*, Springer, 2008.
- [4] Saaty T.L., *Decision Making for Leaders, The Analytic Hierarchy Process for Decision in a Complex World*, Lifetime Learning Publications, 1982.
- [5] Brans, J.-P., Mareshal B., Vincke Ph., *PROMETHEE: A new family of outranking methods in MCDM*, Ed. Brans, J.-P., *Operational Research '84 - Proceedings of the 10th IFORS International Conference on Operational Research*, Elsevier Science Publishers, Washington, pp. 477-490, 1984.
- [6] Brans, J.-P., Vincke, Ph., *Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision Making)*, Centrum voor Statistiek en Operationeel Onderzoek, Vrije Universiteit, Brussel, 1984.
- [7] Marović I., Car-Pušić D., Hrvatin Z., 2014. Establishing a Model to Evaluate Public Administration Projects, *e-GFOS*, Vol. 5, No. 8, pp. 56-66.
- [8] Marović I., Hanak T., 2017. *Selection of Adequate Site Location During Early Stages of Construction Project Management: A Multi-criteria Decision Analysis*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 251, str. 9.
- [9] Kosijer M., Ivić M., Marković M., Belošević I., 2012., Višekriterijsko odlučivanje u planiranju i projektiranju trase željezničke pruge, *Gradjevinar*, Vol. 64, No. 3, pp. 195-205.
- [10] Car-Pušić D., Marović I., Gudac I., Medvedec D., *Prioritization of Public Investment Projects: Case Study of GSC Portfolio*, Conference Proceedings of 34th International Conference on Organizational Science Development, Portorož, Slovenija, 25-27.03.2015., str. 196-208.
- [11] Vegičević N., *Višekriterijski modeli odlučivanja u strateškom planiranju uvođenja e-učenja*, <https://dr.nsk.hr/en/islandora/object/foi%3A367>, pristup 28.03.2020.

- [12] Aleksi I., Hocenski Ž., *Primjena Expert-choice alata i AHP metode za odabir Virtex-5 FPGA čipa*, Završni rad, Elektrotehnički fakultet Sveučilišta u Osijeku, 2009.
- [13] Đurin B., *Pojednostavljeni postupak odabira optimalne varijante vodoopskrbnog sustava pokretanog solarnom fotonaponskom (FN) energijom*, Sveučilište u Zagrebu, Vol. 5 No. 1-2, 2018.
- [14] Perić M., *Programski zadatak iz kolegija Ekonomike građenja 2019/2020*, Sveučilište u Rijeci Građevinski fakultet, Rijeka, 2020. (predano 30.01.2020.)
- [15] Mareshal B., *Visual PROMETHEE 1.4 Manual*, 2013., pristup 20.05.2020.
- [16] Herceg H., *Višekriterijalno odlučivanje PROMETHEE metodom*, http://repositorij.fsb.hr/1223/1/07_02_2011_HHerceg-završniRad.pdf, pristup 30.05.2020.
- [17] Benković M., Keček D., Mundar D., *Matematičke osnove AHP metode odlučivanja*, <http://e.math.hr/category/klju-ne-rije-i/ahp-metoda> , pristup 14.03.2020.
- [18] Mudrinić I., *Višekriterijsko odlučivanje u procesu odabira prostornog rasporeda proizvodnog sustava*, http://repositorij.fsb.hr/6256/1/Mudrini%C4%87_2016diplomski.pdf , pristup 15.05.2020.
- [19] Jajac N., Marović I., Hanák T., 2015., Podrška odlučivanju u upravljanju prometnim projektima u urbanim sredinama, *Građevinar*, Vol.67, No. 2, pp. 131-141.