

Metode višekriterijalnog odlučivanja

Jašarević, Vedrana

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:291719>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-29**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet Informatike u Puli

VEDRANA JAŠAREVIĆ

METODE VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA

Diplomski rad

Pula, lipanj, 2020. godine

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet Informatike u Puli

VEDRANA JAŠAREVIĆ

METODE VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA

Diplomski rad

JMBAG: 0303061549, redoviti student
Studijski smjer: Informatika, diplomski studij

Predmet: IT Management
Znanstveno područje: Društvene znanosti
Znanstveno polje: Informacijske i komunikacijske znanosti
Znanstvena grana: Informacijski sustavi i informatologija

Mentor: doc. dr. sc. Darko Etinger

Pula, lipanj, 2020. godine



IZJAVA

o korištenju autorskog djela

Ja, VEDRANA JAŠAREVIĆ dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositeljju prava iskorištavanja, da moj diplomski rad pod nazivom METODE VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 12.6.2020. (datum)

Potpis

Vedrana Jašarević



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisana VEDRANA JAŠAREVIĆ, kandidat za magistra INFORMATIKE ovime izjavljujem da je ovaj Diplomski rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Diplomskog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

Vedrana Jašarević

U Puli, lipanj, 2020. godine

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. POVIJEST VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA.....	2
3. OPĆENITO O VIŠEKRITERIJALNOM ODLUČIVANJU	5
3.1. KOMPONENETE VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA	7
3.2. PROCES ODLUČIVANJA	8
3.2.1. ZAŠTO STRUKTURIRATI SITUACIJU ODLUČIVANJA?	10
4. KLASIFIKACIJA METODA VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA	12
4.1. AHP	15
4.2. FUZZY AHP	20
4.3. ANP	23
4.4. ELECTRE	26
4.5. PROMETHEE	31
4.6. USPOREDBA METODA	38
5. PROBLEM KUPNJE KUĆE U ISTRI	40
5.1. RJEŠENJE POMOĆU ANP METODE U SuperDecision-u.....	46
5.2. RJEŠENJE POMOĆU PROMETHEE METODE U Visual PROMETHEE-u	48
5.3. RJEŠENJE POMOĆU ELECTRE METODE U EXCEL-u	52
5.4. USPOREDBA REZULTATA	55
6. ZAKLJUČAK.....	56
LITERATURA	57
POPIS SLIKA.....	60
POPIS TABLICA	61
SAŽETAK	62
ABSTRACT.....	63

1. UVOD

Svaka osoba, svaki dan donosi na tisuće odluka. Svaka donesena odluka zahtijeva balansiranje više faktora, to jest kriterija, ponekad izričito, ponekad bez svjesne misli. To znači da je većina ljudi dobra u višekriterijalnom odlučivanju. Na primjer, ljudi, kad odlučuju što će odjenuti svaki dan, vjerojatno uzimaju u obzir što će raditi tijekom dana, kakav dojam žele stvoriti, u čemu se osjećaju ugodno, kakvo će vrijeme biti...

Može se zaključiti da su i u kontekstu donošenja osobnih, ali i grupnih, poslovnih odluka, ljudi često suočeni s odlukama koje su važne, a posljedice su velike, utjecaji su dugoročni i mogu utjecati na mnoge ljude, a pogreške izazvane tim odlukama ne mogu se lako otkloniti.

Donošenje višekriterijalnih odluka jedno je od najbrže rastućih problema tijekom posljednja tri desetljeća. U prošlosti, u poslovanju, odluke je donosila jedna osoba, većinom direktor, voditelj ili šef, vodeći se jednim kriterijem. Danas, okruženja za odlučivanje sve se više razvijaju pa tako nije više dovoljna jedna osoba i jedan kriterij. Kako bi se riješio taj problem, od šezdesetih godina pa sve do danas predložene su i razvijene mnoge metode.

U ovom diplomskom radu obrađen je sam pojam višekriterijalnog odlučivanja i njegovi najraniji početci, to jest sama povijest, komponente višekriterijalnog odlučivanja, proces odlučivanja, klasifikacija višekriterijalnog odlučivanja te je od velikog izbora metoda obrađeno njih pet koje su se činile najzanimljivije: AHP metoda, Fuzzy AHP metoda, ANP metoda, ELECTRE metoda i PROMETHEE metoda. U poglavlju 5.4. uspoređeno je tih pet metoda na način da su za svaku navedene prednosti i mane te područje gdje se svaka metoda koristi. Drugi dio rada sastoji se od praktičnog dijela, problema kupnje kuće u Istri. Obitelj bira između 5 različitih kuća prema sedam kriterija i osam podkriterija. Rezultati dobiveni različitim softverima za AHP metodu, ANP, ELECTRE i PROMETHEE metodu se na kraju uspoređuju te se vidi koja metoda je koju alternativu, to jest kuću kako rangirala.

2. POVIJEST VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA

Ljudi su od davnina morali donositi razne odluke. Gdje bi se bilo najbolje nastaniti, kako uhvatiti hranu, kako se obraniti od neprijatelja... Razmatranje više kriterija kako bi se rangirali ili birali između alternativa prirodan je pristup odlučivanju star kao i sama ljudska povijest. Zbog toga postoje razni citati iz daleke povijesti o odlučivanju:

- "Izbori su okovi sudbine." - Pitagora (570. pr.n.e. - 495. Pr. Kr.)
- „Ništa nije teže, stoga ni vrijednije, od sposobnosti odlučivanja.“ - Napoleon Bonaparte (1769. - 1821.)
- "Život je zbroj svih vaših izbora." - Albert Camus (1913. - 1960.)
- "Čovjek je čovjek jer može slobodno djelovati u okviru svoje sudbine. On je slobodan promišljati, donositi odluke i birati između alternativa. " - Martin Luther King (1929. - 1968.)¹

Najranije poznate reference koje se odnose na donošenje višekriterijalnih odluka mogu se pratiti sve do Benjamina Franklina², to jest do 18. stoljeća. On je imao jednostavan papirni sustav za odlučivanje o važnim pitanjima. Na listu papira, s jedne strane, napisao je argumente za, a s druge strane argumente protiv. Onu stranu koja ima više argumenata Franklin je navodno podržao, a to sve objasnio je u pismu svom prijatelju Josephu Priestleyju.

Godine 1955. Abraham Charnes, William Cooper i R.O. Ferguson objavili su članak koji je sadržavao suštinu ciljnog programiranja. Sama svrha ciljnog programiranja je pronaći moguće rješenje što bliže nekom zadanom cilju³. Njihov rad potaknuo je brojne istraživače na daljnja istraživanja. Među prvim suradnicima bili su Bruno Contini i Stan Zions koji su razvili model pregovaranja s više kriterija objavljen 1968. godine. Zions, zainteresiran višekriterijalnim problemom, nastavio je svoj rad. S brojnim drugim istraživačima radio je na metodama i sustavima za podršku odlučivanju za rješavanje interaktivnih problema s višestrukim objektivnim matematičkim programiranjem. 1979. godine Stanley Zions pomogao je popularizirati kraticu „MCDM“ svojim člankom za menadžere: "MCDM - Ako ne rimski broj, što onda? (*engl. MCDM – If not a Roman numeral, then what?*)". Čak su i mnogi studenti nastavili vršiti značajna istraživanja i

¹ (Famous quotes | 1000minds)

² Američki državnik, filozof, izumitelj, fizičar, ekonomist i književnik. Živio je od 1706. do 1790. godine. (Benjamin Franklin, Hr.wikipedia.org.)

³ (Vlah, 2008)

objavljivati o problemima s više kriterija. Neki od njih su Steven Breslawski, Hae Wang Chung, Dilip Deshpande, Ram Gopal, Tarja Joro, Mark Karwan, Zahid Khairullah, Murat Kksalan, Vahid Lotfi, Srinivas Prasad, R. Ramesh, Jeffrey Teich, Bernardo Villareal, Hannele Wallenius, Jingguo Wang i Yong-Seok Yoon...

Dolazeći iz drugog smjera, Ron Howard napisao je rad o postupcima uzastopnog odlučivanja, 1959. godine. Vjeruje se da je on prvi upotrijebio pojam „analiza odluke“ sredinom 1960-ih godina. Ralph Keeney i Howard Raiffa objavili su važno djelo 1976. godine, „*Odluke s više ciljeva: preferencije i vrijednosni kompromisi (engl. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs)*“, a baš ta knjiga postala je standarda referenca i tekst za mnoge generacije proučavanja analize odluka i višekriterijalnog odlučivanja.

U Europi su Bernard Roy i njegovi kolege sredinom 1960-ih razvili ELECTRE, obitelj višekriterijalnih metoda analize odluka. Ideja je bila izgraditi usmjerenu mrežu postavki. Pomoću mreže, metode konstruiraju skup neisplativih odluka ili odluka koje bi trebalo smatrati najboljima. Godine 1975. Roy je osnovao EURO-ovu radnu skupinu "*Pomoć u vezi s više kriterija (engl. Multiple Criteria Decision Aiding)*" koja je od tada održavala dva sastanka godišnje. Suradnici su bili C.A. Bana e Costa, Denis Bouyssou, Jean-Pierre Brans, Xavier Gandibleux, Eric Jacquet-Lagrze, Yannis Siskos, Roman Slowinski, Philippe Vincke i Constantin Zopounidis.

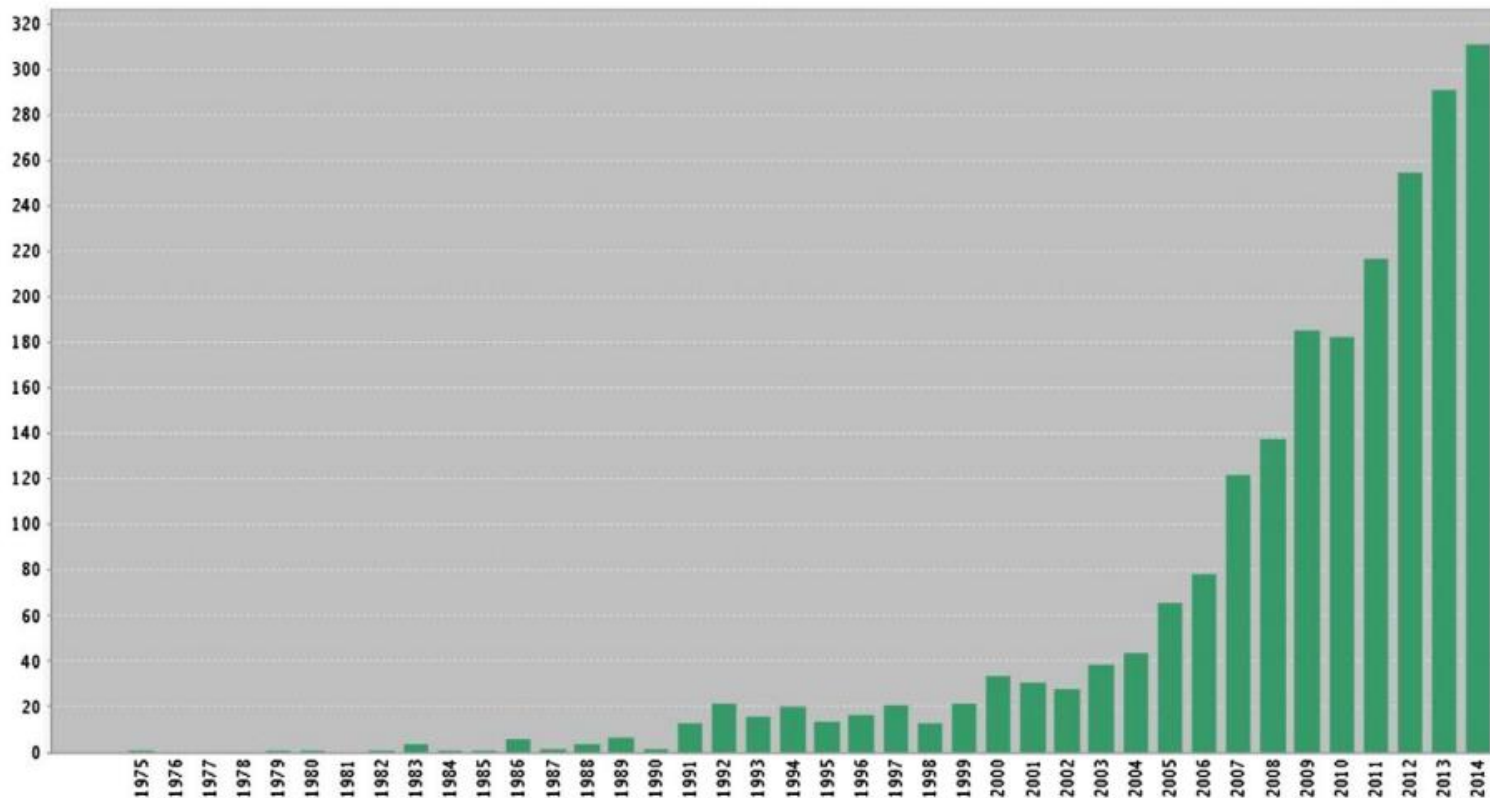
U studenom 1972. godine Milan Zeleny i njegov kolega JL Cochrane organizirali su međunarodnu konferenciju o višekriterijalnom odlučivanju u Columbiji u Južnoj Karolini. Zbornik radova na ovoj konferenciji bio je prvi veliki svezak o višekriterijalnom odlučivanju te se i danas još uvijek dosta citira.

Thomas Saaty uveo je proces analitičke hijerarhije (AHP) 1970-ih, a kasnije i analitički mrežni proces (ANP). Njegovi koautori i kolege uključuju Ernesta Formana i Luis Vargas. Saaty je bio jedan od najuspješnijih ljudi na području višekriterijalnog odlučivanja. Konferencije su se nastavile održavati sve do danas. Posljednja je bila u Turskoj, u Istanbulu, na Tehničkom sveučilištu, a održavala se od 16. lipnja do 21. lipnja 2019. godine. Sljedeća je najavljena za lipanj 2021. godine, u Portsmouthu, u Velikoj Britaniji. ⁴

⁴ (Short MCDM History | Multiple Criteria Decision Making)

Na slici 1 prikazano je kako se područje višekriterijalnog odlučivanja razvijalo od 1950. do 2014. godine. To je prikazano pomoću broja publikacija tijekom tog razdoblja. Vidi se da je u posljednja dva desetljeća bio značajan porast broja publikacija.⁵

Slika 1 Broj publikacija tijekom razdoblja 1950.–2014.



Izvor: Ballestero, Pérez-Gladish and Garcia-Bernabeu, 2015, str. 14.

⁵ (Ballestero, Pérez-Gladish and Garcia-Bernabeu, 2015, str. 14.)

3. OPĆENITO O VIŠEKRITERIJALNOM ODLUČIVANJU

Važno je započeti ovaj rad posvećen temi višekriterijalnog odlučivanja s definicijom onoga što se podrazumijeva pod pojmom „kriterija“. Jedna rječnička definicija „kriterija“ (Hrvatska enciklopedija, 2020) je „načelo (stajalište) po kojem se nešto ocjenjuje, prosuđuje, vrjednuje, raspoređuje (klasificira)“. U kontekstu donošenja odluka, to bi podrazumijevalo nekakvu normu kojom se može utvrditi da je jedan određeni izbor ili postupak djelovanja poželjniji od drugog. Razmatranje različitih izbora ili postupaka postaje problem donošenja odluka s više kriterija kada postoji niz takvih standarda koji su u značajnoj mjeri u sukobu.⁶

Kao što sam naziv govori, višekriterijalno odlučivanje govori o metodama, uključujući i softver, za donošenje odluka kada je potrebno razmatrati više kriterija ili ciljeva zajedno, kako bi se rangirali ili birali između alternativa koje se ocjenjuju. Višekriterijalno odlučivanje (*engl. Multi-criteria decision making – MCDM*), poznato je i kao analiza višestrukih kriterija (*engl. Multiple-criteria decision analysis - MCDA*). Većina odluka koje donose pojedinci, grupe i organizacije mogu se pripisati višekriterijalnom odlučivanju:

- Kandidati za posao koji ulaze u uži izbor
- Odabir novih projekata ili investicija
- Rangiranje stipendija
- Odabir novog doma ili automobila.

Zajedničko gore navedenim primjerima je da svi uključuju alternative (uključujući i ljude) koji se rangiraju te se postavljaju prioriteta ili se odabiru na temelju više kriterija koji se razmatraju zajedno. „Tradicionalno“ donošenje odluka, i kako većina ljudi donosi svakodnevne odluke, obično uključuje vaganje kriterija i procjenu kompromisa na intuitivan ili holistički način. Suprotno tome višekriterijalno odlučivanje, poddisciplina operativnog istraživanja s osnovama iz ekonomije, psihologije i matematike i sve više podržana specijaliziranim softverom, bavi se formalnijim strukturiranjem i rješavanjem problema s odlukama, obično uključuje eksplicitna ponderiranja kriterija i kompromise između njih. Sveukupno, višekriterijalno odlučivanje namijenjeno je smanjenju učestalosti i utjecaja pristranosti donositelja odluka oslanjajući se na svoju intuiciju, kao

⁶ (Belton and Stewart, 2003, str. 1.)

i grupne neuspjehe u donošenju odluka, koji gotovo neizbježno utječu na intuitivno odlučivanje. Pomoću ponderiranja, kriterija i alternativa višekriterijalno odlučivanje dovodi do transparentnijih i dosljednijih odluka.

Kod višekriterijalnog odlučivanja razlikuju se dvije glavne teorijske struje. Prvi tok, višekriterijalni modeli odlučivanja koji se temelje na kontinuiranoj matematici⁷, fokusiraju se na probleme s kontinuiranim prostorom za odlučivanje. Pokušavaju odrediti optimalna kompromisna rješenja i općenito pretpostavljaju da se problem koji treba riješiti može modelirati kao model matematičkog programiranja⁸. Kontinuirana matematika vrlo je moćna te lako dopušta mnoštvo modifikacija osnovnog modela ili metode. Zbog toga je prvi tok prvenstveno područje teoretičara. Matematičko programiranje ne rješava većinu problema kod donošenja višekriterijalnih odluka. Zbog toga se drugi tok fokusira na probleme s diskretnim prostorom za odlučivanje, to jest s brojim alternativnim rješenjima i u osnovi koristi pristupe iz diskretne matematike. Ipak, ti pristupi nisu toliko elegantni kao kod kontinuirane matematike. Taj se tok često naziva „donošenje odluka s više atributa“. Ovi modeli, za razliku od prijašnjih, ne pokušavaju izračunati optimalno rješenje već pokušavaju kroz različite postupke rangiranja odrediti alternativne odluke koje su optimalne s obzirom na nekoliko kriterija. Ova vrsta problema je mnogo učestalija u praksi, ali je problem što za nju ima mnogo manje metoda i mnogo je teže utvrditi njihovu kvalitetu nego kod kontinuiranih metoda. Pitanje, „Koja je najbolja metoda za određeni problem?“, postalo je jedno od najvažnijih, ali i najtežih pitanja za odgovoriti u ovom području.⁹

Zbog svih prednosti višekriterijalnog odlučivanja važno je otkloniti nekoliko mitova o višekriterijalnom odlučivanju:

- Mit 1: Višekriterijalno odlučivanje će „dati“ pravi odgovor.
- Mit 2: Višekriterijalno odlučivanje će pružiti „objektivnu“ analizu koja će osloboditi donositelje odluka od odgovornosti za donošenje teških presuda.
- Mit 3: Višekriterijalno odlučivanje će otkloniti težinu odlučivanja.

Što se tiče prvog mita, ne postoji, čak ni u kontekstu modela, „pravi odgovor“. Koncept optimalnog ne postoji u višekriterijskom okviru, pa se stoga višekriterijska analiza ne

⁷ Temelj su kontinuirani skupovi (R) i kontinuirane funkcije. (Diskretna matematika, Marjan.fesb.hr.)

⁸ Matematičko programiranje (MP) je uporaba matematičkih modela, posebno optimiziranja modela, kako bi se pomoglo u donošenju odluka. (1. What is Mathematical Programming? - Eudoxus Systems Ltd,.)

⁹ (Triantaphyllou, 2000, str. 1.)

može opravdati u paradigmi optimizacije koja se često usvaja u tradicionalnim operativnim istraživanjima. Višekriterijalno odlučivanje je pomoć pri odlučivanju, to jest proces koji želi integrirati objektivno mjerenje s procjenom vrijednosti i upravljati subjektivnošću. Glavna korist i cilj višekriterijalnog odlučivanja je olakšati razumijevanje problema s kojim se suočavaju donositelji odluka, o vlastitim, tuđim i organizacijskim prioritetima, vrijednostima i ciljevima.¹⁰

3.1. KOMPONENTE VIŠEKRI TERIJALNOG ODLUČIVANJA

Višekriterijalno odlučivanje uključuje četiri komponente: alternative, kriterije, težine i donositelje odluka. Alternative treba donositelj odluke rangirati ili birati između njih te one predstavljaju glavni cilj procesa odlučivanja. Kada se upućuje na najbolju alternativu, može se to smatrati jedinom mogućom radnjom koju je moguće provesti od početnog skupa. Kriterij služi za ocjenjivanje i usporedbu alternativa. Koncept kriterija povezan je s pojmovima atributa i cilja. Atribut mjeri učinkovitost sustava u odnosu na neki cilj, dok je cilj željeno stanje sustava. Kriterij, koji označavamo, predstavlja jednu od mogućih dimenzija iz koje se mogu procijeniti alternative ili moguće akcije, prema definiranom gledištu. Važno je da kriteriji opisuju ciljeve kako bi se razumjela uspješnost svake alternative. Da bi se bolje provela prosudba alternativa, potrebno je definiranje mjernih skala. U literaturi se najčešće navode nominalna, ordinalna, omjerna, apsolutna i intervalna. Veliki broj metoda odlučivanja koristi ocjenjivanje kriterija (težine) kako bi se favorizirao određeni aspekt sklonosti donositelja odluka. Odabir pravih kriterija za problematičnu situaciju je vrlo važan i može smanjiti broj alternativa. U pogledu definiranja kriterija mogu se dogoditi situacije neovisnosti, suradnje ili sukoba, tako da je također važno analizirati način na koji kriteriji djeluju.¹¹ Većina aplikacija za višekriterijalno odlučivanje uključuje manje od desetak kriterija koji mogu biti kvantitativni ili kvalitativni, s tim da je 5 do 7 kriterija najučestalije. S obzirom na broj ocijenjenih alternativa aplikacije za višekriterijalno odlučivanje mogu se razlikovati s obzirom na to jesu li za „jednokratne (*engl. One-off*)“ ili „ponovljene (*engl. Repeated*)“ svrhe.

¹⁰ (Belton and Stewart, 2003, str. 2.-3.)

¹¹ (Mota, Campos and Neves-Silv, 2013)

Neki problemi odlučivanja mogu se ponavljati u redovitim intervalima, pri čemu se isto vrijeme moraju razmatrati isti problemi. Zbog toga jednokratne aplikacije uključuju rangiranje određenih alternativa koje su donosiocu odluka već poznate, kao što su ocjenjivanje kandidata koji se prijavljuju za posao ili određivanje prioriteta nad novim poslovnim projektima itd., to jest gdje su alternative obično brojčane.

Za razliku od jednokratnih aplikacija, ponovljene aplikacije uključuju alternative rangiranja u skupu koji se neprestano mijenja - npr. koji uključuje potencijalno tisuće alternativa. Takvi problemi mogu biti u osnovi jedinstveni po tome što će čak i na oko slični problemi koji se događaju drugdje zahtijevati nov pogled na sva pitanja. Na primjer, u prijavama za zdravstvo i obrazovanje, novim pacijentima ili studentima („alternativama“) možda će se trebati dati prednost prioriteta - npr. za liječenje ili stipendije - u kontinuitetu. Ta dinamika znači da se moraju razmatrati potencijalno sve hipotetski moguće alternative.¹²

3.2. PROCES ODLUČIVANJA

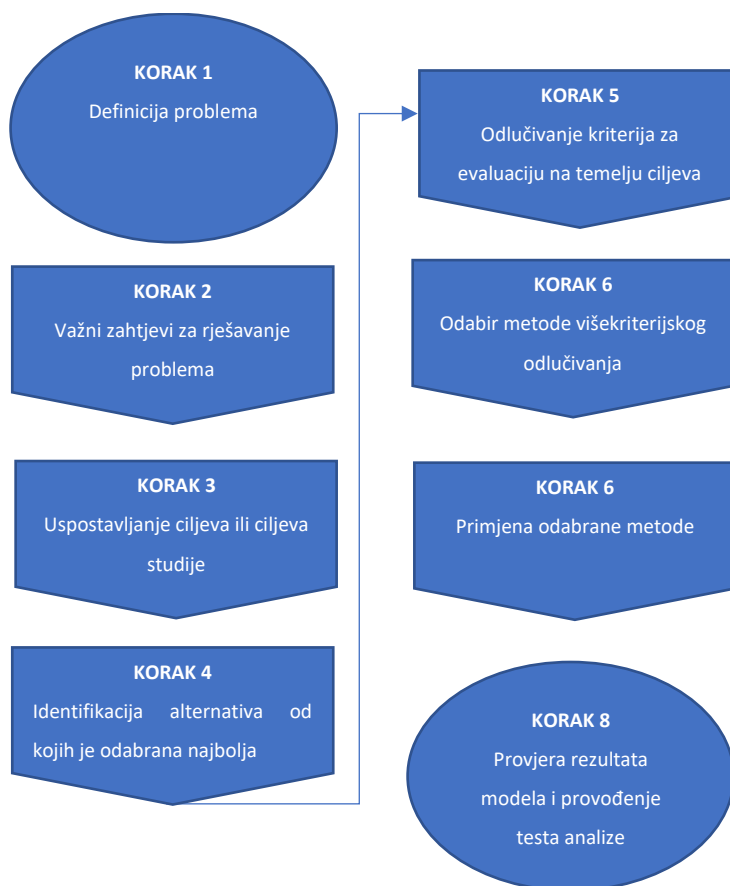
U većini slučajeva proces odlučivanja poduzima korake prikazane na slici 2.

U prvom koraku jasno se definira problem. Potom su navedeni neki drugi važni zahtjevi za rješavanje problema. U trećem koraku uspostavljaju se ciljevi ili ciljevi višekriterijskih problema. Četvrti korak procesa odlučivanja odnosi se na uspostavljanje alternativa koje će se razmatrati u procesu odlučivanja s ciljem da se odabere najbolja alternativa. U petom koraku procesa odlučivanja, utvrđuju se kriteriji za ocjenjivanje. Kriteriji trebaju zadovoljiti neke prethodno definirane standarde. Na primjer, odabrani kriterij može promijeniti vrijednost u prostoru i vremenu. Šesti korak procesa je vrlo važan, jer uključuje odabir odgovarajuće višekriterijske metode odlučivanja za rješavanje problema. Kasnije se odabrana metoda višekriterijskog odlučivanja primjenjuje na popis alternativa koji je definiran u četvrtom koraku procesa odlučivanja. Završni korak procesa odlučivanja je provjera rezultata modela i provođenje testa analize osjetljivosti. Važno je napomenuti da proces odlučivanja normalno teče od vrha do dna, ali može se vratiti na bilo koji od prethodnih koraka ako se kasnije pronađu nove informacije.¹³

¹² (What is MCDM / MCDA? | 1000minds)

¹³ (Zardari, Ahmed, Shirazi and Yusop, 2015, str. 7.- 8.)

Slika 2 Proces odlučivanja



Izvor: prilagođeno prema: Zardari, Ahmed, Shirazi and Yusop, 2015, str. 8.

U procesu sudjeluju mnogi akteri, tu spadaju donositelji odluka, klijenti, sponzori, ostali dionici, uključujući i potencijalne sabotere i moderatore ili analitičare. Izraz analitičar često se koristi kada je snažan naglasak na toj osobi koja samostalno radi na prikupljanju informacija i prikupljanju stručnosti. Analitičari mogu biti vanjski ili interni savjetnici, ali u oba će slučaja biti prepoznati po njihovoj stručnosti u pristupu modeliranja. Drugim riječima, donositelji odluka odgovorni su za donošenje same odluke dok pomagač ili analitičar pokušava usmjeriti donositelja odluke i pomoći im u postizanju zadovoljavajuće odluke.

Navedenih 8 koraka može se sažeti u tri ključne faze procesa. Identifikacija i strukturiranje problema prva je faza gdje svi sudionici trebaju razviti zajedničko

razumijevanje problema, odluka koje se moraju donijeti i kriterije. Druga faza je izrada i uporaba modela dok je treća faza izrada akcijskih planova.¹⁴

3.2.1. ZAŠTO STRUKTURIRATI SITUACIJU ODLUČIVANJA?

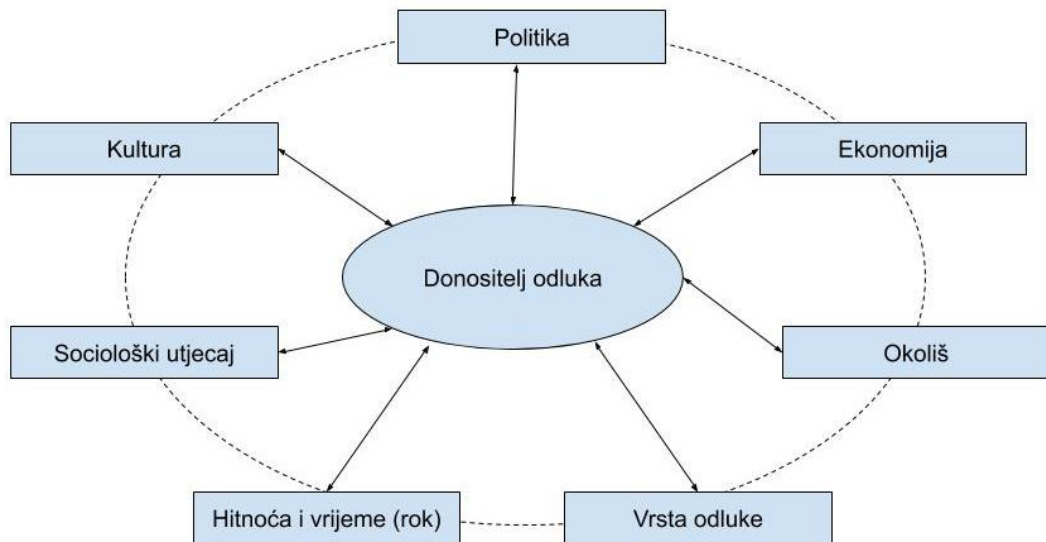
U stvarnom životu donositelj odluka suočen sa „situacijom odlučivanja (*engl. Decision Making Situation - DMS*)“ pokušava prije svega razumjeti i strukturirati situaciju. Prema tome, očito je da je strukturiranje važan korak za donošenje odluke. Ovaj korak uključuje utvrđivanje i procjenu dionika, hitnost odluke, različite alternative, posljedice, važne aspekte (kriterije), kvalitetu i količinu informacija... Općenito, niti alternative niti kriteriji nisu poznati unaprijed. Zatim se unutar skupa svih metoda za višekriterijalno odlučivanje može odabrati metoda koja može "ispravno" riješiti situaciju, što nije lak zadatak.

Racionalno odlučivanje uvijek preferira rješenje koje maksimizira njegovu dobrobit. Poznati citat Alberta Einsteina uvelike se koristi i ističe važnost ovog koraka, "formulacija problema je često bitnije od rješenja, koja može biti samo pitanje matematičke ili eksperimentalne vještine". Često se postavlja pitanje zašto razmišljati o strukturiranju situacije odlučivanja. Do sada je moglo postati očito da se proces strukturiranja mnogima čini kao najvrjedniji i najuzbudljiviji dio čitave metodologije višekriterijalnog odlučivanja. Različite metode višekriterijalnog odlučivanja temelje se na formuliranju preferencija odlučivanja, a zapravo novi psiho-kognitivni nalazi otkrivaju da proces modeliranja i strukturiranja utječe na formuliranje preferencija. Jedan od zbunjujućih aspekata ljudskog odlučivanja je osjetljivost preferencije prema naizgled manjim promjenama u načinu na koji je problem predstavljen. Prema različitim izvorima i različitoj literaturi može se ustvrditi da postoje različite situacije odlučivanja: automatizirane odluke, navike, hitne odluke... Zbog svega toga odlučivanje ipak nije uvijek dosljedno i racionalno kada dođe vrijeme za formuliranje svojih sklonosti. Jasno je da mnoga druga razmatranja utječu na postupak donošenja odluke kao što je prikazano na slici 3. Prihvatajući da je odluka rezultat interakcije mnogih aktera pod utjecajem konteksta, postaje lako odbaciti koncept racionalnog odlučivanja. Prema tome domena odluke može se smatrati aspektom trokuta, to je prikazano na slici 4. U tom okviru, odluka nije niti potpuno racionalna, niti potpuno

¹⁴ (Belton and Stewart, 2003, str. 7.- 14.)

iracionalna, ali ni potpuno neracionalna. Racionalna odluka sastoji se od procjene svih alternativa, a zatim izbora one koja maksimizira zadovoljstvo odlučivanja ili njegovu korisnost. Dakle, racionalno je povezano i s procesom, to jest analizom i s njegovim rezultatom, to jest maksimizacijom. ¹⁵

Slika 3 Utjecaji na postupak donošenja odluke



Izvor: prilagođeno prema: Schramm, Morais, 2012

Slika 4 Domena odluke



Izvor: prilagođeno prema: Schramm, Morais, 2012

¹⁵ (Schramm and Morais, 2012)

4. KLASIFIKACIJA METODA VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA

Danas, nakon godina proučavanja višekriterijalnog odlučivanja, literature su bogate različitim vrstama metoda višekriterijalnog odlučivanja. Slijedi popis nekih, danas, popularnih metoda koje istraživači često koriste kako bi riješili neke probleme s više kriterija u stvarnom svijetu:

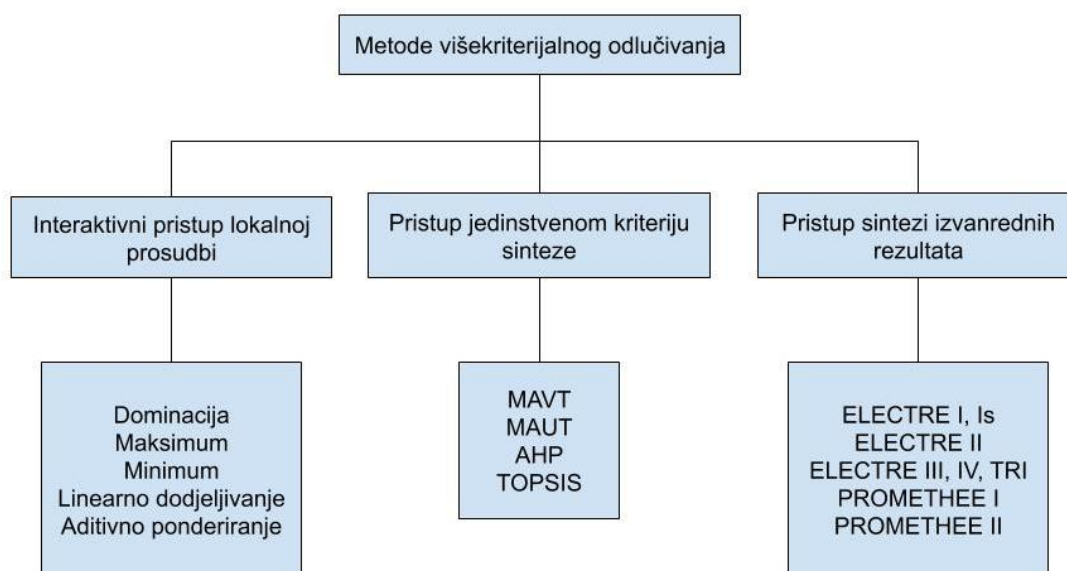
- AHP – Proces analitičke hijerarhije (*engl. The analytic hierarchy process*)
- ANP – Proces analitičke mreže (*engl. The analytic network process*)
- ELECTRE – Eliminacija i izbor izražavanja stvarnosti (*franc. Elimination Et Choix Traduisant la Realite, engl. Elimination and Choice Translating Reality*)
- PROMETHEE - Metoda organizacije rangiranja preferencija za obogaćivanje procjene (*engl. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*)
- TOPSIS - Tehnika preferencije narudžbe slična idealnom rješenju (*engl. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)
- WSM - Model ponderiranih zbroj (*engl. Weighted Sum Model*)
- GP – Ciljno programiranje (*engl. Goal Programming*)
- MACBETH – Mjerenje atraktivnosti tehnikom kategoriziranja na temelju evaluacije (*engl. Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*)
- MAUT – Teorija korisnosti s više atributa (*engl. Multi-Attribute Utility Theory*)
- MAVT – Teorija vrijednosti više atributa (*engl. Multi-Attribute Value Theory*).¹⁶

Specijalisti su podijelili višekriterijalne metode odlučivanja u tri kategorije, čija je svrha spajanje metoda prema nekim sličnostima. Pristup jedinstvenom kriteriju sinteze (*engl. Unique synthesis criterion approach*) je prva kategorija koja se naziva i Američkom školom (*engl. American School*). Sastoji se od objedinjavanja različitih pogleda na jedinstvenu funkciju koja će biti optimizirana. U tu kategoriju od gore navedenih spadaju MAUT, AHP i TOPSIS. Europska škola (*engl. European School*) ili Francuska škola (*engl. French School*) drugi su nazivi za drugu kategoriju, pristup sintezi izvanrednih rezultata (*engl. Outranking synthesis approach*). Sastoji se od razvoja odnosa koji se zove vanserijski odnos, te predstavlja preferencije donositelja odluke, pri čemu se odnos istražuje kako bi se donositelju odluka pomoglo da riješi svoje

¹⁶ (Zardari, Ahmed, Shirazi and Yusop, 2015, str. 10.)

probleme. Primjer su ELECTRE I PROMETHEE. Uz ova dva različita pristupa, pojavila su se i dva različita naziva koja definiraju disciplinu. Francuski praktičari ne vole akronim MCDM, jer smatraju da se MCDM pristup temelji na pogrešnom shvaćanju procesa odlučivanja i na način na koji je u njega uključen analitičar odluke ili višekriterijalna metoda. Riječ "donošenje" tada se zamjenjuje s "pomoć", uz uvjet da se odstupi od uloge analitičara odluke od one koju igra donositelj odluka.¹⁷ Treća kategorija je interaktivni pristup lokalnoj prosudbi (*engl. Interactive local judgment approach*). On predlaže metode koje izmjenjuju korake izračuna, dajući uzastopna kompromitirajuća rješenja i korake dijaloga, što dovodi do dodatnog izvora informacija o preferencijama donositelja odluka.¹⁸ Na slici 5 prikazana je ta klasifikacija.

Slika 5 Klasifikacija metoda višekriterijalnog odlučivanja



Izvor: prilagođeno prema: Zardari, Ahmed, Shirazi and Yusop, 2015, str. 11.

Ne preporučuju se sve metode za rješavanje svih problema s višekriterijalnim odlučivanjem. Neke metode mogu uzeti samo kvantitativne podatke za obradu, a neke mogu raditi s obje vrste podataka, to jest s kvantitativnim, ali i s kvalitativnim. Postoje i neke druge karakteristike višekriterijalnih metoda odlučivanja kao što su, na primjer

¹⁷ (Mota, Campos and Neves-Silv, 2013)

¹⁸ (Schramm and Morais, 2012)

transparentnost i troškovi. Transparentnost je niska kod mnogih metoda, što sugerira da se takve metode ne smiju koristiti ako su mnogi dionici uključeni u donošenje odluke. Vrsta dostupnih informacija uvelike će odrediti koja se metoda može upotrijebiti za određeni problem. Većina kvantitativnih metoda kao rezultat daje ocjene izvedbe, kao i rangiranje. Rezultati mogu biti prikazani i vizualno. Samo računanje je kod većina metoda jednostavno, ali to je manje bitan kriterij jer danas postoji mnogo softvera koji to računaju umjesto nas. U tablici 1 prikazane su neke metode te karakteristike za svaku od njih.

Tablica 1 Karakteristike različitih metoda

MCDM METODE	PODACI	REZULTATI	TRANSPARENTNOST	RAČUNANJE	CIJENA
PONDERIRANO ZBRAJANJE	Kvantitativni	Rangiranje	Visoka	Jednostavno	Niska
IDEALNA METODA ZBROJEVA	Kvantitativni	Udaljenost do cilja / Rangiranje	Srednja	Jednostavno	Niska
GRAFIČKA PROCJENA	Mješoviti	Vizualna prezentacija	Visoka	Jednostavno	Niska
OUTRANKING METODA	Kvantitativni	Rangiranje / Nepotpuno rangiranje	Niska	Vrlo kompleksno	Srednja
AHP METODA	Kvalitativni	Rangiranje	Niska	Kompleksno	Srednja
REŽIMSKA METODA	Mješoviti	Rangiranje / Vjerojatnost	Niska	Vrlo kompleksno	Niska
METODA PERMUTACIJE	Kvalitativni	Rangiranje	Niska	Vrlo kompleksno	Srednja
EVAMIX METODA	Mješoviti	Rangiranje	Niska	Jednostavno	Niska

Izvor: prilagođeno prema: Zardari, Ahmed, Shirazi and Yusop, 2015, str. 12.

Odabir odgovarajuće metode je sam po sebi višekriterijalni problem. Ne postoji jedinstvena metoda koja može biti superiorna metoda za sve probleme u odlučivanju.

Različiti istraživači imaju različita stajališta. Neki tvrde da će različite metode donijeti različite preporuke dok drugi tvrde da se rangiranje alternativnih odluka neće znato promijeniti primjenom druge metode.¹⁹

Višekriterijalne metode pružaju korake i tehnike za pronalaženje kompromisnog rješenja. Nisu automatske metode koje dovode do istog rješenja za svakog donositelja odluka, ali sadrže subjektivne informacije.

U sljedećim poglavljima biti će obrađeno pet metoda: AHP, Fuzzy AHP, ANP, ELECTRE i PROMETHEE.

4.1. AHP

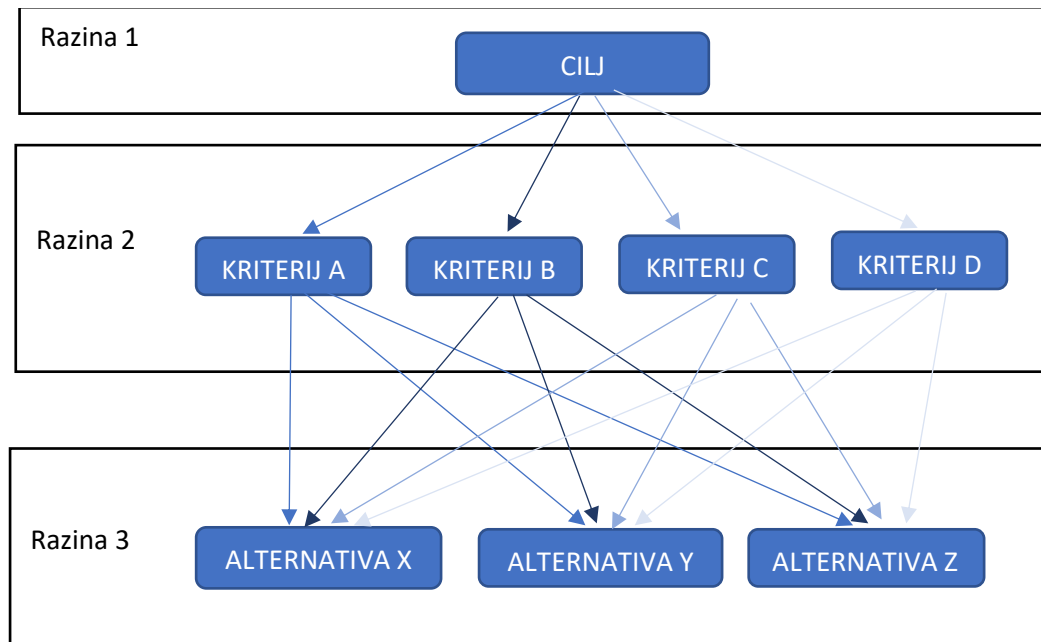
Proces analitičke hijerarhije jedna je od najpopularnijih metoda. Najčešće se pomoću te metode učenicima ili studentima pokušava približiti i objasniti višekriterijalno odlučivanje. Tu metodu razvio je Thomas L. Saaty u 1970-ima. Umjesto da propisuje ispravnu odluku, AHP pomaže donositeljima odluka pronaći onu koja najbolje odgovara njihovom cilju i njihovom razumijevanju problema. Metoda razgrađuje složeni problem u sustav hijerarhije. Za korištenje AHP-a korisnik mora izvršiti četiri koraka za dobivanje ranga alternativa. Kao i kod bilo koje druge višekriterijalne metode odlučivanja, problem najprije mora biti strukturiran. Donositelj odluke ne treba davati numeričku ocjenu nego je umjesto toga, dovoljna relativna verbalna ocjena, poznatija iz svakodnevnog života. Mogu se provesti dva dodatna koraka, a to su provjera konzistentnosti i analiza osjetljivosti. Oba su koraka neobavezna, ali se preporučuju kao potvrda stabilnosti rezultata. Provjera dosljednosti uobičajena je u svim metodama koje se temelje na parnim usporedbama poput AHP.

AHP se temelji na motu podijeli pa vladaj. Problemi koji zahtijevaju višekriterijalne tehnike su složeni te ih je korisno raščlaniti i riješiti jedan "potproblem" odjednom. Taj se rasplet vrši u dvije faze procesa odlučivanja tijekom strukturiranja problema i izvlačenja prioriteta u parnim usporedbama. Problem je strukturiran prema hijerarhiji gdje je gornji element cilj odluke, to je prikazano na slici 6. Druga razina hijerarhije predstavlja kriterije, a najniža razina alternative. U AHP-u se pretpostavlja da je odnos elemenata više razine od elemenata niže razine neovisan, a za elemente unutar razine

¹⁹ (Zardari, Ahmed, Shirazi and Yusop, 2015, str. 11.-14.)

također se pretpostavlja da su neovisni. U složenijim hijerarhijama može se dodati više razina. Te dodatne razine predstavljaju podkriterije. U svakom slučaju, u hijerarhiji postoje najmanje tri razine.

Slika 6 Tradicionalni prikaz hijerarhije



Izvor: Izrada studenta

Jednom kada je hijerarhija izgrađena, donositelj odluka sustavno ocjenjuje, to jest računa prioritete njezinih različitih elemenata, uspoređujući dvije alternative međusobno s obzirom na zadani kriterij koji je iznad njih u hijerarhiji. Prema raznim istraživanjima iz psihologije, ljudskom je mozgu najlakše istovremeno uspoređivati samo dvije alternative pa zbog toga i ova metoda tako radi. Potrebno je izračunati tri vrste prioriteta: kriterijski prioriteta, gdje je važnost svakog kriterija u odnosu na glavni cilj, lokalni alternativni prioriteta, gdje je važnost alternative u odnosu na jedan određeni kriterij i globalni alternativni prioriteta, gdje su kriteriji prioriteta i lokalni alternativni prioriteta međupredmetni rezultati koji se koriste za izračunavanje globalnih alternativnih prioriteta. Globalni alternativni prioriteta rangiraju alternative u odnosu na sve kriterije i prema tome sveukupni cilj.

Završni korak bavi se strukturom $m \times n$ matrice, gdje je m broj alternativa, a n broj kriterija. U literaturi se matrica popularno naziva matricom uspoređivanja u parovima

(engl. *pairwise comparison matrix - PCM*). Matrica se sastoji od elemenata izraženih na numeričkoj skali, a vrijednosti elemenata daju donositelji odluka na temelju svojih iskustava i stručnosti kako bi kvalitativni atribut ili kriterije transformirali u mjerljive brojeve. Nematerijalni atributi mjere se ljestvicom apsolutnih prosudbi koja predstavlja koliko jedan element više dominira nad drugim u odnosu na određeni atribut. Saaty je predložio temeljnu ljestvicu unutar skale od 9 podjela za usporedbu dva elementa u odnosu na kriterije. Psiholozi sugeriraju da manja razina, recimo od 1 do 5 ne bi dala istu razinu detalja u skupu podataka, ali i da bi se donositelj odluka izgubio u većem mjerilu na primjer, na skali od 1 do 100, donositelju odluke teško je razlikovati ocjenu 62 i 63. Ako se iznos usporedbe nalazi na lijevoj strani skale u matricu se upisuje taj iznos sa skale, a ako se nalazi na desnoj strani skale, u matricu se upisuje recipročna vrijednost iznosa. Saaty-eva skala je prikazana na tablici 2. Elementi glavne dijagonale su jedinice jer se u tom slučaju kriterij uspoređuje sam sa sobom. Broj potrebnih usporedbi za svaku usporednu matricu je $\frac{n^2-n}{2}$ gdje je n broj alternativa i/ili kriterija.

Tablica 2 Saaty-eva skala

Ocjena prioriteta	Opisna ocjena	
1	Jednaki prioritet	Equal
2	Jednaki do umjereni prioritet	Intermediate favors
3	Umjereni prioritet	Slightly favors
4	Umjereni do jaki prioritet	Intermediate favors
5	Jaki prioritet	Strongly favors
6	Jaki do vrlo jaki prioritet	Intermediate favors
7	Vrlo jaki prioritet	Very strong favors
8	Vrlo jaki do apsolutni prioritet	Intermediate favors
9	Apsolutni prioritet	Extreme favors

Izvor: prilagođeno prema: Lisjak, 2011

Kad je matrica gotova, može se provesti provjera dosljednosti radi otkrivanja mogućih suprotnosti unosa. Kad je predstavljeno nekoliko uzastopnih usporedbi, mogu se suprotstaviti jedna drugoj. Razlozi ovih kontradikcija mogli bi biti, na primjer, nejasno definirani problemi, nedostatak podataka, nesigurne informacije ili nedostatak koncentracije. Na primjer, donositelj odluke daje sljedeće parne usporedbe:

- Trgovački centar je dva puta vidljiviji od centra grada.
- Centar grada tri je puta vidljiviji od industrijskog područja.

- Industrijsko područje je četiri puta vidljivije od trgovačkog centra.

Treća je tvrdnja nedosljedna što je određeno iz prve dvije tvrdnje; industrijsko područje je šest puta vidljivije od trgovačkog centra (2×3). Da bi se omogućila ta nedosljedna stvarnost, AHP dopušta do 10% nedosljednosti u odnosu na prosječnu nedosljednost od 500 nasumično ispunjenih matrica. Izračun vrši pomoćni softver i pokazuje treba li matricu preispitati zbog velike nedosljednosti.

Posljednji korak procesa odlučivanja je analiza osjetljivosti, gdje se ulazni podaci malo mijenjaju kako bi se uočio utjecaj na rezultate. Analiza osjetljivosti omogućava stvaranje različitih scenarija. Ako se rangiranje ne promijeni, rezultati su stabilni, a u protivnom su osjetljivi. Analiza osjetljivosti u nekim softverima provodi se promjenom težine kriterija i promatranjem utjecaja na globalni alternativni prioritet.^{20 21 22 23}

Sljedeće će biti prikazan primjer AHP metode ručno računajući. Prvo se popunjava matrica te se računa suma kako bi se matrica mogla normalizirati.

	<i>Kriterij 1</i>	<i>Kriterij 2</i>	<i>Kriterij 3</i>	<i>Kriterij 4</i>
<i>Kriterij 1</i>	1	5	4	8
<i>Kriterij 2</i>	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{2}$	3
<i>Kriterij 3</i>	$\frac{1}{4}$	2	1	3
<i>Kriterij 4</i>	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1
<i>UKUPNO</i>	1.58	8.33	5.83	15

Iz normalizirane matrice računa se težina kriterija pomoću aritmetičke sredine.

	<i>Kriterij 1</i>	<i>Kriterij 2</i>	<i>Kriterij 3</i>	<i>Kriterij 4</i>	<i>Težina kriterija</i>
<i>Kriterij 1</i>	0.6329	0.6002	0.6861	0.5333	0.6131
<i>Kriterij 2</i>	0.1266	0.1200	0.0858	0.2	0.1331
<i>Kriterij 3</i>	0.1582	0.2401	0.1715	0.2	0.1924
<i>Kriterij 4</i>	0.0781	0.0400	0.0572	0.0667	0.0605

Zatim se računa provjera dosljednosti kako bi se provjerilo da li su izračunate vrijednosti točne ili ne. Vrijednosti ne normalizirane matrice množe se težinom kriterija

²⁰ (Triantaphyllou, 2000, str. 9.)

²¹ (Ishizaka and Nemery, 2013, str. 1.-19.)

²² (Kou, Ergu, Peng and Shi, 2014, str. 11.-14.)

²³ (Lisjak, 2011)

te se dobiva sljedeća matrica. Zbrojem tih vrijednosti dobiva se ponderirana vrijednost zbroja. Ta se ta vrijednost dijeli s težinom kriterija.

	<i>Kriterij 1</i>	<i>Kriterij 2</i>	<i>Kriterij 3</i>	<i>Kriterij 4</i>	<i>Pon. vrijed. zbroja</i>	<i>Omjer</i>
<i>Kriterij 1</i>	0.6131	0.6655	0.7696	0.484	2.5322	4.1302
<i>Kriterij 2</i>	0.1226	0.1331	0.0962	0.1815	0.5334	4.0075
<i>Kriterij 3</i>	0.1533	0.2662	0.1924	0.1815	0.7934	4.1237
<i>Kriterij 4</i>	0.0781	0.0444	0.0641	0.0605	0.2471	4.0843

Aritmetičkom sredinom zadnjih vrijednosti dobiva se λ_{max} koja u ovom slučaju iznosi 4.08635. Indeks dosljednosti (*engl. Consistency Indeks – CI*) računa se formulom $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$, gdje je n broj uspoređenih elemenata. U ovom primjeru je n 4 pa CI iznosi 0.02878. Zadnje se računa omjer konzistentnosti (*engl. Consistency Ratio – CR*) dijeleći CI i slučajni indeks (*engl. Random Indeks – RI*). RI je indeks dosljednosti nasumično generiranih pair-wise matrica. U tablici 3 prikazano je 10 kriterija.

Tablica 3 Slučajni indeks

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Izvor: prilagođeno prema: Mathew, 2018

U ovom primjeru RI je 0.90 pa tako CR iznosi 0.019778 što je manje od 0.10, pa to znači da su izračunate vrijednosti točne te da je najznačajniji kriterij Kriterij 1.

Na isti način kreira se i matrica za alternative kako bi se međusobno usporedile, te se i svaki kriterij uspoređuje sa svim alternativama.

<i>Težine</i>	0.6131	0.1331	0.1924	0.0605
	<i>Kriterij 1</i>	<i>Kriterij 2</i>	<i>Kriterij 3</i>	<i>Kriterij 4</i>
<i>Alternativa 1</i>	0.3647	0.0774	0.0315	0.0157
<i>Alternativa 2</i>	0.1696	0.0146	0.0572	0.0197
<i>Alternativa 3</i>	0.0788	0.0411	0.1037	0.0134

Kako bi se dobio konačan rezultat, vrijednosti u svakom redu se zbrajaju. Alternativa 1 ima najveću vrijednost te ja ona prema AHP metodi najbolji izbor.

	<i>Vrijednost prioriteta</i>	<i>Rangiraje</i>
<i>Alternativa 1</i>	0.4893	1
<i>Alternativa 2</i>	0.2611	2
<i>Alternativa 3</i>	0.237	3

4.2. FUZZY AHP

Fuzzy višekriterijalno odlučivanje primjenjuje se kada dolazi do određene nesigurnosti u odlučivanju. Jedan od razloga zbog kojeg može doći do nesigurnosti je kada donositelj odluke nije 100% siguran pri donošenju neke subjektivne procjene. Drugi razlog može biti kada informacije o nekim kriterijima nisu potpune ili nisu uopće dostupne.

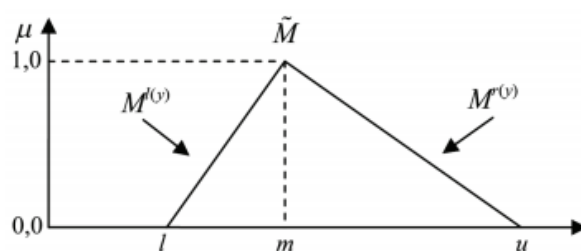
Fuzzy AHP se koristi kada korisnikova preferencija nije izričito definirana zbog neizrazite naravi.²⁴ U fuzzy AHP metodi težine su izražene neophodnim ili mogućim mjerama. Fuzzy AHP metoda posebno je pogodna za modeliranje kvalitativnih kriterija i pronašla je opsežnu primjenu u širokom rasponu područja kao što su odabir, procjena, planiranje i razvoj, predviđanje donošenja odluka itd.

Lotfi A. Zadeh uveo je teoriju nejasnih skupova (*engl. Fuzzy Set Theory - FST*) kako bi se bavio neizvjesnošću i nejasnoćom. Glavni doprinos FST-a je sposobnost predstavljanja nesigurnih podataka. Fuzzy skup (*engl. Fuzzy Set - FS*) je klasa objekata s kontinuiranim ocjenama. Takav skup karakterizira funkcija članstva koja svakom objektu dodjeljuje ocjenu članstva u rasponu između nule i jedan. Znak tilda (~) će biti postavljen iznad simbola ako simbol pokazuje FST. Trokutasti fuzzy broj (*engl. Triangular Fuzzy Number - TFN*) se označava jednostavno kao l, m i u . Parametri l, m i u ($l \leq m \leq u$), označavaju najmanju moguću vrijednost, najperspektivniju vrijednost i najveću moguću vrijednost koja opisuje nejasan događaj. Funkcija članstva u TFN je prikazana na slici 7.²⁵

²⁴ (Dujmić, 2014)

²⁵ (Erkan and Rouyendegh, 2012)

Slika 7 TFN funkcija



Izvor: Erkan and Rouyendegh, 2012

Zbog toga za fuzzy AHP Saaty-eva skala izgleda drugačije. Za svaku vrijednost dodana su još dva broja, najmanja i najveća vrijednost. Skala je prikazana na tablici 4.

Tablica 4 Fuzzy Saaty skala

Equal	1	(1,1,1)
Moderate	3	(2,3,4)
Strong	5	(4,5,6)
Very strong	7	(6,7,8)
Extremely strong	9	(9,9,9)
Intermediate values	2	(1,2,3)
	4	(3,4,5)
	6	(5,6,7)
	8	(7,8,9)

Izvor: prilagođeno prema: Mathew, 2018

Prateći gore navedenu skalu razlikuje se i popunjavanje matrice. Matricu iz prethodnog primjera za AHP metodu pretvorili smo u fuzzy matricu.

	Kriterij 1	Kriterij 2	Kriterij 3	Kriterij 4
Kriterij 1	(1,1,1)	(4,5,6)	(3,4,5)	(7,8,9)
Kriterij 2	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	(1,1,1)	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	(2,3,4)
Kriterij 3	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3})$	(1,2,3)	(1,1,1)	(2,3,4)
Kriterij 4	$(\frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1,1,1)

Zatim se uspoređuju kriteriji te se računaju težine pomoću geometrijske sredine. Kriteriji se uspoređuju pomoću formule: $\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2)$.

	<i>Kriterij 1</i>	<i>Kriterij 2</i>	<i>Kriterij 3</i>	<i>Kriterij 4</i>	<i>Fuzzy geometrijska sredina (\tilde{r}_i)</i>
<i>Kriterij 1</i>	(1,1,1)	(4,5,6)	(3,4,5)	(7,8,9)	(3.03, 3.56, 4.06)
<i>Kriterij 2</i>	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	(1,1,1)	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	(2,3,4)	(0.58, 0.74, 1)
<i>Kriterij 3</i>	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3})$	(1,2,3)	(1,1,1)	(2,3,4)	(0.80, 1.11, 1.41)
<i>Kriterij 4</i>	$(\frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1,1,1)	(0.29, 0.34, 0.43)

Nakon toga računa se fuzzy težina pomoću formule $\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \otimes \tilde{r}_2 \otimes \dots \otimes \tilde{r}_n)^{-1}$ te aritmetička sredina $w_i = \frac{l+m+u}{3}$.

Zbrajanjem svih aritmetičkih sredina dobivamo rezultat 1.05 što nije prihvatljivo pa zbog toga trebamo normalizirati sve aritmetičke sredine kako bi dobili konačnu težinu 1.

	<i>Fuzzy težine (\tilde{w}_i)</i>	<i>Aritmetička sredina (w_i)</i>	<i>Normalizirana težina</i>
	(0.439, 0.619, 0.864)	0.641	0.610
	(0.084, 0.129, 0.213)	0.142	0.135
	(0.116, 0.193, 0.3)	0.203	0.193
	(0.042, 0.059, 0.091)	0.064	0.061
UKUPNO		1.05	1

Uspoređujući vrijednosti težina dobivenih AHP metodom i Fuzzy AHP metodom može se primijetiti da se u ovom slučaju baš i ne razlikuju te da je u oba slučaja najznačajniji Kriterij 1.

<i>AHP</i>	<i>Fuzzy AHP</i>
0.613	0.610
0.133	0.135
0.192	0.193
0.061	0.061

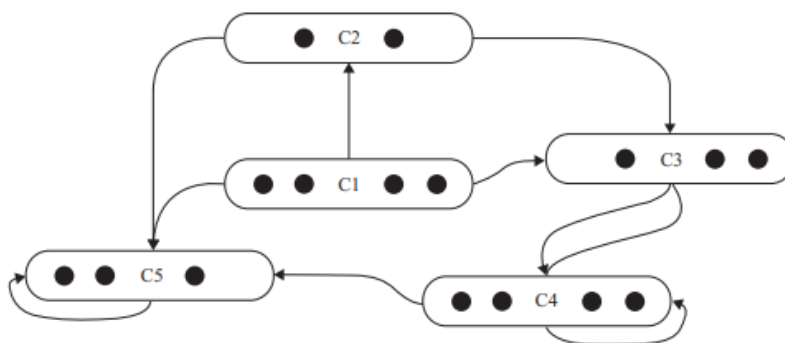
Važno je da, ako su informacije izvjesne, jasne i točne, odabrati klasičnu metodu dok ako informacije, to jest procjene nisu sigurne, treba odabrati fuzzy metoda AHP-a.

4.3. ANP

Kod AHP metode elementi više razine su neovisni o elementima niže razine kao što su i elementi unutar razine neovisni. Iako to pojednostavljuje izračune mnogi problemi s odlukama ne mogu se hijerarhijski strukturirati zbog složenosti i dinamike prirode problema s odlukama. Stoga se ne može zanemariti interakcija elemenata više razine sa elementima niže razine i njihova ovisnost. Za rješavanje ovih slabosti AHP-a, Thomas Saaty je 1996. godine predložio ANP metodu. ANP metoda je generalizacija AHP-a koja se bavi ovisnostima. U tradicionalnim MCDA metodama ako kriteriji ovise jedan o drugom, npr. ako želimo kupiti automobil, povezani su kriteriji brzine i snage motora, te se onda i podrazumijeva veća težina zajedničkih kriterija. ANP metoda omogućuje modeliranje tih ovisnosti, koje se nazivaju i povratne informacije, oni su bliži stvarnosti i, kao rezultat, daju točnije rezultate. Kako se mogu pojaviti ovisnosti između bilo kojeg od elemenata u problemu odluke, to jest alternative, kriterija, podkriterija i cilja, model više nije linearan kao u AHP-u, gdje su elementi raspoređeni u razinama. Hijerarhija nije potrebna u ANP modelu jer klasteri zamjenjuju razine i svaki klaster sadrži čvorove ili elemente. To je prikazano na slici 12. Klasteri su povezani linijom, što zauzvrat znači da su sadržani elementi ili čvorovi.

Ishodišni čvor (*engl. source*) je onaj iz kojeg strelica izlazi i on utječe na odredišni čvor (*engl. sink*) prema kojem je strelica usmjerena tj. odredišni čvor ovisi od ishodišnog čvora. Na slici 8, C1 je ishodišni čvor, C5 je odredišni čvor do su C2, C3 i C4 prijelazni čvorovi.

Slika 8 AHP mreža s pet klastera



Izvor: Ishizaka and Nemery, 2013, str. 60.

Postoje tri problema koje AHP metoda ne može riješiti pa se zbog toga koristi ANP metoda. Unutarnja ovisnost u klasteru, to jest povezanost elemenata u istom klasteru prvi je problem. Element klastera ovisi o jednom elementu iz istog klastera, te se označava se pomoću petlje. Na primjer, škola je odlučila nagraditi učenike koji su postigli najbolje rezultate iz hrvatskog, matematike i fizike. Iva ima talent za jezike, dok se Marko ističe u znanstvenim područjima. Ako se pretpostavi da kriteriji imaju istu težinu, rezultat dobiven pomoću AHP metode pogodio bi Marku jer postoji velika povezanost između matematike i fizike. Zbog toga je potrebna ANP metoda kako bi se modelirale unutarnje ovisnosti. Struktura problema ANP-a vrlo je slična onoj s AHP-om samo je razlika u dodatnoj petlji što ukazuje na unutarnju ovisnost. Uz parne usporedbe u tradicionalnom AHP-u, potrebne su i matrice koje modeliraju unutarnju ovisnost. Ove matrice imaju za cilj uhvatiti relativnu važnost kriterija kada je već ocijenjen drugi ovisni kriterij. U primjeru s Ivom i Markom potrebne su tri dodatne matrice. Postoji par pitanja na koja treba odgovoriti:

- Ako je cilj odabrati najboljeg učenika i ocjenjuje ga se prema fizici, koji bi drugi kriterij, hrvatski ili matematika bio važniji i koliko? Kako postoji snažna povezanost matematike i fizike, hrvatskom se pridaje jača važnost.
- Ako je cilj odabrati najboljeg učenika i ocjenjuje ga se prema hrvatskom, koji bi drugi kriterij, matematika ili fizika bio važniji i koliko? Kao što ne postoji povezanost između hrvatskog i fizike, niti između hrvatskog i matematike, slična se težina daje kriterijima.
- Ako je cilj odabrati najboljeg učenika i ocjenjuje ga se prema matematici, koji bi drugi kriterij, hrvatski ili fizika bio važniji i koliko? Kako postoji snažna povezanost matematike i fizike, hrvatskom se pridaje jača važnost.

Drugi problem je unutarnja ovisnost alternativnog klastera. Unutarnja ovisnost može postojati i u alternativnom klasteru. Ovaj problem je rijedak i rjeđe se razmatra. Dvije su alternative negativno povezane u sljedećem primjeru. Prisutnost dviju sličnih alternativa smanjuje njihovu privlačnost. Žena želi kupiti elegantnu večernju haljinu. Prodavačica predlaže dvije haljine: crnu i plavu. Ženi se više sviđa crna haljina. Međutim, prodavač tada predstavlja i sivu haljinu kao treću opciju, te je ona vrlo slična crnoj. Kako je žena zabrinuta da netko drugi neće obući istu haljinu kao i ona, kupuje plavu haljinu. Ako modeliramo problem u AHP-u i smatramo da su crna i siva haljina iste u pogledu elegancije i četiri puta elegantnije od plave haljine, tada bi crna i siva

haljina dobile najveći prioritet. Unutarnja ovisnost nije uzeta u obzir u ovom modelu i zato je opet potreban ANP. I u ovom slučaju potrebne su tri nove matrice koje modeliraju unutarnju ovisnost. Pitanja na koja treba odgovoriti su sljedeća:

- Ako je cilj odabrati preferiranu haljinu i zna se da je crna haljina također u klasteru za ocjenjivanje, koja se haljina, plava ili siva, preferira? Kako su crna i siva haljina slične, prednost će dobiti plava haljina.
- Ako je cilj odabrati preferiranu haljinu i zna se da je plava haljina također u klasteru za ocjenjivanje, koja se haljina, crna ili siva, preferira? Kako su crna i siva haljina slične i ne postoji povezanost s plavom haljinom, podjednako su bitne.
- Ako je cilj odabrati preferiranu haljinu i zna se da je siva haljina također u klasteru za ocjenjivanje, koja se haljina, crna ili plava, preferira? Kako su crna i siva haljina slične, preferira se plava haljina.

Treći problem je vanjska ovisnost ili povratna veza. To je korelacija između dva klastera. Može postojati vanjska ovisnost između kriterija klastera i alternative klastera, težina kriterija ovisi o dostupnim alternativama. Cilj problema koristi se za utvrđivanje kriterija i alternativa, ali se ne pojavljuje se u ANP mreži. Opravdanje za to nepostojanje je da nijedan element problema ne ovisi o cilju, težina kriterija ovisi o dostupnim alternativama, a ne o cilju. Kao rezultat toga, na grafovima se koristi dvostruka strelica. Ako težina kriterija ne ovisi o dostupnim alternativama, treba dodati cilj i strelicu između skupa kriterija i skupa alternativa koja će biti usmjerena prema alternativama. Primjer: Žena odluči kupiti večernju haljinu. Dva su kriterija bitna: elegancija i cijena. Elegancija se smatra mnogo važnijom od cijene. Prodavačica predstavlja ženi dvije mogućnosti: plavu haljinu koja je manje elegantna od crne haljine. Žena daje prednost crnoj haljini, iako je mnogo skuplja. Matrice opet imaju za cilj uhvatiti relativnu važnost kriterija, s obzirom na alternative. U ovom primjeru potrebne su dvije dodatne matrice (jedna za svaku alternativu). Pitanja na koja treba odgovoriti su:

- Ako je cilj kupiti haljinu, a zna se da je plava haljina u grupi alternativa, koji je kriterij, elegancija ili cijena važniji i koliko? Kako je plava haljina elegantna i umjereno skupa, iznimna važnost pridaje se eleganciji.

- Ako je cilj kupiti haljinu, a zna se da je crna haljina u grupi alternativa, koji je kriterij, elegancija ili cijena važniji i koliko? Kako je crna haljina elegantna, ali i skupa, umjerena količina važnosti se pridaje cijeni.

Kriteriju elegancije daje se umjerenija težina i , kao rezultat, preferira se plava haljina.²⁶

Utjecaj svakog čvora na ostale čvorove u mreži može se sakupiti u super matrici koja je prikazana na tablici 5. Za razliku od matrica u AHP metodi ova matrica sadrži i kriterije i alternative. Super matrica prikazuje utjecaj na tri skupine: cilj, alternative i kriterije. Ako ovisnosti između čvorova ne postoje, unosi se nula.

Tablica 5 Super matrica

	Cilj	C-1	C-2	C-3	A-1	A-2	A-3
Cilj							
C-1							
C-2							
C-3							
A-1							
A-2							
A-3							

Izvor: prilagođeno prema: Mathew, 2018

4.4. ELECTRE

Porijeklo ELECTRE metode seže sve do 1965. godine kada su inženjeri primijetili ozbiljne nedostatke u primjeni nekih drugih metoda. Stoga je Bernard Roy ubrzo predstavio novu metodu za prevladavanje postojećih ograničenja i problema. Kasnije je nazvana ELECTRE I. ELECTRE metoda omogućuje donositelju odluke da odabere najbolji izbor, s maksimalnom prednosti i minimalnim sukobima u funkciji različitih kriterija. Kad je predstavljena, ELECTRE metoda se koristila za izbor najbolje radnje iz određenog skupa radnji. Kasnije su predstavljene i ostale metode ELECTRE. Sve metode se zasnivaju na istim temeljnim konceptima, ali i razlikuju u operativnom smislu te i u vrsti problema odlučivanja. Krajem šezdesetih godina nastala je drugačija

²⁶ (Ishizaka and Nemery, 2013, str. 59-.66.)

situacija odlučivanja u stvarnom svijetu u medijskom planiranju, što se tiče definiranja plana oglašavanja. U tu svrhu postavljeno je pitanje: kako uspostaviti adekvatan sustav rangiranja periodičnih časopisa, novina, ...? To je dovelo do rođenja ELECTRE II. Samo nekoliko godina kasnije, osmišljen je novi način rangiranja akcija, ELECTRE III. Glavne nove ideje uvedene ovom metodom bile su upotreba pseudo-kriterija i fuzzy binarni outranking odnosi. ELECTRE IV proizašla je iz novog stvarnog problema vezanog za mrežu podzemnih željeznica u Parizu te ova verzija metode ne zahtjeva težinu kriterija. U kasnim sedamdesetima predložena je nova tehnika sortiranja akcija u unaprijed definirane i poredane kategorije, to jest postupak podjele ili razdvajanja u tri grupe. Ovo je pristup zasnovan na stablu odluka. Nekoliko godina kasnije, kako bi se pomoglo u donošenju odluka u velikoj bankarskoj kompaniji koja se suočila s problemom prihvaćanja ili odbijanja kredita koje su tražile tvrtke, osmišljena je i primijenjena specifična metoda, ELECTRE TRI. Tako su ELECTRE II, III i IV namijenjeni za probleme rangiranja, ELECTRE I, ELECTRE IV i IS za probleme odabira, a ELECTRE TRI za probleme dodjeljivanja.

Metode ishoda zasnivaju se na parnim usporedbama alternativa. To znači da se svaka alternativa uspoređuje sa svim ostalim alternativama. Na temelju ovih parnih usporedbi mogu se izraditi konačne preporuke. Glavna karakteristika i prednost ELECTRE metode je da izbjegava kompenzaciju između kriterija i bilo kojeg postupka normalizacije, koji iskrivljuju izvorne podatke. Outranking odnosi dviju alternativa A_i i A_j , označeni kao $A_i \rightarrow A_j$ opisuju da čak i kada i -ta alternativa ne dominira nad j -tom alternativom, donositelj odluka ipak može riskirati da A_i smatra kao gotovo sigurno boljom od A_j . Kaže se da dominiraju alternative, ako postoji druga alternativa koja ih nadmašuje u jednom ili više kriterija, a jednaka je s ostalim kriterijima. Vinovrški (2016) tvrdi: „Za svaki par alternativa ispituje se koliko su jaki njeni argumenti, te koliko jedan dominira nad drugim. Do zaključka se dolazi uz pomoć uređajne relacije (*engl. outranking relation*) S_A koja sadrži sljedeća svojstva:

- $aS_A b$: (a dominira nad b) vrijedi, ako, postoji razlog da se prihvati stav „ a je najmanje toliko dobro kao b “,
- $aS_A b$: ne vrijedi ako se stav „ a je najmanje toliko dobar kao b “ smatra nedovoljnim.

Na temelju te relacije moguća su tri odnosa: preferencija, indiferencija i neusporedivost. Donositelj odluke može izjaviti da je ravnodušan između razmatranih alternativa, da ima slabu ili strogu sklonost prema jednoj od alternativa ili da nije u mogućnosti izraziti nijedan od ovih odnosa preferiranja. U modeliranju outranking relacije se provjerava da li za alternative (a, b) vrijedi tvrdnja $S_A b$, tj. da li dominira a nad b, te se primjenjuju koncepti suglasnosti s dominacijom i nesuglasnosti s dominacijom. Suglasnost $aS_A b$ se temelji na prednosti koju a alternativa ima u odnosu na b, a mjeri se indeksom suglasnosti s dominacijom. Neslaganje s tvrdnjom $aS_A b$ temelji se na obilježjima alternative b koja se opire dominaciji alternativa a, pri čemu se primjenjuje indeks nesuglasnosti s dominacijom.“

Metode ELECTRE uspješno se primjenjuju u mnogim područjima kao što su upravljanje okolišem, poljoprivreda i šume, energetika, upravljanje vodama, financije, javni natječaji, transport i vojska. ELECTRE III je dobro uspostavljena metoda djelomičnog rangiranja s uspješnim aplikacijama u stvarnom svijetu poput upravljanja okolišem i energijom.

Metode ELECTRE su relevantne kada se suoče s problemima odlučivanja s više od dva kriterija i ako je ispunjen barem jedan od sljedećih uvjeta:

1. Učinkovitost kriterija izražava se u različitim jedinicama, kao što su trajanje, težina, cijena, boja, itd., a donositelj odluke želi izbjeći definiranje zajedničke ljestvice zato što je to dosta težak i složen proces.
2. Problem ne tolerira kompenzacijski učinak, nadoknađivanje gubitka za određeni kriterij na temelju nekog drugog ne može biti prihvatljivo.
3. Za barem jedan kriterij vrijedi da male razlike u procjeni nisu značajne u pogledu preferencija, dok nakupljanje nekoliko malih razlika može postati značajno, na primjer ravnodušni smo prema dodatnom zrnju šećera u šalici čaja, ali ne i dodatnih 100 zrnaca šećera.
4. Radnje se ocjenjuju na ordinalnoj ili na slabo intervalnoj skali gdje je teško usporediti razlike. ^{27 28 29 30}

²⁷ (Aruldoss, Lakshmi and Venkatesan, 2013)

²⁸ (Dujmić, 2014)

²⁹ (Ehrgott, Figueira and Greco, 2005, str. 134.)

³⁰ (Ishizaka and Nemery, 2013, str. 180-190.)

ELECTRE metodu je moguće provesti kroz deset koraka, a to su: računanje normalizirane matrice odlučivanja, računanje ponderirane (težinske) normalizirane matrice odlučivanja, određivanje skupova suglasnosti i nesuglasnosti, računanje matrice suglasnosti, računanje matrice nesuglasnosti, uspostavljanje outranking relacije te eliminiranje dominiranih alternativa. Ti koraci biti će prikazani na sljedećem primjeru.

	<i>Kriterij 1</i>	<i>Kriterij 2</i>	<i>Kriterij 3</i>	<i>Kriterij 4</i>
<i>Alternativa 1</i>	25	20	15	30
<i>Alternativa 2</i>	10	30	20	30
<i>Alternativa 3</i>	30	10	30	10

Normalizirana matrica odlučivanja računa se pomoću formule $x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M a_{ij}^2}}$:

<i>Težine</i>	0.2	0.15	0.4	0.25
	<i>Kriterij 1</i>	<i>Kriterij 2</i>	<i>Kriterij 3</i>	<i>Kriterij 4</i>
<i>Alternativa 1</i>	0.620	0.535	0.384	0.688
<i>Alternativa 2</i>	0.248	0.802	0.512	0.688
<i>Alternativa 3</i>	0.744	0.267	0.768	0.229

Težinske vrijednosti kriterija nalaze se na vrhu matrice, a formirane su pomoću AHP metode. Za računanje ponderirane normalizirane matrice, vrijednosti svakog pojedinog kriterija množe se s njegovom težinom te se dobiva sljedeća matrica:

<i>Težine</i>	0.2	0.15	0.4	0.25
	<i>Kriterij 1</i>	<i>Kriterij 2</i>	<i>Kriterij 3</i>	<i>Kriterij 4</i>
<i>Alternativa 1</i>	0.124	0.080	0.154	0.172
<i>Alternativa 2</i>	0.050	0.120	0.205	0.172
<i>Alternativa 3</i>	0.149	0.040	0.307	0.057

Sljedeći korak je računanje matrice suglasnosti. Matrica se mora promijeniti na način da sada sadrži samo alternative te se uspoređuju alternative međusobno. Dijagonala matrice sadrži nule jer se na tim mjestima alternativa uspoređuje sama sa sobom. Ostale vrijednosti popunjavaju se na sljedeći način gledajući gornju matricu: kod prvog kriterija Alternativa 1 ima veću vrijednost od Alternative 2, kod drugog kriterija Alternativa 1 ima manju vrijednost od Alternative 2, kod trećeg kriterija Alternativa 1 ima također manju vrijednost od Alternative 2 dok kod četverog kriterija vrijednosti su jednake. Zbog toga zbrajaju se težine prvog i četvrtog kriterija 0.2+0.25 i rezultat 0.45 upisuje se u matricu.

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>
<i>Alternativa 1</i>	0	0.45	0.4
<i>Alternativa 2</i>	0.8	0	0.4
<i>Alternativa 3</i>	0.6	0.6	0

Kako bi se dobio konačan skup, zbrajaju se sve vrijednosti iz matrice i dijele s brojem 6 jer ima 6 vrijednosti u matrici (ne računa se dijagonala s nulama). Vrijednosti iz matrice uspoređuju se s dobivenom vrijednošću, 0.5416667, te ako je vrijednost iz matrice veća zapisuje se 1, a ako je manja 0.

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>
<i>Alternativa 1</i>	0	0	0
<i>Alternativa 2</i>	1	0	0
<i>Alternativa 3</i>	1	1	0

Kako bi se izračunala matrica nesuglasnosti gledaju se vrijednosti normalizirane matrice. Vrijednosti međusobnih alternativa se oduzmu:

$a1 - a2$	0.074	-0.040	-0.051	0.000
$a1 - a3$	-0.025	0.040	-0.154	0.115
$a2 - a1$	-0.074	0.040	0.051	0.000
$a2 - a3$	-0.099	0.080	-0.102	0.115
$a3 - a1$	0.025	-0.040	0.154	-0.115
$a3 - a2$	0.099	-0.080	0.102	-0.115

Maksimalna vrijednost svakog reda (ne gledajući predznak) dijeli maksimalnu razliku:

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>
<i>Alternativa 1</i>	0	0.6891819	1
<i>Alternativa 2</i>	1	0	0.88695652
<i>Alternativa 3</i>	0.153644	1	0

Kao i kod računanja matrice suglasnosti, sve vrijednosti se zbrajaju i dijele sa 6, te se rezultat 0.78829707 uspoređuje s vrijednostima iz gornje matrice.

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>
<i>Alternativa 1</i>	0	0	1
<i>Alternativa 2</i>	1	0	1
<i>Alternativa 3</i>	0	1	0

Spajanje matrice slaganja i neslaganje vrši se pomoću AND operatora, te se dobiva matrica incidencije:

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>
<i>Alternativa 1</i>	0	0	0
<i>Alternativa 2</i>	1	0	0
<i>Alternativa 3</i>	0	1	0

Iz te matrice mogu se vidjeti konačni rezultati: Alternativa2 > Alternativa1, Alternativa3 > Alternativa2 → Alternativa3 > Alternativa2 > Alternativa1.³¹

4.5. PROMETHEE

PROMETHEE metoda je slična ELECTRE metodi po tome što ima nekoliko iteracija i postoji više verzija. PROMETHEE I, za djelomično rangiranje alternativa, i PROMETHEE II, za cjelovito rangiranje alternativa, prvi put je predstavio Jean-Pierre Brans 1982. godine. Kasnije su razvijeni i dodaci, kao na primjer GAIA (*engl. geometrical analysis for interactive aid*). GAIA je deskriptivan pristup koji omogućuje donositelju odluke vizualizaciju glavnih obilježja problema odlučivanja, dok je PROMETHEE preskriptivni pristup koji osigurava donositelju odluke kompletno i djelomično rangiranje radnji. Nastala je iz razloga što su metode višekriterijalnog odlučivanja mogle koristiti samo kvantitativne podatke i stoga se nisu mogle dobro primjenjivati u slučajevima gdje postoje kvalitativne informacije. PROMETHEE je imao veliku primjenu u upravljanju okolišem, hidrologiji i upravljanju vodama, poslovnom i financijskom upravljanju, kemiji, logistici i prometu, proizvodnji i montaži, upravljanju energijom i poljoprivredom. PROMETHEE se koristi dugi niz desetljeća i vrlo je popularna metoda zbog jednostavnosti upotrebe. PROMETHEE III koristi se za rangiranje bazirano na intervalima, PROMETHEE IV za kontinuirani slučaj, PROMETHEE V za rangiranje koje uključuje ograničenja i PROMETHEE VI pokušava predstaviti prikaz ljudskog mozga.

Osnovna ideja PROMETHEE metode je usporedba alternativa kroz svaki pojedini kriterij kako bi se utvrdila snaga preferencije alternative 1 u odnosu na alternativu 2. Sastoji se od 3 koraka:

1. korak: Modeliranje preferencija (*engl. Preference modelling*) gdje donositelj odluke mora izabrati jednu funkciju preferencije P_i za svaki kriterij f_i . Funkcija preferencije je razlika između vrijednosti dviju alternativa koje se uspoređuju po nekom kriteriju. U ovom koraku potrebno je usporediti i alternative u parovima za svaki kriterij. Nakon toga se na temelju funkcije preferencije konstruira funkcija $P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)]$ čija je relacija $S_i(a, b) = P_i(f_i(a) - f_i(b))$ pri čemu $S_i(a, b)$ predstavlja intenzitet preferencije a nad preferencijom b. Stupanj

³¹ (Electre method for Multiple Criteria Decision Making, 2017)

preferencije je rezultat, između 0 i 1, koji s gledišta donositelja odluke izražava kako se radnja preferira u odnosu na drugu radnju. Stupanj preferencije 1 znači strogu sklonost, to jest preferenciju prema jednoj od radnji. Ako uopće nema preferencije, tada je stupanj preferencije 0. S druge strane, ako postoji neka preferencija, ali ne i ukupna preferencija, intenzitet će biti negdje između 0 i 1. To se označuje na sljedeći način:

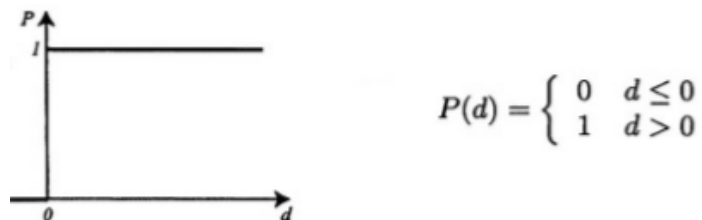
- $S_i(a, b) = 0 \rightarrow$ indiferencija između a i b (nema preferencije nad a i b)
- $S_i(a, b) \approx 0 \rightarrow$ slaba preferencija a nad b
- $S_i(a, b) \approx 1 \rightarrow$ jaka preferencija a nad b
- $S_i(a, b) = 1 \rightarrow$ stroga preferencija a nad b.

Postoji šest standardnih tipova (kriterija) funkcije P_i :

1. Običan kriterij (*eng. Usual Criterion*)

U ovom slučaju postoji indiferencija između alternativa a i b ako i samo ako je $f_i(a) = f_i(b)$. U suprotnom donositelj odluke ima strogu preferenciju za alternativu koja ima veću vrijednost.

Slika 9 Običan kriterij

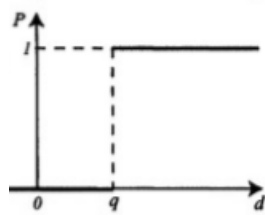


Izvor: Ehrgott, Figueira and Greco, 2005, str. 170

2. Kvazi kriterij (*engl. U-shape Criterion*)

U ovom slučaju, ako donositelj odluke želi upotrijebiti funkciju preferencije, potrebno je odrediti vrijednost parametra q (prag indiferencije). Dvije alternative su za donositelja odluke indiferentne, sve dok razlika između njihovih vrijednosti ne prekorači q , a u slučaju kada ga prekorači, radi se o strogoj preferenciji.

Slika 10 Kvazi kriterij



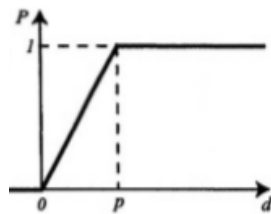
$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$$

Izvor: Ehrgott, Figueira and Greco, 2005, str. 170.

3. Kriterij s linearnom preferencijom (*engl. V-shape Criterion*)

U ovom slučaju donositelj odluke mora odrediti parametar p (prag preferencije), odnosno najnižu vrijednost. Sve dok je d manji od p preferencija donositelja odluke linearno raste s d, a kad d postane veći od p nastaje stroga preferencija.

Slika 11 Kriterij s linearnom preferencijom



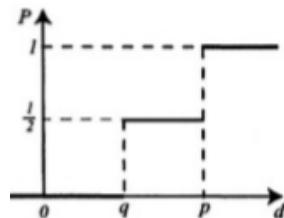
$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$$

Izvor: Ehrgott, Figueira and Greco, 2005, str. 170.

4. Kriterij s razinama konstantne preferencije (*engl. Level Criterion*)

U ovom slučaju donositelj odluke mora odrediti parametre p i q te ukoliko se između njihovih vrijednosti nalazi d postoji slaba preferencija.

Slika 12 Kriterij s razinama konstantne preferencije



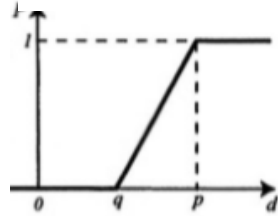
$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$$

Izvor: Ehrgott, Figueira and Greco, 2005, str. 170.

5. Kriterij s linearnom preferencijom i područjem indiferencije (*engl. V-shape with indifference Criterion*)

I u ovom slučaju donositelj odluke mora odrediti parametre p i q te smatra da njegova preferencija raste linearno u području između pragova q i p , i to u području od indiferentnosti do stroge preferencije.

Slika 13 Kriterij s linearnom preferencijom i područjem indiferencije



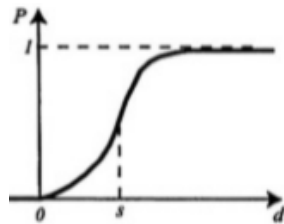
$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$$

Izvor: Ehrgott, Figueira and Greco, 2005, str. 170.

6. Gaussov kriterij (engl. Gaussian Criterion)

U ovom slučaju donositelj odluke mora odrediti parametar s koji se nalazi negdje na području slabe preferencije te smatra da njegova preferencija odluke ima izgled gaussove krivulje.

Slika 14 Gaussov kriterij



$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$$

Izvor: Ehrgott, Figueira and Greco, 2005, str. 170.

2. korak: Sakupljanje (engl. Aggregation): Nakon odabira kriterija f_j potrebno je odrediti i težine w_j za pojedine kriterije f_j . Zatim se računa indeks preferencije π , jedne alternative naspram druge. Indeks se definira kao ponderirana sredina odgovarajućih preferencija izračunatih u prvom koraku, to jest $\pi(a, b) = \sum_{i=1}^k w_i P_i(a, b)$. Indeks preferencije predstavlja globalni intenzitet donositelja odluke da odabere alternativu a kad uzme u obzir sve kriterije:

$\pi(a, b) \approx 0 \rightarrow$ označava slabu preferenciju a nad b za sve kriterije

$\pi(a, b) \approx 1 \rightarrow$ označava jaku preferenciju a nad b za sve kriterije.

Zatim se za svaku alternativu definiraju ulazni $\varphi^+(a) = \frac{1}{m-1} \sum \pi(a, b)$ – PROMTETHEE II, $\varphi^+(a) = \sum \pi(a, b)$ – PROMETHEE I i izlazni tok $\varphi^-(a) =$

$\frac{1}{m-1} \sum \pi(b, a)$ – PROMTETHEE II, $\varphi^-(a) = \sum \pi(b, a)$ – PROMETHEE I. Zbroj indeksa $\pi(a, b)$ ukazuje na sklonost alternativu a naspram svih ostalih alternativa. To se naziva izlazni tok te pokazuje koliko je "dobra" alternativa a. Zbroj indeksa $\pi(b, a)$ ukazuje na sklonost drugim alternativama u odnosu na alternativu a. Takva pojava se naziva ulazni tok i pokazuje koliko je "slabija" alternativa a u odnosu na ostale alternative.

3. korak: Eksploatacija (*engl. Exploitation*) koja se razlikuje ovisno da li se radi o metodi PROMTETHEE I ili PROMETHEE II. Kod PROMETHEE I metode se u ovom koraku definira relacija preferencije (P^I), indiferencije (I^I) i neusporedivosti (R^I) gdje se (P^I, I^I, R^I) naziva parcijalni poredak. Ako donositelj odluke želi potpuni poredak skupa alternativa A izračunava se neto tok Φ , kao razlika „snage“ i „slabosti“ pojedine alternative pomoću PROMETHEE II metode.

$$aPb \text{ ako: } \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ i } \Phi^-(a) < \Phi^-(b); \text{ ili}$$

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ i } \Phi^-(a) = \Phi^-(b); \text{ ili}$$

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ i } \Phi^-(a) < \Phi^-(b).$$

$$aIb \text{ ako: } \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ i } \Phi^-(a) = \Phi^-(b)$$

$$aRb \text{ ako: } \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ i } \Phi^-(a) > \Phi^-(b); \text{ ili}$$

$$\Phi^+(a) < \Phi^+(b) \text{ i } \Phi^-(a) > \Phi^-(b).$$

Jednostavnije je odlučivati na temelju PROMETHEE II jer daje realnije informacije vezane za donošenje odluka. ^{32 33 34 35 36}

Slijedi primjer matematički izračunate PROMTETHEE metode. Težine su izračunate s AHP metodom.

³² (Paradžik)

³³ (Klanac, Perkov and Krajnović, 2013)

³⁴ (Vinovrški, 2016)

³⁵ (Dujmić, 2014)

³⁶ (Ehrgott, Figueira and Greco, 2005, str. 163.-170.)

<i>Težina</i>	0.35	0.25	0.25	0.15
	<i>Kriterij 1</i>	<i>Kriterij 2</i>	<i>Kriterij 3</i>	<i>Kriterij 4</i>
<i>Alternativa 1</i>	250	16	12	5
<i>Alternativa 2</i>	200	16	8	3
<i>Alternativa 3</i>	300	32	16	4
<i>Alternativa 4</i>	275	32	8	2

1. Normalizacija matrice:

<i>Težina</i>	0.35	0.25	0.25	0.15
	<i>Kriterij 1</i>	<i>Kriterij 2</i>	<i>Kriterij 3</i>	<i>Kriterij 4</i>
<i>Alternativa 1</i>	0.5	0	0.5	1
<i>Alternativa 2</i>	1	0	0	0.3333
<i>Alternativa 3</i>	0	2	1	0.6667
<i>Alternativa 4</i>	0.25	1	0	0

2. Računanje razlike između svake alternative :

$A1 - A2$	-0.5	0	0.5	0.6667
$A1 - A3$	0.5	-1	-0.5	0.3333
$A1 - A4$	0.25	-1	0.5	1
$A2 - A1$	0.5	0	-0.5	-0.6667
$A2 - A3$	1	-1	-1	-0.3333
$A2 - A4$	0.75	-1	0	0.3333
$A3 - A1$	-0.5	1	0.75	-0.3333
$A3 - A2$	-1	1	1	0.3333
$A3 - A4$	-0.25	0	1	0.6667
$A4 - A1$	-0.25	1	-0.5	-1
$A4 - A2$	-0.75	1	0	-0.3333
$A4 - A3$	0.25	0	-1	-0.6667

3. Računanje funkcije preferencije na način da se vrijednosti manje od 0 zamijene nulom:

$A1 - A2$	0	0	0.5	0.6667
$A1 - A3$	0.5	0	0	0.3333
$A1 - A4$	0.25	0	0.5	1
$A2 - A1$	0.5	0	0	0
$A2 - A3$	1	0	0	0
$A2 - A4$	0.75	0	0	0.3333
$A3 - A1$	0	1	0.75	0
$A3 - A2$	0	1	1	0.3333
$A3 - A4$	0	0	1	0.6667
$A4 - A1$	0	1	0	0
$A4 - A2$	0	1	0	0
$A4 - A3$	0.25	0	0	0

4. Računanje indeksa preferencije pomoću gore navedene formule:

	π
A1 – A2	0.225005
A1 – A3	0.224995
A1 – A4	0.3625
A2 – A1	0.175
A2 – A3	0.35
A2 – A4	0.312495
A3 – A1	0.4375
A3 – A2	0.549995
A3 – A4	0.350005
A4 – A1	0.25
A4 – A2	0.25
A4 – A3	0.0875

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	<i>Alternativa 4</i>
<i>Alternativa 1</i>	–	0.225005	0.224995	0.3625
<i>Alternativa 2</i>	0.175	–	0.35	0.312495
<i>Alternativa 3</i>	0.4375	0.549995	–	0.350005
<i>Alternativa 4</i>	0.25	0.25	0.0875	–

5. Ulazni i izlazni tok i rangiranje rezultata

a. PROMETHEE II

	$\varphi^+(a)$	$\varphi^-(a)$	$\varphi(a)$	<i>Rang PROMETHEE II</i>
<i>Alternativa 1</i>	0.270833	0.2875	–0.01667	2
<i>Alternativa 2</i>	0.279165	0.341667	–0.0625	3
<i>Alternativa 3</i>	0.445833	0.220832	0.225002	1
<i>Alternativa 4</i>	0.195833	0.341667	–0.14583	4

b. PROMETHEE I

	$\varphi^+(a)$	$\varphi^-(a)$
<i>Alternativa 1</i>	0.8125	0.863
<i>Alternativa 2</i>	0.8375	1.025
<i>Alternativa 3</i>	1.3375	0.662
<i>Alternativa 4</i>	0.5875	1.025

Eliminacija svih neusporedivih komparacija.

Alternativa 1 R Alternativa 2

Alternativa 3 P Alternativa 1

Alternativa 1 R Alternativa 4

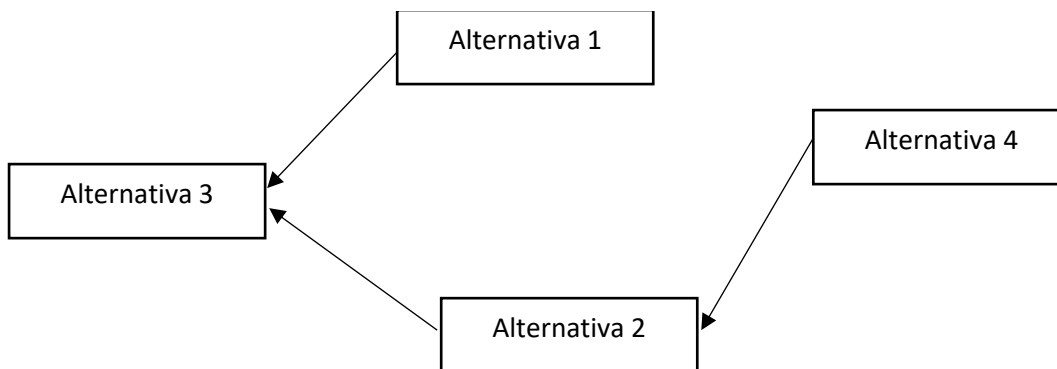
Alternativa 3 P Alternativa 2

Alternativa 2 P Alternativa 4

~~Alternativa 3~~ *R* ~~Alternativa 4~~

Alternativa 3 preferira se nad Alternativom 1, Alternativa 3 Preferira se nad Alternativom 4 i Alternativa 2 preferira se nad Alternativom 4. ³⁷

Slika 15 Preferencije između alternativa



Izvor: Izrada studenta

4.6. USPOREDBA METODA

U tablici 6 sažeto je 5 opisanih metoda preko njihovih prednosti, nedostataka i područja primjene.

Tablica 6 Prednosti i nedostaci metoda

METODE	PREDNOSTI	NEDOSTACI	PODRUČJE PRIMJENE
AHP	<ul style="list-style-type: none"> - jednostavan za korištenje - skalabilnost i fleksibilnost - hijerarhijska struktura lako se može prilagoditi problemima različitih veličina - obično se ljudi slažu s prioritetima koji dolaze 	<ul style="list-style-type: none"> - usporedba u paru prilično je „umjetni“ način uspoređivanja skupa predmeta - kada se broj razina u hijerarhiji poveća, povećava se i broj usporedbi parova koje treba obaviti te to postaje dugotrajan zadatak - ako je indeks dosljednosti veći od 10%, potrebno je preispitivanje unosa - ograničenje upotrebe skale od 9 točaka 	<ul style="list-style-type: none"> - upravljanje resursima - korporativna politika i strategija - javna politika - politička strategija i planiranje
Fuzzy AHP	<ul style="list-style-type: none"> - omogućuje neprecizan unos - uzima u obzir nedovoljno podataka 	<ul style="list-style-type: none"> - teško za razviti - može zahtijevati brojne simulacije prije upotrebe 	<ul style="list-style-type: none"> - inženjerstvo - ekonomija - okoliš - medicina - menadžment - usluge javnog prijevoza

³⁷ (Mathew, 2019)

ANP	<ul style="list-style-type: none"> - opći pristup za bilo koji problem sa odlukom, detaljna struktura - neke probleme može opisati samo ANP - prisiljava precizne definicije čvorova i međusobnih veza - idealan alat za dublje razumijevanje određenog problema i njegov odnos prema povezanim čimbenicima 	<ul style="list-style-type: none"> - za proračun rezultata potreban je određeni softver - provjera rezultata zbog povratnih veza i međusobnih veza nije moguća - suviše složen za primjenu kao standardni alat za praktično odlučivanje u organizaciji - mreža nije uvijek jasna - veoma se oslanja na prosudbu i iskustva stručnjaka 	<ul style="list-style-type: none"> - odabir, evaluacija i ocjenjivanje dobavljača
ELECTRE	<ul style="list-style-type: none"> - uzima u obzir nesigurnost i nejasnost - usporedba alternativa može se postići čak i ako ne postoji jasna preferencija prema jednog od alternativa - pouzdanija je od drugih metoda koje su osjetljive na uvjerenja donositelja odluke 	<ul style="list-style-type: none"> - njezin postupak i ishod može biti teško objasniti - nadmetanje uzrokuje da se prednosti i slabosti alternative ne mogu izravno identificirati 	<ul style="list-style-type: none"> - problemi s energijom - problemi s ekonomijom - problemi s okolišem - upravljanjem vodama i prometom
PROMETHEE	<ul style="list-style-type: none"> - jednostavan za korištenje - ne zahtijeva pretpostavku da su kriteriji proporcionalni - podržava donošenje odluka na razini skupine - može se istovremeno baviti kvalitativnim i kvantitativnim kriterijima - rezultati kriterija mogu se izraziti u vlastitim jedinicama - može se nositi s neizvjesnim i nejasnim informacijama 	<ul style="list-style-type: none"> - ne pruža jasnu metodu kojom se mogu dodijeliti težine - pati od problema preokreta ranga kada se uvede nova alternativa - način obrade podataka o preferencijama složen je i teško ga je objasniti - ne pruža mogućnost strukturiranja problema pa donositelju odluke može biti teško dobiti jasan pogled na problem i procijeniti rezultate 	<ul style="list-style-type: none"> - zaštita okoliša - hidrologija - upravljanje vodama - poslovanje i financije - kemija, logistika i transport - proizvodnja i montaža - energija - poljoprivreda

Izvor: prilagođeno prema: Hester and Velasquez, 2013

5. PROBLEM KUPNJE KUĆE U ISTRI

Nakon što su u prethodnim poglavljima obrađene neke od metoda višekriterijalnog odlučivanja, slijedi prikaz tih metoda kroz praktičan primjer koristeći određene softvere.

Odabir mjesta stanovanja velika je odluka u životu svih ljudi. Obično je to najveći trošak na koji se ljudi odlučuju. Živjeti li u stanu ili kući, koliko veliku kuću ili stan kupiti ili izgraditi? Je li bolji život gradu ili na selu, u centru ili izvan centra? Koliko uložiti? Samo su neka od pitanja koja se mnogim ljudima u nekom trenutku života postavljaju te je zbog toga iskorišten ovaj primjer.

Obitelj od 4 člana, roditelji i dvoje maloljetne djece, je odlučila kupiti kuću u Istri. Pri odabiru kuće vodili su se nekim kriterijima: veličina kuće, to jest broj soba i broj kupaonica te sama površina kuće, veličina dvorišta i okućnice, ima li kuća bazen, parking ili garažu. Lokacija u koju spadaju blizina centra, trgovine, Pule i plaža. Još neki od kriterija su te financije i opće stanje kuće. Odlične kuće su moderno opremljene kuće kojima ne treba renovacija, dobro stanje kuće je kuća u koju se moguće useliti i s vremenom odraditi neke renovacije, dok je loše stanje kuće, stanje kada treba kuću potpuno renovirati prije useljenja. Najbitnija im je cijena kuće te samo stanje kuće jer žele čim manje novaca nakon kupnje utrošiti u renovaciju. Željeli bi da svako dijete ima svoju sobu pa zato preferiraju kuće s tri ili više soba te barem dvije kupaonice. Puno im je bitnije da kuća ima garažu nego bazen, ali i sam bazen je poželjan. Blizina Pule im je također bitna zbog škole i posla.

U užu izbor odabira kuće ušlo je sljedećih pet kuća, prikazanih u tablici 7.

Tablica 7 Podaci o kućama

Kriterij	Podkriterij	Kuća 1	Kuća 2	Kuća 3	Kuća 4	Kuća 5
						
Cijena		279.000 €	395.000 €	80.000 €	800.000 €	240.000 €
Lokacija		Kanfana	Rovinj	Svetvinčenat	Žminj	Pula
	Blizina centra	20 km	1.8 km	3 km	3 km	3 km
	Blizina trgovine	5 km	1.3 km	3 km	3 km	2 km
	Blizina Pule	40 km	36 km	27 km	42 km	U Puli

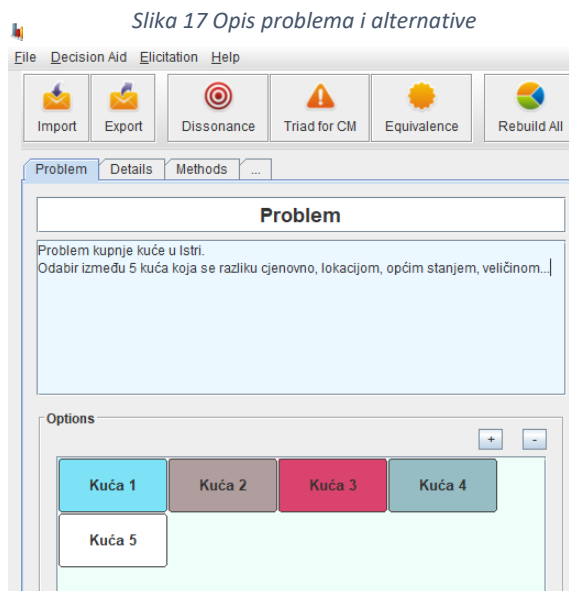
	Blizina plaže	20 km	1.3 km	16 km	24 km	5 km
Površina	Površina kuće	130,56 m ²	253 m ²	130 m ²	323 m ²	210 m ²
	Površina dvorišta	1422 m ²	200 m ²	355 m ²	4679 m ²	445 m ²
Broj prostorija	Broj spavaćih soba	3	3	2	4	5
	Broj kupaona	2	3	1	4	2
Stanje kuće		Odlično	Odlično	Loše	Odlično	Dobro
Bazen		Ne	Da	Ne	Da	Ne
Garaža		Ne	Ne	Ne	Ne	Da

Izvor: podaci preuzeti s njuskalo.hr i nekretninerovinjistra.com

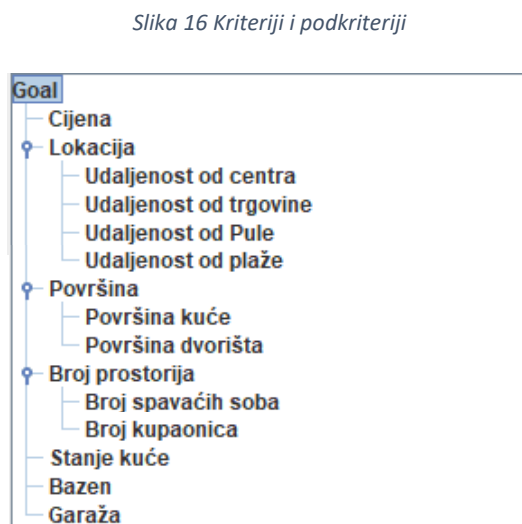
5.1. RJEŠENJE POMOĆU AHP METODE U PriEST-u

Za AHP metodu korišten je softver Priority Estimateion Tool.

Prvo se opisuje problem, dodaju se alternative te se dodaju kriteriji i podkriteriji.



Izvor: Izrada studenta



Izvor: Izrada studenta

Nakon strukturiranja problema, provodi se usporedba kriterija u parovima kako bi se odredio najznačajniji kriterij. U ovom slučaju najveća prednost dala se cijeni, lokaciji, broju prostorija te samom stanju kuće.

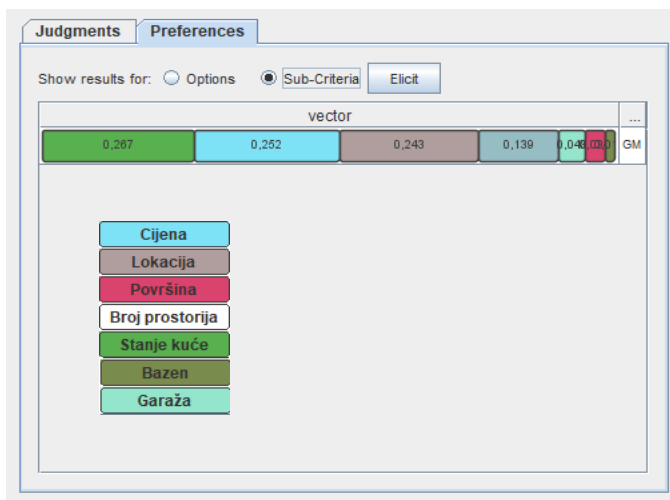
Slika 18 Matrica uspoređivanja u parovima

	Cijena	Lokacija	Površina	Broj prostorija	Stanje kuće	Bazen	Garaža
Cijena		3	8	3	0,25	8	7
Lokacija	0,333		7	3	2	8	7
Površina	0,125	0,143		0,2	0,167	4	0,333
Broj prostorija	0,333	0,333	5		0,5	8	7
Stanje kuće	4	0,5	6	2		9	7
Bazen	0,125	0,125	0,25	0,125	0,111		0,143
Garaža	0,143	0,143	3	0,143	0,143	7	

Izvor: Izrada studenta

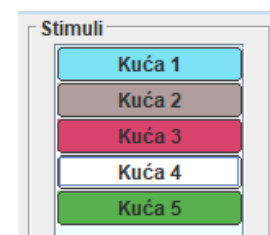
Kao najznačajniji kriterij je dobiveno stanje kuće, a iza njega slijedi cijena.

Slika 19 Usporedba kriterija u parovima



Izvor: Izrada studenta

Slika 20 Legenda alternativa

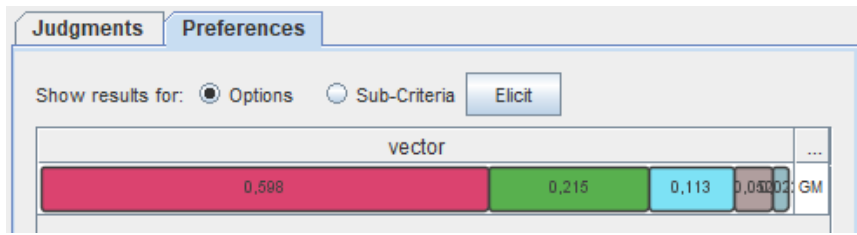


Izvor: Izrada studenta

Nakon usporedbe kriterija u parovima i određivanja najznačajnijeg, provodi se usporedba alternativa u parovima s obzirom na pojedini kriterij.

Što se tiče kriterija cijene najbolji izbor je Kuća 3 jer je ona najjeftinija.

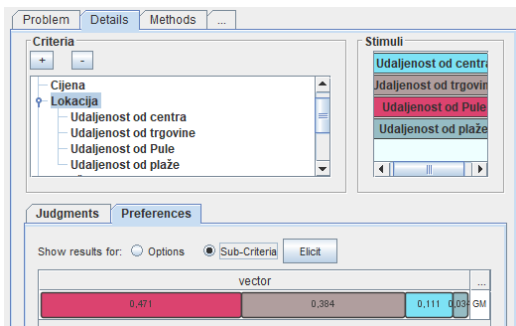
Slika 21 Usporedba alternativa u parovima s obzirom na cijenu



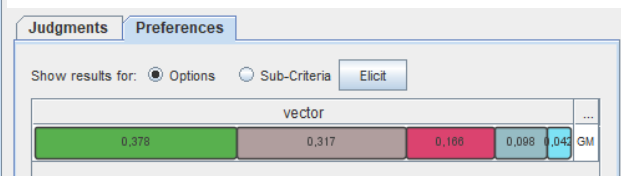
Izvor: Izrada studenta

Kriterij lokacija ima podkriterije, a najznačajniji podkriterij je udaljenost od Pule, to jest blizina Pule. Kuća 5 najznačajnija je s obzirom na kriterij lokacije.

Slika 22 Usporedba podkriterija lokacije u parovima



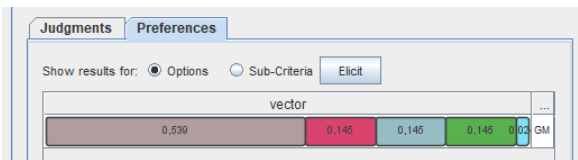
Slika 23 Usporedba alternativa u parovima s



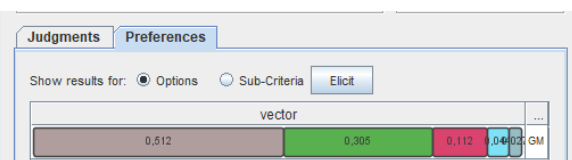
Izvor: Izrada studenta

Na sljedećim slikama prikazane su najznačajnije alternative s obzirom na podkriterije kriterija lokacija.

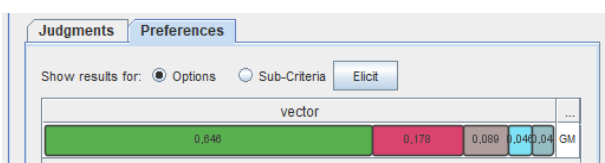
Slika 24 Udaljenost od centra



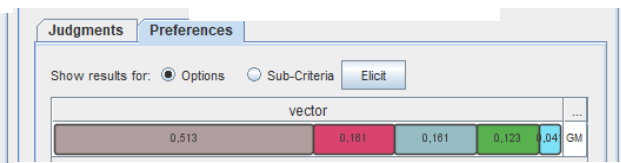
Slika 25 Udaljenost od trgovine



Slika 27 Udaljenost od Pule



Slika 26 Udaljenost od plaže

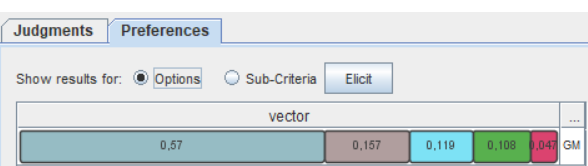
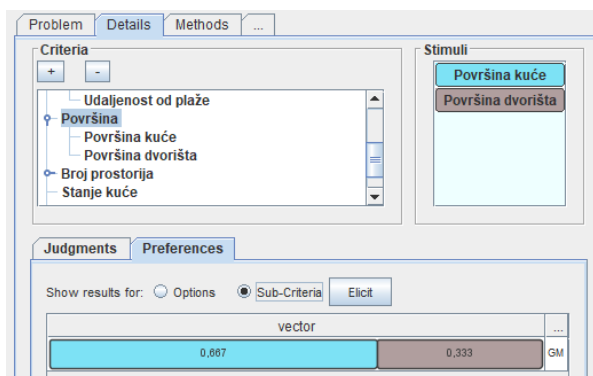


Izvor: Izrada studenta

Površina je prema težinama kriterija na predzadnjem mjestu, a što se tiče podkriterija površine, površina kuće je bitnija od površine dvorišta. Kuća 4 najbolja je alternativa za oba podkriterija, ali i za sam kriterij površine.

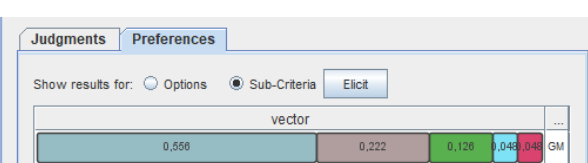
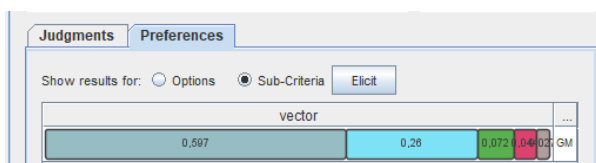
Slika 28 Usporedba podkriterija površine u parovima

Slika 29 Usporedba alternativa u parovima s obzirom na površinu



Slika 30 Površina dvorišta

Slika 31 Površina kuće

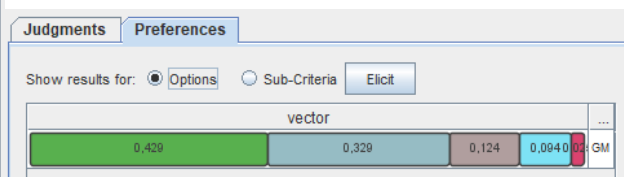
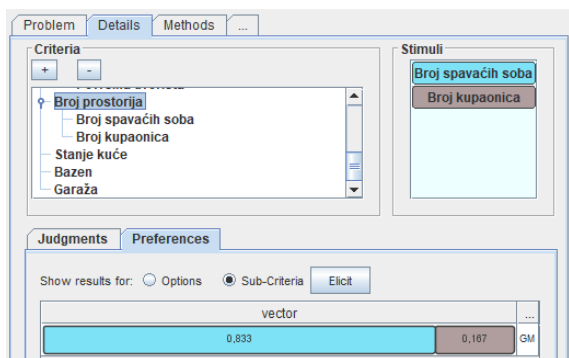


Izvor: Izrada studenta

Kriterij broj prostorija ima dva podkriterija, a od ta dva značajniji je broj spavaćih soba. Kuća 5 je najznačajnija s obzirom na kriterij broj prostorija, ali i podkriterij broj spavaćih soba, dok je za podkriterij broj kupaonica najznačajnija Kuća 4.

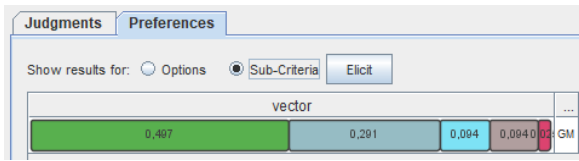
Slika 32 Usporedba podkriterija broj prostorija u parovima

Slika 33 Usporedba alternativa u parovima s obzirom na broj prostorija

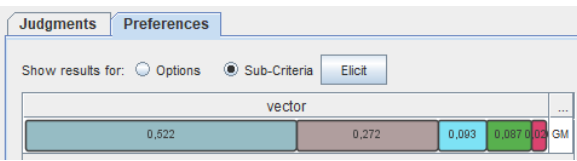


Izvor: Izrada studenta

Slika 34 Broj spavaćih soba



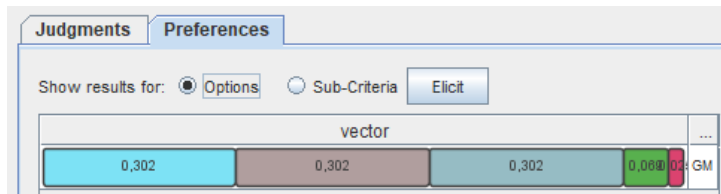
Slika 35 Broj kupaoonica



Izvor: Izrada studenta

Kriterij stanje kuće, najznačajniji je kriterij, a Kuća 1, 2 i 3 najznačajnije su alternativa s obzirom na taj kriterij jer su sve tri kuće u odličnom stanju.

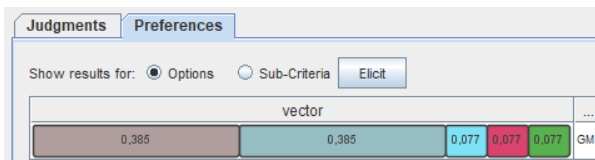
Slika 36 Usporedba alternativa u parovima



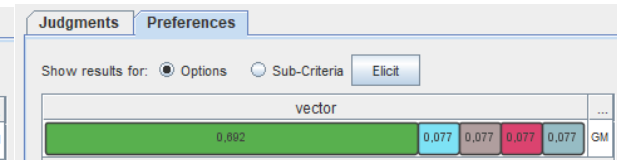
Izvor: Izrada studenta

Bazen je najmanje značajan kriterij, te Kuća 2 i 4 dijele prvo mjesto jer obje imaju bazen dok Kuće 1, 2 i 5 nemaju bazene. Kod kriterija garaže, najznačajnija alternativa je Kuća 5 jer jedino ona ima garažu.

Slika 37 Usporedba alternativa u parovima s obzirom na bazen



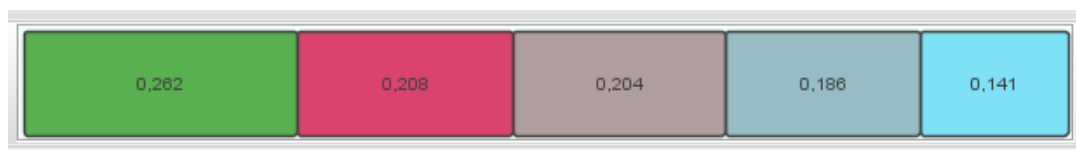
Slika 38 Usporedba alternativa u parovima s obzirom na garažu



Izvor: Izrada studenta

Konačni rezultati izbora kuće prikazani su na slici 39. Kao najbolji izbor kuće dobivena je Kuća 5, iza nje slijede Kuća 3, Kuća 2, Kuća 4 te Kuća 1. Kuća 3 je u najlošijem stanju, ali je i najjeftinija što su dva najbitnija kriterija pa je cijena dovela Kuću 3 na drugo mjesto.

Slika 39 Konačni rezultat AHP metode

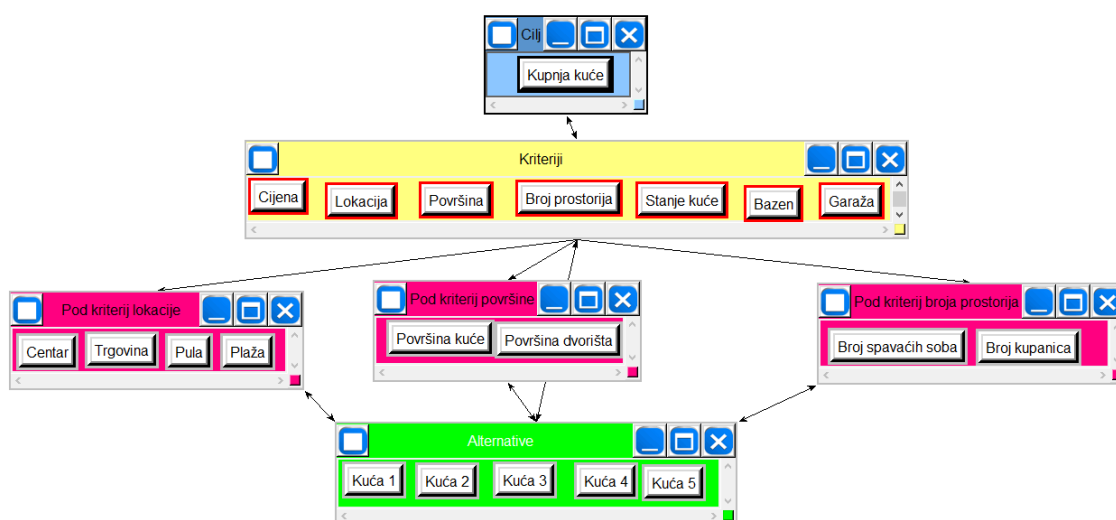


Izvor: Izrada studenta

5.2. RJEŠENJE POMOĆU ANP METODE U SuperDecison-u

Za ANP metodu korišten je softver Super Decisions. Nakon pokretanja programa potrebno je dodati klaster, *Design* → *Cluster* → *New*. Desnim klikom na dobiveni klaster dodaje se čvor u klaster, *Create node in cluster*. Klasterima i čvorovima može se promijeniti, naziv, boja, font, itd. klikom na *Edit cluster/Edit node*. Na taj način dodan je cilj, kriteriji, podkriteriji i alternative. Klikom na *Design* → *Node connections from* odabire se čvor koji se želi spojiti s nekim drugim čvorovima. Desnim klikom na željeni čvor te odabirom *Highlight nodes connected from this one* po crvene čvorovi povezani s tim čvorom što je vidljivo na slici 40 gdje su prikazani čvorovi spojeni s čvorom Kupnja kuće.

Slika 40 Struktura problema ANP

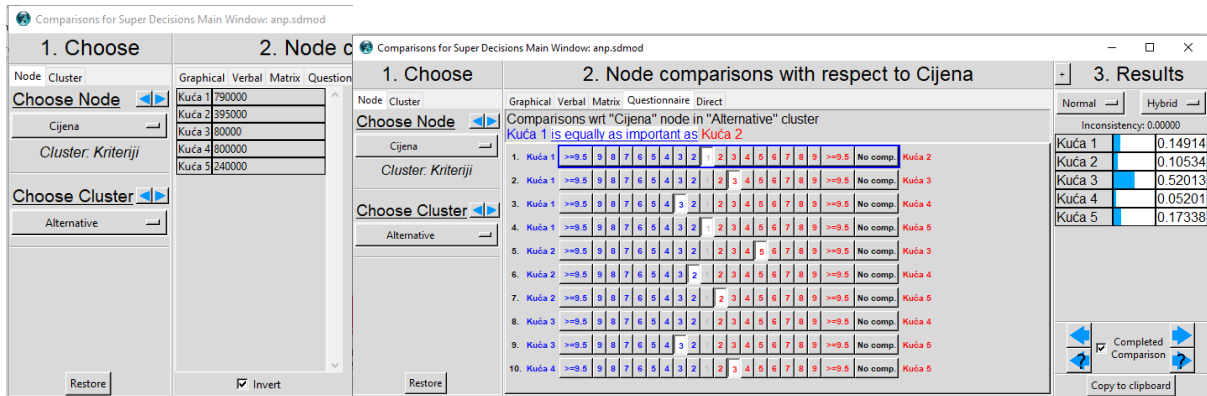


Izvor: Izrada studenta

Nakon kreiranja klastera, čvorova i veza potrebno je popuniti matrice, *Assess/Compare* → *Pairwise Comparisons*. Na slici 41 prikazan je primjer s kriterijem

cijene te se odmah iz rezultata vidi da je prema tom kriteriju najbolja alternativa, to jest Kuća 3. Na karticama na vrhu program omogućuje izbor između nekoliko načina za usporedbu: grafički, usmeni, matrični i upitnik. Omogućuje i unos izravnih vrijednosti ako se znaju što je za, na primjer cijenu vrlo korisno.

Slika 41 Matrica uspoređivanja alternativa u parovima



Izvor: Izrada studenta

Jedan od načina kako se mogu vidjeti rezultati je klikom na *Computations* → *Full Report*. Osim što je prikazana struktura problema, sa svim klasterima i čvorovima te njihovim opisima, prikazan je i rezultat. Glavni rezultat ANP modela su sveukupni prioriteti alternativa dobiveni sintetiziranjem prioriteta alternativa iz svih pod mreža u modelu. Stupac "Ideal" dobiva se iz stupca "Normal" dijeljenjem svakog prioriteta s najvećom vrijednošću, što znači da najbolja alternativa uvijek ima ocjenu 1, „Normal“ su normalizirane vrijednosti stupca „Total“, a vrijednosti iz stupca „Total“ predstavljaju „sirove“ vrijednosti iz granične super matrice koja sadrži globalne prioritete. Na slici 42 vidi se da bi s ovim modelom Kuća 5 bila najbolja opcija. Iza nje slijede Kuća 4, Kuća 2, Kuća 3 i na posljednjem mjestu Kuća 1.

Slika 42 Rezultat ANP metode

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
	Kuća 1	0.0450	0.1148	0.4192	5
	Kuća 2	0.0851	0.2168	0.7918	3
	Kuća 3	0.0586	0.1493	0.5452	4
	Kuća 4	0.0962	0.2452	0.8956	2
	Kuća 5	0.1074	0.2738	1.0000	1

Izvor: Izrada studenta

5.3. RJEŠENJE POMOĆU PROMETHEE METODE U Visual PROMETHEE-u

Za PROMETHEE metodu korišten je softver Visual PROMETHEE 1.4 Academic Edition

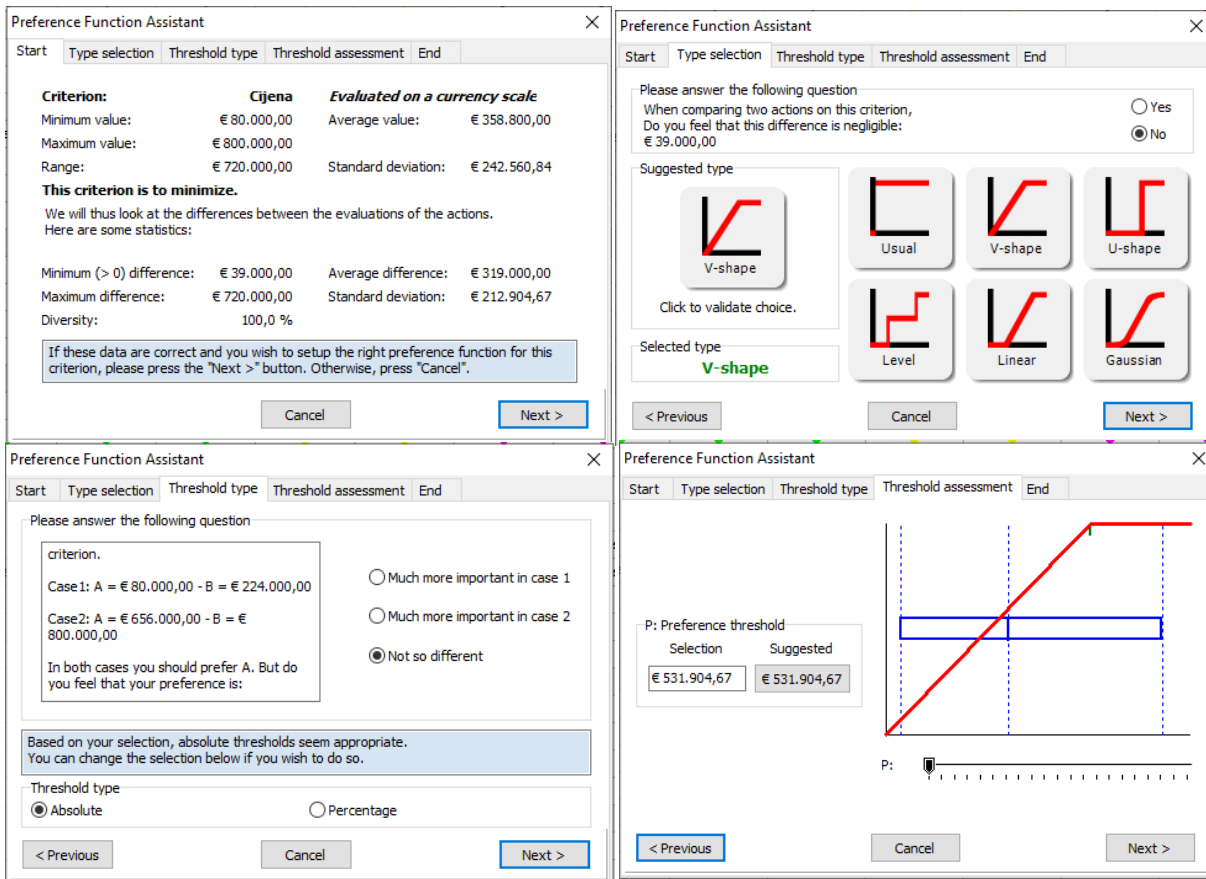
Slika 43 PROMETHEE tablica

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Kupnja kuće	Cijena	Centar	Trgovina	Pula	Plaža	P. kuće	P. dvorišta	Sobe	Kupana	Stanje kuće	Bazen	Garaža	
Unit	€	km	km	km	km	m ²	m ²	kom	kom	scale3	y/n	y/n	
Cluster/Group	◆	●	●	●	●	◆	◆	■	■	◆	◆	◆	
Preferences													
Min/Max	min	min	min	min	min	max	max	max	max	max	max	max	
Weight	0,25	0,03	0,09	0,11	0,01	0,02	0,01	0,10	0,05	0,27	0,02	0,05	
Preference Fn.	V-shape	V-shape	Linear	Linear	Linear	Linear	V-shape	V-shape	V-shape	Level	Level	Level	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
-Q: Indifference	n/a	n/a	1,04	14,68	6,62	57,64	n/a	n/a	n/a	1	0,49	0,49	
-P: Preference	€ 531.904,67	15,48	2,72	34,08	18,70	159,33	3759,18	2,20	2,20	2	1,09	0,89	
-S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics													
Minimum	€ 80.000,00	1,80	1,30	0,00	1,30	130,00	200,00	2,00	1,00	1	0,00	0,00	
Maximum	€ 800.000,00	20,00	5,00	42,00	24,00	323,00	4679,00	5,00	4,00	3	1,00	1,00	
Average	€ 358.800,00	6,16	2,86	29,00	13,26	209,31	1420,20	3,40	2,40	2	0,40	0,20	
Standard Dev.	€ 242.560,84	6,94	1,25	15,39	8,71	73,93	1684,89	1,02	1,02	1	0,49	0,40	
Evaluations													
<input checked="" type="checkbox"/> Kuća 1	€ 279.000,00	20,00	5,00	40,00	20,00	130,56	1422,00	3,00	2,00	Odlično	no	no	
<input checked="" type="checkbox"/> Kuća 2	€ 395.000,00	1,80	1,30	36,00	1,30	253,00	200,00	3,00	3,00	Odlično	yes	no	
<input checked="" type="checkbox"/> Kuća 3	€ 80.000,00	3,00	3,00	27,00	16,00	130,00	355,00	2,00	1,00	Loše	no	no	
<input checked="" type="checkbox"/> Kuća 4	€ 800.000,00	3,00	3,00	42,00	24,00	323,00	4679,00	4,00	4,00	Odlično	yes	no	

Izvor: Izrada studenta

Nakon pokretanja programa dodajemo alternative i kriterije te dobivamo i popunjavamo tablicu kao što je prikazano na slici 43. Za svaki kriterij odabiremo želimo li minimizirati ili maksimizirati, na primjer želimo da je cijena kuće što manja pa je zbog toga minimiziramo, dok želimo da je površina kuće što veća pa je zbog toga maksimiziramo. Crvenom bojom označena je najgora vrijednost za taj kriterij, a zelenom najbolja. Upisivanjem vrijednosti program automatski prepoznaje maksimum, minimum, prosječnu vrijednost i standardnu devijaciju. Težine za pojedine kriterije jednake su težinama dobivenim u PriEsT-u. Program omogućuje donositelju odluke pomoć pri odabiru funkcije preferencije te automatski upisuje prag indiferencije i prag preferencije ako je potrebno. Prvo se provjeravaju podaci koje je program izračunao, zatim program postavlja pitanje donositelju odluke, u ovom slučaju kada se uspoređuju dvije alternative prema kriteriju cijene je li razlika zanemariva. S obzirom na odgovor donositelja odluke program ponuđuje neki tip funkcije. U 3. koraku donositelj odluke treba odgovoriti da li mu je bitna razlika između dva ponuđena slučaja. U 4. koraku, u ovom primjeru, program ponuđuje prag preferencije te konačnu funkciju preferencije. Ti koraci prikazani su na slici 44.

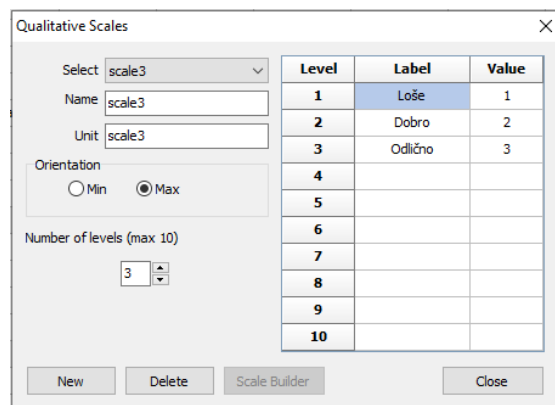
Slika 44 Pomoć pri odabiru funkcije preferencije



Izvor: Izrada studenta

Program omogućuje donositelju odluke da napravi svoju skalu. U ovom primjeru napravljena je skala od 3 levela: Odlično, Dobro i Loše za kriterij stanje kuće.

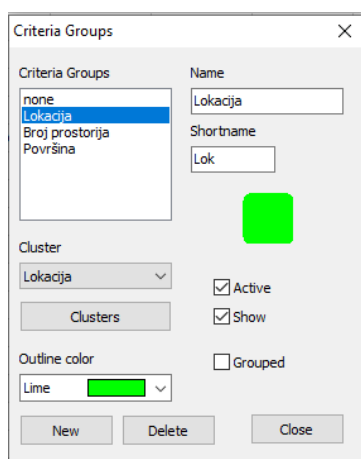
Slika 45 Skala za kriterij stanje kuće



Izvor: Izrada studenta

Program omogućuje i kreiranje grupa i klastera kako bi se mogli grupirati pojedini kriteriji. U ovom primjeru kriteriji centar, Pula, trgovina i plaža grupirani su u grupu Lokacija, sobe i kupaone u Broj prostorija i p. kuće i p. dvorišta u grupu Površina.

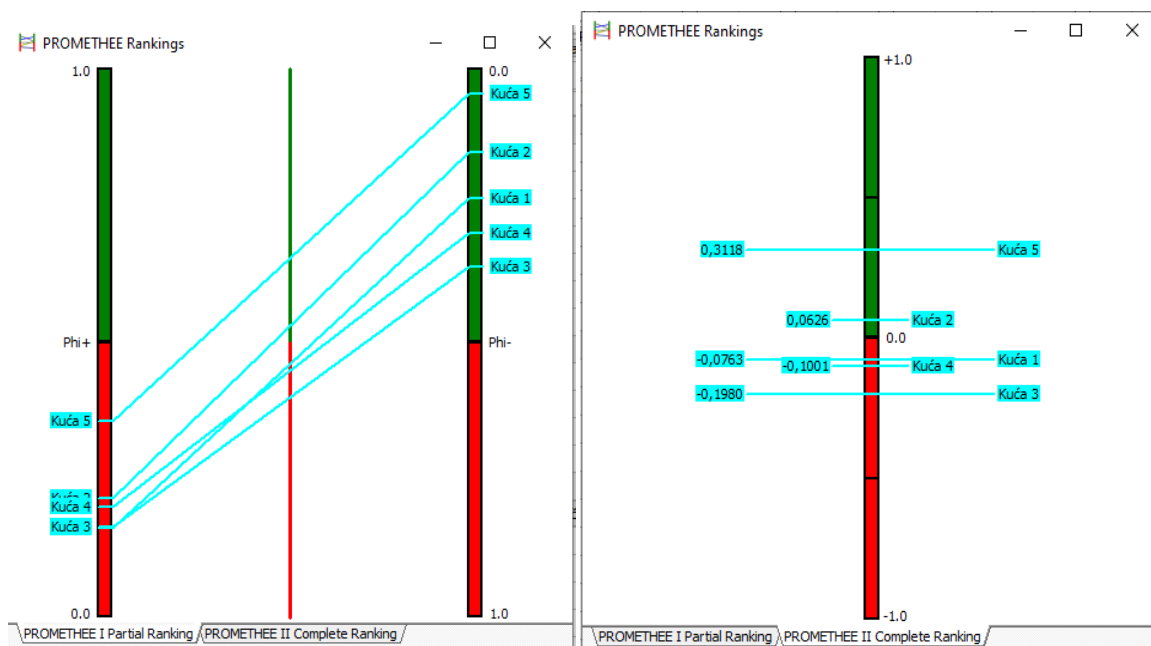
Slika 46 Kreiranje grupe



Izvor: Izrada studenta

Rezultati PROMETHEE metode vidljivi su na 47 slici. Na kartici PROMETHEE I Partial Ranking (lijeva slika), lijeva traka prikazuje rang radnji prema Φ^+ : Kuća 5 je na vrhu, a slijede je Kuća 2, Kuća 1, Kuća 4 i Kuća 3. Rangiranje prema Φ^- : Kuća 5 je i dalje na vrhu, ali slijedi je Kuća 2, Kuća 4, Kuća 3 i Kuća 1. Kuće 3 i 1 se poklapaju, no na osnovi analize metodom PROMETHEE vidljivo je da je Kuća 3 malo bolje rangirana, slika 48. Možemo zaključiti da se Kuća 5 preferira se u odnosu na sve ostale akcije u rang u PROMETHEE I. To potvrđuje PROMETHEE II (desna slika). Kuća 5 ima najvišu ocjenu Φ . Rezultati Kuće 1, 4 i 3 su negativni te su na dnu ljestvice PROMETHEE II.

Slika 47 Rezultati PROMETHEE metode



Izvor: Izrada studenta

Slika 48 Tablica Phi vrijednosti

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Kuća 5	0,3118	0,3580	0,0461
2	Kuća 2	0,0626	0,2151	0,1526
3	Kuća 1	-0,0763	0,1605	0,2368
4	Kuća 4	-0,1001	0,2007	0,3008
5	Kuća 3	-0,1980	0,1630	0,3610

Izvor: Izrada studenta

Rezultati dobiveni metodama PROMETHEE I i PROMETHEE II mogu se geometrijski prezentirati programom GAIA.

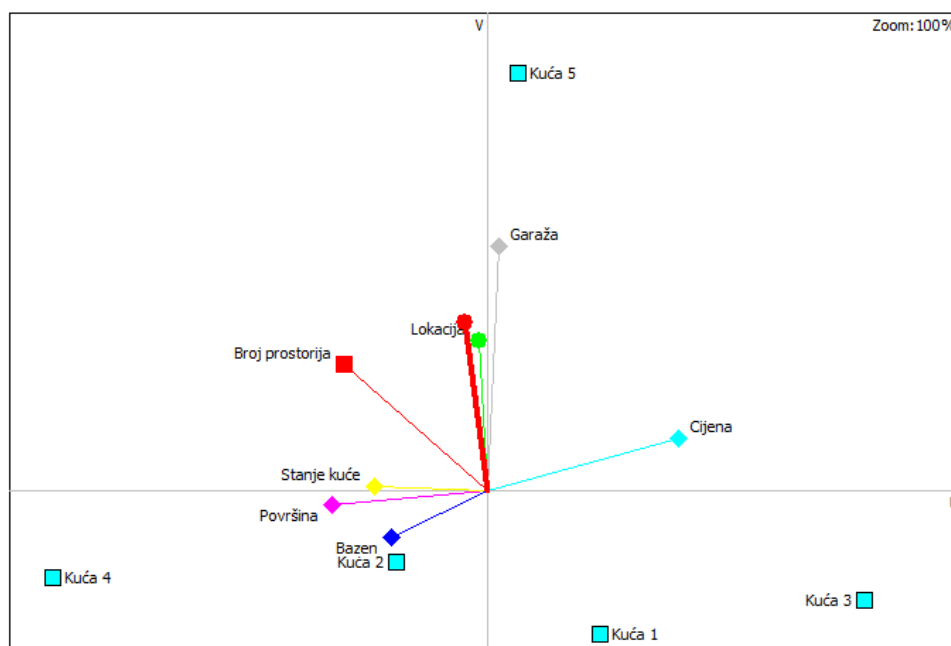
Prva osnovna komponenta je u , koja sadrži najveću moguću količinu informacija, v je druga osnovna komponenta, koja omogućava najviše dodatnih informacija okomito u odnosu na u , a w je treća osnovna komponenta, koja omogućuje najviše dodatnih informacija okomito na u i v .

Alternative su označene kvadratićima, kriteriji su označeni osima, a težine su označene osima odluke (komponentama u , v i w). Vektor odluke naznačen je debelom crvenom linijom sa ispunjenim krugom. Rangiranje pojedine varijante definira se na način da se na vektor odluke povuče okomica iz točke koja definira pojedinu varijantu. Što je pojedina varijanta bliže u odnosu na smjer kojega definira vrh vektora odluke, to je ona bolje rangirana. Kod kriterija koji su slični jedan drugome, osi su im usmjerene u istom smjeru i obratno. Kriteriji koji su izrazito kontradiktorni jedan drugome nalaze se u suprotnim smjerovima. Duljina osi pojedinog kriterija izražava značajnost, to jest jačinu kriterija, što je dulja os, kriterij je značajniji.³⁸

Sa Slike 49 vidljivo je da je Kuća 5 najbolje rangirana, slijede je Kuća 2, 1, 4, 3.

³⁸ (Đurin, 2018)

Slika 49 Rezultati prezentirani metodom GAIA



Izvor: Izrada studenta

5.4. RJEŠENJE POMOĆU ELECTRE METODE U EXCEL-U

Metoda ELECTRE prikazana je pomoću koraka navedenih u poglavlju 4.3., a samo računanje i kreiranje tablica, to jest matrica provodilo se u Excelu. Početna matrica, gdje svakoj alternativi za svaki kriterij i podkriterij dajemo neku vrijednost, popunjena je na temelju prijašnjih primjera i metoda. Ona je prikazana na slici 50.

Slika 50 Početna matrica ELECTRE metode

	Cijena	Centar	Trgovina	Pula	Plaža	P. dvorišta	P. kuće	Sobe	Kupaonice	Stanje kuće	Bazen	Garaža
Kuća 1	15,00	5,00	10,00	10,00	10,00	30,00	5,00	10,00	10,00	20,00	5,00	5,00
Kuća 2	10,00	25,00	25,00	15,00	30,00	5,00	15,00	10,00	20,00	20,00	20,00	5,00
Kuća 3	35,00	10,00	15,00	20,00	15,00	10,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Kuća 4	5,00	10,00	15,00	5,00	5,00	35,00	25,00	20,00	25,00	20,00	20,00	5,00
Kuća 5	20,00	10,00	5,00	35,00	25,00	15,00	10,00	25,00	10,00	10,00	5,00	35,00

Izvor: Izrada studenta

Nakon normalizacije matrice dobivamo sljedeću matricu prikazanu na slici 51. Na slici su označene žutom bojom težine kriterija i podkriterija koje su izračunate u prijašnjim poglavljima s drugim metodama.

Slika 52 Normalizirana matrica odlučivanja

Težine	0,24	0,03	0,09	0,11	0,01	0,01	0,02	0,10	0,05	0,27	0,02	0,05
	Cijena	Centar	Trgovina	Pula	Plaža	P. dvorišta	P. kuće	Sobe	Kupanice	Stanje kuće	Bazen	Garaža
Kuća 1	0,33752637	0,1622214	0,288675	0,225018	0,23094	0,591312396	0,204124	0,282843	0,28284271	0,549442256	0,169031	0,137361
Kuća 2	0,22501758	0,8111071	0,721688	0,337526	0,69282	0,098552066	0,612372	0,282843	0,56568542	0,549442256	0,676123	0,137361
Kuća 3	0,78756153	0,3244428	0,433013	0,450035	0,34641	0,197104132	0,204124	0,141421	0,14142136	0,137360564	0,169031	0,137361
Kuća 4	0,11250879	0,3244428	0,433013	0,112509	0,11547	0,689864462	1,020621	0,565685	0,70710678	0,549442256	0,676123	0,137361
Kuća 5	0,45003516	0,3244428	0,144338	0,787562	0,57735	0,295656198	0,408248	0,707107	0,28284271	0,274721128	0,169031	0,961524

Izvor: Izrada studenta

Na slici 52 prikazana je težinska matrica odlučivanja dobivena množenjem kriterija s težinama.

Slika 51 Težinska normalizirana matrica

	Cijena	Centar	Trgovina	Pula	Plaža	P. dvorišta	P. kuće	Sobe	Kupanice	Stanje kuće	Bazen	Garaža
Kuća 1	0,08100633	0,0048666	0,025981	0,024752	0,002309	0,005913124	0,004082	0,028284	0,01414214	0,148349409	0,003381	0,006868
Kuća 2	0,05400422	0,0243332	0,064952	0,037128	0,006928	0,000985521	0,012247	0,028284	0,02828427	0,148349409	0,013522	0,006868
Kuća 3	0,18901477	0,0097333	0,038971	0,049504	0,003464	0,001971041	0,004082	0,014142	0,00707107	0,037087352	0,003381	0,006868
Kuća 4	0,02700211	0,0097333	0,038971	0,012376	0,001155	0,006898645	0,020412	0,056569	0,03535534	0,148349409	0,013522	0,006868
Kuća 5	0,10800844	0,0097333	0,01299	0,086632	0,005774	0,002956562	0,008165	0,070711	0,01414214	0,074174705	0,003381	0,048076

Izvor: Izrada studenta

Sljedeće se uspoređuju parovi alternativa. Kako bi se dobila matrica suglasnosti računa se indeks suglasnosti koji u ovom primjeru iznosi 0.58. Na slici 53 prikazana je matrica suglasnosti. Očito je da vrijedi $0 \leq a_{ij} \leq 1$ i da veća vrijednost a_{ij} znači veću poželjnost alternative 1 u odnosu na alternativu 2.

Slika 53 Matrica suglasnosti

	Kuća 1	Kuća 2	Kuća 3	Kuća 4	Kuća 5		Kuća 1	Kuća 2	Kuća 3	Kuća 4	Kuća 5
Kuća 1	0,00	0,67	0,52	0,68	0,44	Kuća 1	0	1	0	1	0
Kuća 2	0,75	0,00	0,64	0,82	0,49	Kuća 2	1	0	1	1	0
Kuća 3	0,57	0,41	0,00	0,53	0,38	Kuća 3	1	0	0	0	0
Kuća 4	0,64	0,52	0,65	0,00	0,49	Kuća 4	1	0	1	0	0
Kuća 5	0,63	0,51	0,67	0,54	0,00	Kuća 5	1	0	1	0	0

Izvor: Izrada studenta

Kod računanja matrice nesuglasnosti računa se indeks nesuglasnosti te veća vrijednost a_{ij} znači manju poželjnost alternative 1 u odnosu na alternativu 2. U ovom primjeru indeks nesuglasnosti iznosi 0.80 te je na slici 54 prikazana matrica nesuglasnosti.

Slika 54 Matrica nesuglasnosti

	Kuća 1	Kuća 2	Kuća 3	Kuća 4	Kuća 5		Kuća 1	Kuća 2	Kuća 3	Kuća 4	Kuća 5
Kuća 1	0	1	0,970772	0,523665	0,834243	Kuća 1	0	1	1	1	1
Kuća 2	0,69282287	0	1	1	1	Kuća 2	0	0	1	1	1
Kuća 3	1	0,1924288	0	0,686735	0,069834	Kuća 3	1	0	0	0	0
Kuća 4	1	0,9560907	1	0	1	Kuća 4	1	1	1	1	1
Kuća 5	1	1	1	0,091561	0	Kuća 5	1	1	1	0	0

Izvor: Izrada studenta

Matrica incidencije prikazana je na slici 55.

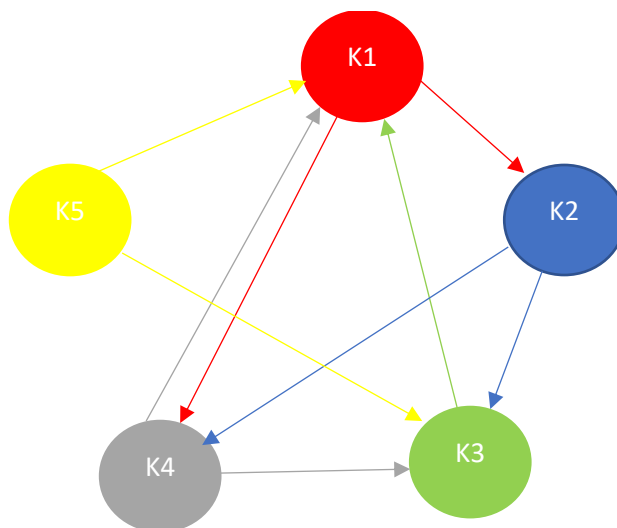
Slika 55 Matrica incidencije, rezultati ELECTRE metode

	Kuća 1	Kuća 2	Kuća 3	Kuća 4	Kuća 5
Kuća 1	0	1	0	1	0
Kuća 2	0	0	1	1	0
Kuća 3	1	0	0	0	0
Kuća 4	1	0	1	0	0
Kuća 5	1	0	1	0	0

Izvor: Izrada studenta

Iz matrice incidencije možemo zaključiti da Kuća 1 dominira nad Kućom 2 i Kućom 4, Kuća 2 dominira nad Kućom 3 i Kućom 4, Kuća 3 dominira nad Kućom 1, Kuća 4 dominira nad Kućom 1 i Kućom 3 i Kuća 5 dominira nad Kućom 1 i Kućom 3. Ako iz same tablica nije jasno i očito koja je alternativa bolja, na slici 56 prikazan je grafički prikaz. Kuća 5 najbolje je rangirana, zatim je slijede Kuća 2 i Kuća 4 dok Kuća 3 i Kuća 1 dijele posljednje mjesto.

Slika 56 Grafički prikaz rezultata



Izvor: Izrada studenta

5.5. USPOREDBA REZULTATA

Tablica 8 Usporedba rezultata

Rang/Metode	AHP	ANP	PROMETHEE	ELECTRE
1.	Kuća 5	Kuća 5	Kuća 5	Kuća 5
2.	Kuća 3	Kuća 4	Kuća 2	Kuća 2
3.	Kuća 2	Kuća 2	Kuća 1	Kuća 4
4.	Kuća 4	Kuća 3	Kuća 4	Kuća 3 i Kuća 1
5.	Kuća 1	Kuća 1	Kuća 3	

Izvor: Izrada studenta

Na tablici 8 prikazani su rezultati svih metoda. Možemo uočiti da je Kuća 5 kod sve četiri metode najbolja alternativa. Cijenom je među jeftinijim kućama, nalazi se u Puli pa je tako blizu i centar i plaže i trgovine, ima velik broj spavaćih soba (5) te dvije kupaonice i garažu, ali nema bazen. Stanje joj je dobro, to jest useljiva je, ali su tijekom vremena potrebne neke renovacije. Površina dvorišta i same kuće je prosječna u odnosu na ostale kuće.

Kuća 1 je kod svih metoda osim kod metode PROMETHEE najgora alternativa. Nije najskuplja kuća, ali je najudaljenija od centra, a dosta je udaljena i od Pule i plaže u odnosu na neke druge kuće. Iako je stanje kuće odlično, nema ni bazen ni garažu te ima „samo“ tri spavaće sobe i dvije kupaonice. Među najmanjim je kućama površinom dok joj je dvorište među većima.

Zanimljivo je kako je Kuća 3 s najgorim stanjem kod AHP metode na 2. mjestu iako je stanje kuće jedan od najznačajnijih kriterija. Kuća 4 koja je najskuplja kuća je pak kod ANP metode na 2. mjestu iako je i cijena također među najznačajnijim kriterijima.

Uspoređujući podatke iz tablice 7 i rezultate iz tablice 8 ljudi bi se mogli sa svojim razmišljanjem najviše složiti s rangiranjem kuća PROMETHEE metodom, znajući koje su karakteristike bitnije, a koje manje bitne. Ne gledajući prvu alternativu koja je kod svih metoda ista, druga alternativa kod PROMETHEE metode nije najskuplja, u odličnom je stanju, a gledajući udaljenost od Pule ne razlikuje se puno od ostale tri kuće. Treća alternativa također je u odličnom stanju i nije najskuplja dok se na četvrtom i petom mjestu nalaze najskuplja kuća i kuća u najlošijem stanju.

6. ZAKLJUČAK

Govoreći o velikim i unosnim tvrtkama, u današnje vrijeme okruženja za odlučivanje sve se više razvijaju i sve su bitnija, a u donošenju odluka sudjeluje velik broj ljudi. Posljedice nekih bitnih odluka mogu biti velike, te mogu dugoročno utjecati na razne stvari, ljude, procese..., a pogreške izazvane tim odlukama ne mogu se lako otkloniti i donose velike štete i gubitke. Donositelji odluka imaju ogroman izbor između različitih metoda koje mogu koristiti ovisno o problemu koji imaju. Trebaju dobro poznavati i razraditi svoj problem, to jest cilj, dobro definirati kriterije i podkriterije ako ih ima te odabrati alternative, ali i veliku većinu metoda kako bi odabrali metodu koja bi najtočnije pomogla u odlučivanju. Sam Albert Einstein je rekao kako je formulacija samog problema puno bitnija od rješenja. Nakon odabira same metode treba odabrati softver koji će donositelj odluke koristiti. Danas je na raspolaganju dosta izbora, čak i besplatnih verzija, ali često su te verzije besplatne samo za mali broj funkcija, kao na primjer omogućuju unos samo nekoliko kriterija ili alternativa. Bitno je uz pravilan izbor metode odabrati i dobar softver je se u prethodnim poglavljima moglo vidjeti da sam matematički postupak kod svih metoda i nije najjednostavniji posebno ako problem ima velik broj metoda i alternativa.

U ovom radu moglo se vidjeti koliko četiri različite metode mogu dati sasvim različita rješenja za problem s kojim se skoro svaki čovjek ili obitelj susreće u jednom trenutku života. Svaka obitelj pri kupnji kuće ima različite želje, ali i mogućnosti pa bi prema tome kada bi neka druga obitelj birala između ovih 5 kuća rezultati bili vjerojatno sasvim drugačiji.

Za AHP metodu korišten je softver PriEsT-u, za ANP SuperDecision. Visual PROMETHEE 1.4 Academic Edition, jedan od poznatijih softvera korišten je za PROMETHEE metodu, dok su za ELECTRE metodu prikazani koraci, a kako bi računske operacije bile što lakše i bez pogreške korišten je Excel. Moguće da su korišteni neki drugi softveri da bi i sami rezultati bili drugačiji.

Zbog svega navedenog svi koraci u procesu odlučivanja su jako bitni kako bi i rezultati bili što točniji i kako bi donositelj odluke bio što sretniji s ponuđenim rješenjima.

LITERATURA

Knjige:

1. Triantaphyllou, E., 2000. *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. 1st ed. Boston, MA: Springer US.
2. Zardari, N., Ahmed, K., Shirazi, S. and Yusop, Z., 2015. *Weighting Methods And Their Effects On Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes In Water Resources Management*. 1st ed. Springer International Publishing
3. Belton, V. and Stewart, T., 2003. *Multiple Criteria Decision Analysis*. 1st ed. Boston, Mass.: Kluwer Acad. Publ.s
4. Ballesteros, E., Pérez-Gladish, B. and Garcia-Bernabeu, A., 2015. *Socially Responsible Investment: A Multi-Criteria Decision Making Approach*. 1st ed. Springer International Publishing.
5. Ishizaka, A. and Nemery, P., 2013. *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods And Software*. 1st ed. Wiley.
6. Kou, G., Ergu, D., Peng, Y. and Shi, Y., 2014. *Data Processing For The AHP/ANP*. 1st ed. Berlin: Springer Berlin.
7. Ehrgott, M., Figueira, J. and Greco, S., 2005. *Multiple Criteria Decision Analysis: State Of The Art Surveys*. 1st ed. [New York]: Springer Science + Business Media, Inc.

Internetski izvori:

8. Marjan.fesb.hr. *Diskretna Matematika*. [online] Dostupno na: <<http://marjan.fesb.hr/~borka/files/DM-2p-06.pdf>> [Pristupljeno 15.4.2020.]
9. Eudoxus.com. *1. What Is Mathematical Programming? - Eudoxus Systems Ltd*. [online] Dostupno na: <<http://www.eudoxus.com/lp-training/1-what-is-mathematical-programming>> [Pristupljeno 15.4.2020.]
10. Hr.wikipedia.org. *Benjamin Franklin*. [online] Dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Franklin> [Pristupljeno 20.4.2020.]
11. Vlah, S., 2008. *Modeli Višekriterijskog Odlučivanja I Heuristike Za Njihovo Rješavanje*. [online] Bib.irb.hr. Dostupno na: <<https://bib.irb.hr/datoteka/407750.mag-rad-vlah-final.pdf>> [Pristupljeno 20.4.2020.]
12. Mcdmsociety.org. *Short MCDM History | Multiple Criteria Decision Making*. [online] Dostupno na: <<https://www.mcdmsociety.org/content/short-mcdm-history-0>> [Pristupljeno 20.4.2020.]
13. 1000minds. *Famous Quotes | 1000Minds*. [online] Dostupno na: <<https://www.1000minds.com/decision-making/quotes>> [Pristupljeno 22.4.2020.]
14. 1000minds. *What Is MCDM / MCDA? | 1000Minds*. [online] Dostupno na: <<https://www.1000minds.com/decision-making/what-is-mcdm-mcda>> [Pristupljeno 22.4.2020.]
15. Schramm, F. and Morais, D., 2012. *Decision Support Model For Selecting And Evaluating Suppliers In The Construction Industry*. [online] ResearchGate. Dostupno na:

- <https://www.researchgate.net/publication/262664663_Decision_support_model_for_selecting_and_evaluating_suppliers_in_the_construction_industry> [Pristupljeno 22.4.2020.]
16. Guitoun, A. and Marc Martel, J., 1998. *Tentative Guidelines To Help Choosing An Appropriate MCDA Method.* [online] ScienceDirect. Dostupno na: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221798000733>> [Pristupljeno 22.4.2020.]
 17. Mota, P., Campos, A. and Neves-Silv, R., 2013. *First Look At MCDM: Choosing A Decision Method.* [online] Nimbusvault.net. Dostupno na: <<http://nimbusvault.net/publications/koala/assr/papers/iswk13-006.pdf>> [Pristupljeno 6.5.2020]
 18. Lisjak, D., 2011. *Primjena AHP-Metode Kao Alata Za Optimalni Izbor Opreme.* [online] Fsb.unizg.hr. Dostupno na: <https://www.fsb.unizg.hr/atlantiss/upload/newsboard/21_10_2011__15692_Odrzavanje_AHP_Metoda_Izbor_Opreme.pdf> [Pristupljeno 7.5.2020]
 19. Dujmić, D., 2014. *Primjena Višekriterijalnog Odlučivanja U Odabiru Lokacije Skladišta.* [online] Repozitorij.fsb.hr. Dostupno na: <http://repozitorij.fsb.hr/3020/1/Dinko_Dujmic_Diplomski_rad.pdf> [Pristupljeno 8.5.2020.]
 20. Erkan, T. and Rouyendegh, B., 2012. *Selection Of Academic Staff Using The Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP): A Pilot Study.* [online] Hrcak.srce.hr. Dostupno na: <<https://hrcak.srce.hr/file/137733>> [Pristupljeno 8.5.2020.]
 21. Aruldoss, M., Lakshmi, T. and Venkatesan, P., 2013. *A Survey On Multi Criteria Decision Making Methods And Its Applications.* [online] Pubs.sciepub.com. Dostupno na: <<http://pubs.sciepub.com/ajis/1/1/5/>> [Pristupljeno 11.5.2020]
 22. Vinovrški, D., 2016. *PRIMJENA METODE VIŠEKRITERIJSKE ANALIZE PRI DONOŠENJU ODLUKA.* [online] Repozitorij.unipu.hr. Dostupno na: <<https://repozitorij.unipu.hr/islandora/object/unipu%3A2124/datastream/PDF/view>> [Pristupljeno 11.5.2020]
 23. Paradžik, P., n.d. *PROMETHEE METODA.* [online] Degiorgi.math.hr. Dostupno na: <<http://degorgi.math.hr/forum/download.php?id=1691>> [Pristupljeno 14.5.2020].
 24. Klanac, J., Perkov, J. and Krajnović, A., 2013. *Primjena AHP I PROMETHEE Metode Na Problem Diverzifikacije.* [online] Bib.irb.hr. Dostupno: <https://bib.irb.hr/datoteka/686498.Primjena_AHP_i_PROMETHEE_metode_na_problem_diverzifikacije-1.pdf> [Pristupljeno 14.5.2020]
 25. Đurin, B., 2018. *Pojednostavljeni Postupak Odabira Optimalne Varijante Vodoopskrbnog Sustava Pokretanog Solarnom Fotonaponskom (FN) Energijom.* [online] Hrcak.srce.hr. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=314539> [Pristupljeno 19.5.2020.]
 26. Hester, P. and Velasquez, M., 2013. *An Analysis Of Multi-Criteria Decision Making Methods.* [online] ResearchGate. Dostupno na:

<https://www.researchgate.net/publication/275960103_An_analysis_of_multi-criteria_decision_making_methods> [Pristupljeno 25.5.2020.]

YouTube izvori:

27. Mathew, M., 2018. *Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)*. [video] Dostupno na: <<https://www.youtube.com/watch?v=5k3Wz1AfVWs>> [Pristupljeno 8.5.2020.]
28. 2017. Electre Method For Multiple Criteria Decision Making. [image] Dostupno na: <<https://www.youtube.com/watch?v=wOwP-EFicVU>> [Pristupljeno 12.5.2020]
29. Mathew, M., 2019. PROMETHEE- I & II (Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation). [video] Dostupno na: <<https://www.youtube.com/watch?v=xe2XgGrl0Sg&t=3s>> [Pristupljeno 18.5.2020]

POPIS SLIKA

Slika 1 Broj publikacija tijekom razdoblja 1950.–2014.....	4
Slika 2 Proces odlučivanja.....	9
Slika 3 Utjecaji na postupak donošenja odluke.....	11
Slika 4 Domena odluke.....	11
Slika 5 Klasifikacija metoda višekriterijalnog odlučivanja	13
Slika 6 Tradicionalni prikaz hijerarhije.....	16
Slika 7 TFN funkcija	21
Slika 8 AHP mreža s pet klastera	23
Slika 9 Običan kriterij.....	32
Slika 10 Kvazi kriterij	33
Slika 11 Kriterij s linearnom preferencijom.....	33
Slika 12 Kriterij s razinama konstantne preferencije	33
Slika 13 Kriterij s linearnom preferencijom i područjem indiferencije.....	34
Slika 14 Gaussov kriterij.....	34
Slika 15 Preferencije između alternativa.....	38
Slika 16 Kriteriji i podkriteriji.....	41
Slika 17 Opis problema i alternative	41
Slika 18 Matrica uspoređivanja u parovima	42
Slika 19 Usporedba kriterija u parovima	42
Slika 20 Legenda alternativa	42
Slika 21 Usporedba alternativa u parovima s obzirom na cijenu	43
Slika 22 Usporedba podkriterija lokacije u parovima.....	43
Slika 23 Usporedba alternativa u parovima s.....	43
Slika 24 Udaljenost od centra	43
Slika 25 Udaljenost od trgovine.....	43
Slika 26 Udaljenost od plaže	43
Slika 27 Udaljenost od Pule.....	43
Slika 28 Usporedba podkriterija površine u parovima	44
Slika 29 Usporedba alternativa u parovima s obzirom na površinu.....	44
Slika 30 Površina dvorišta	44
Slika 31 Površina kuće.....	44
Slika 32 Usporedba podkriterija broj prostorija u parovima.....	44
Slika 33 Usporedba alternativa u parovima s obzirom na broj prostorija.....	44

Slika 34 Broj spavaćih soba.....	45
Slika 35 Broj kupaonica.....	45
Slika 36 Usporedba alternativa u parovima	45
Slika 37 Usporedba alternativa u parovima s obzirom na bazen	45
Slika 38 Usporedba alternativa u parovima s obzirom na garažu.....	45
Slika 39 Konačni rezultat AHP metode	46
Slika 40 Struktura problema ANP	46
Slika 41 Matrica uspoređivanja alternativa u parovima	47
Slika 42 Rezultat ANP metode	47
Slika 43 PROMETHEE tablica	48
Slika 44 Pomoć pri odabiru funkcije preferencije	49
Slika 45 Skala za kriterij stanje kuće.....	49
Slika 46 Kreiranje grupe	50
Slika 47 Rezultati PROMETHEE metode.....	50
Slika 48 Tablica Phi vrijednosti	51
Slika 49 Rezultati prezentirani metodom GAIA	52
Slika 50 Početna matrica ELECTRE metode.....	52
Slika 51 Težinska normalizirana matrica.....	53
Slika 52 Normalizirana matrica odlučivanja	53
Slika 53 Matrica suglasnosti	53
Slika 54 Matrica nesuglasnosti	53
Slika 55 Matrica incidencije, rezultati ELECTRE metode	54
Slika 56 Grafički prikaz rezultata	54

POPIS TABLICA

Tablica 1 Karakteristike različitih metoda.....	14
Tablica 2 Saaty-eva skala	17
Tablica 3 Slučajni indeks	19
Tablica 4 Fuzzy Saaty skala.....	21
Tablica 5 Super matrica.....	26
Tablica 6 Prednosti i nedostaci metoda.....	38
Tablica 7 Podaci o kućama.....	40
Tablica 8 Usporedba rezultata.....	55

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad bavi se temom višekriterijalnog odlučivanja. Prije same definicije obrađeni su počeci višekriterijalnog odlučivanja kroz povijest. Definirane su i komponente višekriterijalnog odlučivanja: alternative, kriteriji, težine i donositelj odluke. Opisan je proces odlučivanja te je posebna pozornost dana strukturiranju situacije odlučivanja. Prikazana je klasifikacija metoda višekriterijalnog odlučivanja, te je odabrano 5 metoda koje su detaljno obrađene (AHP, Fuzzy AHP, ANP, ELECTRE i PROMETHEE), a kasnije i uspoređene. U drugom dijelu rada prikazane su 4 metode (AHP, ANP, ELECTRE i PROMETHEE) na primjeru kupnje kuće u Istri. Korišteni su određeni softveri pomoću kojih su dobiveni rezultati koji se u zadnjem dijelu rada uspoređuju. Cilj je bio prikazati kako svaka metoda drugačije rangira iste kuće s istim kriterijima.

Ključne riječi: višekriterijalno odlučivanje, metode višekriterijalnog odlučivanja, proces analitičke hijerarhije, proces analitičke mreže

ABSTRACT

This graduate thesis deal with multi-criteria decision making. Prior to the definition the beginnings of multi-criteria decisions through history were processed. The components of the multi-criteria decision making are as well defined: alternatives, criteria, weight and decision-maker. The process of making decisions is described with the emphasis on the structuring decision making situation. The classification of the multi-criteria decision making methods is shown and 5 methods (AHP, Fuzzy AHP, ANP, ELECTRE and PROMETHEE) are chosen, later even compared, for more detailed description. In the second part 4 methods (AHP, ANP, ELECTRE and PROMETHEE) are demonstrated in the example of buying houses in Istria. Some specific softwers were used to get the results which are compared in the final part of the thesis. The aim was to show that each of the mentioned methods rangs differently same houses with same criteria.

Keywords: multi-criteria decision making, multi-criteria decision making methods, The analytic hierarchy process, AHP, The analytic network proces, ANP, ELECTRE, PROMETHEE