

Usporedba metoda VIKOR i TOPSIS za višekriterijsko odlučivanje

Franić, Tin

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:211:999682>

Rights / Prava: [Attribution 3.0 Unported/Imenovanje 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-11**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Organization and Informatics - Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ź D I N

Tin Franić

USPOREDBA METODA VIKOR i TOPSIS
ZA VIŠEKRITERIJSKO ODLUČIVANJE

DIPLOMSKI RAD

Varaždin, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ž D I N

Tin Franić

Matični broj: 44914/16–R

Studij: Organizacija poslovnih sustava

**USPOREDBA METODA VIKOR i TOPSIS ZA VIŠEKRITERIJSKO
ODLUČIVANJE**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Bojan Žugec

Varaždin, rujan 2023.

Tin Franić

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onima koji su u njemu navedeni. Za izradu rada su korištene etički prikladne i prihvatljive metode i tehnike rada.

Autor potvrdio prihvaćanjem odredbi u sustavu FOI-radovi

Sažetak

Cilj ovog diplomskog rada je proučavanje i uspoređivanje dviju metoda višekriterijskog odlučivanja: VIKOR i TOPSIS. Donošenje višekriterijskih odluka danas se često koristi u mnogim područjima kada donositelji odluka moraju procijeniti i rangirati alternativna rješenja na temelju više kriterija. U teorijskom dijelu rada detaljno su opisane obje metode i njihove prednosti i nedostaci. Dobro poznavanje metoda je bitno jer nam pomaže kod odabira najprikladnije metode u određenoj situaciji. Također, opisana je matematička pozadina svake metode. U praktičnom dijelu obje metode su primijenjene na istom problemu odabira poslovnog prostora za informatičko poduzeće. Nakon toga napravljena je usporedba dviju metoda s posebnim naglaskom na njihovim razlikama.

Ključne riječi: višekriterijsko odlučivanje, VIKOR, TOPSIS, poslovno odlučivanje, metode, upravljanje

Sadržaj

Sadržaj.....	1
1. Uvod.....	3
2. Poslovno odlučivanje.....	4
2.1. Vrste odluka.....	6
2.2. Višekriterijsko odlučivanje.....	8
2.2.1. Kriteriji.....	8
2.2.2. Težine kriterija.....	9
3. Metoda VIKOR.....	10
3.1. Algoritam metode VIKOR.....	11
3.1.1. Ulazni podaci.....	11
3.1.2. Određivanje idealnog rješenja.....	11
3.1.3. Normalizacija kriterijskih funkcija.....	12
3.1.4. Određivanje težina kriterija.....	12
3.1.5. Određivanje težina strategije odlučivanja.....	13
3.1.6. Izračun udaljenosti od idealnog rješenja.....	13
3.1.7. Izračun rangova alternativa.....	14
3.1.8. Određivanje kompromisnog rješenja.....	14
3.1.9. Promjena težina kriterija.....	16
3.2. Donošenje odluke.....	16
3.2.1. Prijedlog kompromisnog rješenja.....	16
3.2.2. Konačna odluka.....	17
3.3. Prednosti i nedostaci VIKOR-a.....	18
3.3.1. Prednosti.....	18
3.3.2. Nedostaci.....	18
4. Metoda TOPSIS.....	19
4.1. Algoritam metode TOPSIS.....	20
4.1.1. Ulazni podaci.....	20
4.1.2. Tablica odlučivanja.....	20
4.1.3. Normalizacija kriterija.....	21
4.1.4. Određivanje težina kriterija.....	22
4.1.5. Određivanje pozitivnog i negativnog idealnog rješenja.....	23

4.1.6. Izračunavanje udaljenosti od idealnih rješenja.....	24
4.1.7. Donošenje konačne odluke	26
4.2. Prednosti i nedostaci metode TOPSIS	26
4.2.1. Prednosti.....	27
4.2.2. Nedostaci	27
5. Usporedba metoda VIKOR i TOPSIS.....	28
5.1. Ulazni podaci	28
5.2. Idealna rješenja.....	28
5.3. Normalizacija	28
5.4. Određivanje težina	29
5.5. Agregirajuća funkcija.....	29
5.6. Kompromisno rješenje	30
6. Primjena metoda VIKOR i TOPSIS	34
6.1. Definiranje problema	34
6.2. Definiranje kriterija	34
6.3. Definiranje alternativa	37
6.4. Definiranje ulaznih podataka	38
6.5. Pretvorba kriterija.....	38
6.6. Normalizacija kriterija	39
6.7. Određivanje težina kriterija.....	40
6.8. Primjena metode VIKOR.....	41
6.8.1. Izračun udaljenosti od idealnih rješenja	41
6.8.2. Izračun rangova alternativa	42
6.8.3. Određivanje kompromisnog rješenja	43
6.9. Primjena metode TOPSIS	44
6.9.1. Ponderiranje vrijednosti.....	44
6.9.2. Izračun udaljenosti od idealnih rješenja	45
6.9.3. Donošenje odluke	47
6.10. Usporedba rezultata metoda VIKOR i TOPSIS	47
7. Zaključak	48
Popis literature	49
Popis slika	52
Popis tablica.....	53

1. Uvod

Od samih početaka ljudskog roda postojala je potreba za odlučivanjem. Odlučivanje je prisutno u svim aspektima života, kako profesionalnog, tako i privatnog. Svaka ljudska aktivnost je na neki način odlučivanje ili posljedica neke prijašnje odluke.

Poslovno odlučivanje jedan od najvažnijih elemenata upravljanja u bilo kojoj organizaciji i prisutno je u svim profesijama. Donositelji odluka svakodnevno se susreću s problemima i izazovima, a uspjeh poslovanja ovisi o njihovom razumijevanju tih problema, procjenjivanju alternativa i odabiru optimalnog rješenja. S obzirom na raširenost i važnost donošenja odluka, ne čudi da postoji mnoštvo znanstvenih i stručnih radova koji obrađuju teorijski i praktični dio te teme.

U mnogim situacijama iz stvarnog života, donositelji odluka suočavaju se sa složenim problemima kod kojih jedan kriterij nije dovoljan za procjenu alternativa. U slučajevima kada se odluke donose na temelju više faktora koriste se metode višekriterijskog odlučivanja koje pružaju strukturirani pristup takvom načinu odlučivanja. Takve metode obično uključuju identifikaciju kriterija, njihovo ponderiranje na temelju njihove važnosti, procjenu alternativa i njihovo rangiranje na temelju uspješnosti u odnosu na kriterije. Metode višekriterijskog odlučivanja razlikuju se po razini složenosti, a odabir konkretne metode ovisi o karakteristikama problema o kojem se odlučuje i preferencijama donositelja odluke.

Tema ovog rada je usporedba dviju često korištenih metoda za višekriterijsko odlučivanje: VIKOR i TOPSIS. Dobro poznavanje metoda višekriterijskog odlučivanja nam je važno jer pomaže pri odabiru najbolje metode za promatrani problem. U teorijskom dijelu rada opisat ću proces poslovnog odlučivanja i obje prethodno spomenute metode te matematičke algoritme na kojima se temelje. Nakon toga ću usporediti obje metode i opisati njihove sličnosti i razlike. U praktičnom dijelu ću primijeniti obje metode na realnom primjeru odabira poslovnog prostora, nakon čega ću analizirati rezultate i pokušati zaključiti koja se metoda pokazala točnijom i za koje situacije je koja metoda prikladnija.

Nakon svega navedenog pokušat ću izvesti zaključak u kojem ću sumirati napisano u teoretskom i praktičnom dijelu rada te dati svoje mišljenje o ovoj temi.

2. Poslovno odlučivanje

Odlučivanje je kao pojam u širokoj upotrebi pa se tako o njemu može čuti u kontekstu odlučivanja u osobnom životu, odlučivanja u obitelji, odlučivanja u poduzećima, odlučivanju državi i svim njezinim institucijama. Za donošenje odluka možemo reći da je staro jednako koliko je staro ljudsko društvo. Svaka ljudska aktivnost rezultat je nekog prethodnog procesa odlučivanja ili je i ona sama oblik odlučivanja. [11]

Odlučivanje možemo definirati kao složeni, dinamični i sekvencijalni proces, koji obuhvaća izbor između dvije ili više raspoloživih opcija te provedbu odabrane opcije, kako bi se postigao unaprijed zadani cilj. [11]

„Trajanje procesa odlučivanja, zavisno od vrste odluka, kreće se u rasponu od djelića sekunde pa do dugotrajnijeg procesa koji se mjeri ne samo satima i danima već i mjesecima i godinama.“ [11]

U slučaju kada se radi o odlukama koje su svakodnevne ili rutinske, trajanje procesa odlučivanja uglavnom je vrlo kratko. Kod donošenja strateških odluka koje zahtijevaju visoku razinu znanja o problemu o kojem se odlučuje i neko vrijeme za vrednovanje svake moguće opcije, cjelokupni proces odlučivanja traje znatno dulje. S obzirom na to da je vrijeme dragocjeno i često ga nema dovoljno, mogućnost donošenja pogrešne odluke je znatno veća zbog vremenskog pritiska. [11]

Za razliku od odlučivanja u osobnom ili obiteljskom životu, svi ostali oblici odlučivanja mogu se okarakterizirati kao poslovno odlučivanje, bez obzira na to je li riječ o odlučivanju u poduzeću, školi, bolnici, vladi ili primjerice Hrvatskom saboru. Dok se odluke u privatnom životu čovjeka uglavnom oslanjaju na intuiciju i tiču se manjeg broja ljudi, odluke u poslovnom životu ne mogu se oslanjati isključivo na intuiciju i uglavnom se tiču znatno većeg broja ljudi. S obzirom na zastupljenost odlučivanja u svim vrstama poslova i u svim organizacijama, nije čudno da je proučavanje ove teme fokus raznih znanstvenih radova i rasprava. [11]

Poslovno odlučivanje u pravilu zahtijeva znatno više sistematičnosti nego ono u privatnom životu jer pogađa veći broj članova organizacije. Što je razina odlučivanja viša, to je i odlučivanje važnije jer se tiče većeg broja članova organizacije pa u slučaju pogrešnog odabira može imati negativne posljedice za cijelu organizaciju. Ako najviša razina menadžmenta primjerice izabere pogrešnu strategiju razvoja organizacije, to može kao rezultat imati dugoročne katastrofalne posljedice za organizaciju kao cjelinu. U slučaju da

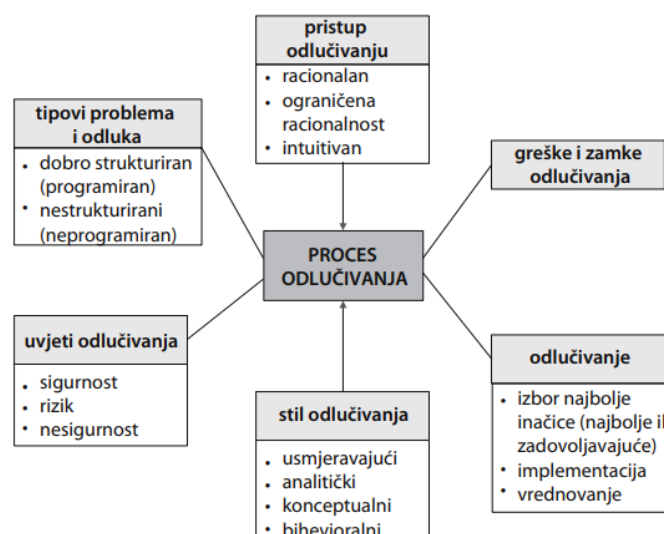
neka niža razina menadžmenta napravi krivu odluku posljedice ipak neće biti tako dalekosežne. [11]

S obzirom na broj odluka koje se donose na nekom radnom mjestu, te važnost i značenje tih odluka, radna mjesta možemo podijeliti na izvršna i menadžerska, a menadžerska dalje dijelimo na radna mjesta više i niže razine menadžmenta. Kod izvršnih radnih mjesta većina vremena se troši na izvršni posao, dok je posao odlučivanja manje zastupljen, dok je kod menadžerskih radnih mjesta situacija obrnuta. Niža razina menadžmenta veći dio radnog vremena bavi se operativnim odlukama, dok na višim razinama menadžmenta na takve odluke otpada manji dio vremena, a veći na odluke taktičke i strateške važnosti. [11]

Proces odlučivanja vrlo je složen i obuhvaća sljedeća gledišta [11]:

- Pristup odlučivanju
- Tipovi problema i odluka
- Uvjeti odlučivanja
- Stil odlučivanja
- Faze odlučivanja
- Greške u odlučivanju

Sve prethodno navedene stavke mogu varirati od procesa do procesa odlučivanja, a imaju značajan utjecaj na donošenje konačne odluke, što svjedoči o mogućoj složenosti procesa odlučivanja. Neke od ovih pojmova spominjat ću u nastavku rada, ali neću preduboko ulaziti u pojedinosti o njima kako ne bih previše skretao s glavne teme rada.



Slika 1: Sastavnice procesa odlučivanja (Sikavica, Hunjak, Begičević Ređep i Hernaus, 2014, str. 22)

2.1. Vrste odluka

Odluku možemo definirati kao rezultat procesa odlučivanja. Aspekti donošenja odluka su razni, pa tako ne čudi da različiti autori navode različite podjele odluka temeljene na različitim kriterijima. U ovom poglavlju opisat ću neke od tih podjela.

Prema *H.A.Simon*-u odluke mogu biti programirane ili neprogramirane. Ove prve definira se kao odluke koje se koriste za rješavanje problema koji su rutinski u situacijama koje se ponavljaju. Temelje se na ustaljenim kriterijima odlučivanja, stoga i nose ime programirane odluke. Definicija neprogramiranih odluka je suprotna; koriste se u situacijama koje nisu redovne i koje se ne ponavljaju, tako da je svaka situacija slučaj za sebe. [11]

Jedna od čestih podjela je i podjela na rutinske i nerutinske odluke. Rutinskim odlukama uglavnom se bave menadžeri nižih razina, dok se nerutinskim odlukama bave u višim razinama menadžmenta. Srednja razina menadžmenta bi se po ovoj podjeli trebala baviti kombinacijom rutinskih i nerutinskih odluka. [11]

Prema *W.J.Gore*-u odluke mogu biti: rutinske, adaptivne i inovativne. Rutinske odluke su one koje se donose prema ustaljenim kriterijima pa ih se u tom kontekstu može smatrati jednakima kao programiranim odlukama. Adaptivne se više bave problemima nego samim zadatkom, a inovativne zahtijevaju veće promjene u aktivnostima i teže promijeniti ciljeve, svrhu i politiku organizacije. [11]

M. J. Hatch poslovne odluke dijeli na institucijske, organizacijske i operativne. Institucijske se donose na najvišoj razini menadžmenta i bave se poslovnom strategijom. Organizacijske odluke se donose na srednjoj razini menadžmenta, a odnose se na diferencijaciju u organizaciji te integraciju između dijelova organizacije. Operativne odluke se odnose na najnižoj razini menadžmenta i bave se svakodnevnim, uobičajenim aktivnostima u organizaciji. [11]

S obzirom na značenje odnosno važnost odluka za organizaciju, odluke se klasificiraju na strateške, taktičke i operativne. Strateške odluke spadaju u najvažnije za poduzeće ili organizaciju u kojoj se donose. One definiraju strategiju poduzeća, kao i ciljeve poduzeća u budućnosti. Strateške odluke donose se u najvišoj razini menadžmenta poduzeća, i sa sobom nose dalekosežne posljedice, zbog čega je i odgovornost donositelja ovakvih odluka velika. Taktičke odluke predstavljaju odluke nižeg reda putem kojih se realiziraju strateške odluke. Putem taktičkih odluka se vrši operacionalizacija strateških odluka, i od njih se očekuje da podignu razinu efikasnosti poduzeća. Operativne odluke su odluke najnižeg reda kojima se realiziraju taktičke odluke. Uglavnom se donose na nižim

razinama menadžmenta, iako se u manjem dijelu donose i na višim razinama. Operativne odluke možemo usporediti sa programiranim odlukama jer se koriste za rješavanja rutinskih problema u situacijama koje se ponavljaju. [11]

Obilježja Vrste odluke	Vrijeme	Priroda rizika	Strukturiranost	Kontrola
strateške	dugoročne	visok	slabo definirane	iskustvena
taktičke	srednjoročne	umjeren	varirajuće	kvalitativna
operativne	kratkoročne	nizak	dobro definirane	kvantitativna

Slika 2: Podjela odluka s obzirom na važnost za organizaciju (Sikavica i sur., 2014, str. 61)

Odluke možemo dijeliti i s obzirom na subjekte odlučivanja u organizaciji, pa tako razlikujemo: odluke organa upravljanja (vlasnika, dioničara ili nadzornih organa), odluke menadžmenta (uprave, direktora ili menadžera bilo koje razine) i izvršne odluke koje donose svi zaposlenici. [11]

Subjeki odlučivanja mogu biti pojedinci, skupine ili kolektiv, pa tako odluke možemo dijeliti i na: [11]

- Individualne – donose ih pojedinci na svojim radnim mjestima, a razlikuju se po važnosti ovisno o radnom mjestu u organizaciji
- Skupne – donosi ih veći broj pojedinaca, primjerice nadzorni odbor ili uprava, a spadaju u važne odluke
- Kolektivne – odluke skupštine dioničara koje su obično upravljačke odnosno egzistencijalne

„S obzirom na razine odlučivanja na kojima se donose sve poslovne odluke, može se govoriti o odlukama najviše razine menadžmenta, odlukama srednje razine menadžmenta i odlukama najniže razine menadžmenta.“ [11]

Za pojedine razine odlučivanja ne možemo reći da donose samo jednu vrstu odluka, ali ipak se strateške odluke pretežito donose na višoj razini menadžmenta, taktičke odluke na srednjoj, a operativne odluke na najnižoj razini menadžmenta. Bez obzira na to, nije rijetkost da se primjerice određeni manji dio operativnih odluka donosi na srednjoj ili višoj razini menadžmenta. [11]

2.2. Višekriterijsko odlučivanje

Donošenje bitnih odluka u današnjem svijetu rijetko je moguće napraviti na temelju samo jednog kriterija. Kod donošenja kompleksnih odluka koje se formiraju na temelju većeg broja kriterija (u nekim slučajevima riječ je o više desetaka ili čak stotinama) bitno je definirati koliko su nam pojedini kriteriji važni i primijeniti optimalnu metodu odlučivanja.

Višekriterijsko odlučivanje je proces u više koraka koji se sastoji od skupa metoda kojima se strukturira i formalizira donošenje odluka na transparentan i dosljedan način. Metode višekriterijskog odlučivanja imaju široku primjenu u rješavanju raznih problema koristeći procjenu alternativnih rješenja. Ove metode mogu se koristiti na svakom slučaju u kojem možemo uspješno definirati problem, alternativna rješenja i kriterije. Tijekom godina razvijene su razne metode višekriterijskog odlučivanja koje se temelje na različitim algoritmima. S obzirom na to ne čudi da će primjena više metoda na istom problemu rezultirati različitim rezultatima, stoga je vrlo važno znati odabrati najprikladniju metodu za problem o kojem se radi. [4]

2.2.1. Kriteriji

Kod poslovnog odlučivanja, za razvoj idealnog rješenja potrebno je odrediti koja su svojstva rješenja važna. Ta svojstva, tj. kriteriji predstavljaju atribute kojima se opisuju alternative i njihova je svrha da daju informaciju o tome u kojoj se mjeri pojedinom alternativom ostvaruje cilj. Kriteriji moraju biti mjerljivi, bilo to kvalitativno ili kvantitativno, a njihov izbor je subjektivan i ovisi o donositelju odluke. Postoji nekoliko podjela kriterija koje ću navesti u nastavku. [11]

Jedna od najčešćih podjela kriterija je podjela na kvalitativne i kvantitativne kriterije. Razlika je u tome što kvalitativne ne možemo definirati brojevima, odnosno nekakvom količinom, stoga njih definiramo opisom ili nekom unaprijed definiranom vrijednošću, ali ne brojčanom. Primjerice kriterij „boja vozila“ prilikom kupnje automobila je kvalitativni kriterij jer se definira riječima, tj. opisom. Nasuprot tome, kvantitativne kriterije definiramo brojčanom vrijednošću što nam omogućava znatno lakšu usporedbu različitih opcija. Ako se primjerice promatra kriterij „maksimalna zapremnina prtljažnika vozila“ lako se može vrednovati svaku alternativu. [5]

Sljedeća podjela je podjela prema tipu, što dijeli kriterije na kriterije koristi i kriterije troška. Kriteriji troška za cilj imaju što manju vrijednost, što primjerice može biti cijena automobila. S druge strane kriteriji koristi teže što većoj vrijednosti, primjerice snaga motora automobila. [6] Ovdje treba napomenuti da određeni kriterij ne mora pripadati jednoj od ove dvije skupine, tako da nije niti kriterij koristi ni kriterij troška, što znači da njegova optimalna

vrijednost nije niti što veća ni što manja moguća. [11] Za primjer ovdje možemo uzeti dimenzije automobila. Kupac ne želi auto koji je pretjerano mali jer mu to ograničava korisnost automobila vezanu uz broj putnika koje može voziti kao i količinu prtljage, no s druge strane zasigurno ne želi ni vrlo dugačko vozilo koje bi otežavalo kretanje u prometu i pronalaženje adekvatnog parkinga. S obzirom na to cilj je pronaći vozilo idealnih dimenzija koje nije niti premalo, ali ni preveliko.

2.2.2. Težine kriterija

Kada se priča o kriterijima višekriterijskog odlučivanja, bitno je spomenuti i težine kriterija. Kod problema višekriterijskog odlučivanja često nisu svi kriteriji jednako važni. Zbog toga im se pridružuju težine ili relativne vrijednosti. [11]

Težine kriterija, relativne vrijednosti ili ponderi predstavljaju relativnu važnost pojedinih kriterija i opisuju se brojčanom (najčešće postotnom) vrijednošću. Određivanje težine nekog kriterija vrlo je važno jer ima znatan utjecaj na krajnji rezultat višekriterijskog odlučivanja. Upravo zbog tog utjecaja pravilnom određivanju težina kriterija posvećuje se znatna pozornost. Kod nekih metoda višekriterijskog odlučivanja težine su definirane na način da postoji više njihovih kombinacija, što omogućuje uvid u promjenu konačnog rješenja kao rezultata promjene težinskih koeficijenata. [11]

Kod određivanja težina posebno je problematično određivanje težina onih kriterija koji nisu povezani s mjerljivim fizikalnim svojstvima pa se ne mogu lako brojčano opisati. Kod takvih kriterija obično se koriste različite ljestvice temeljene na ocjenama, kao što je Saatyeva ljestvica relativnih važnosti. [11]

Nešto više detalja o težinama kriterija i metodama njihovog određivanja napisati ću u sljedećim poglavljima pri opisivanju metoda VIKOR i TOPSIS.

3. Metoda VIKOR

Višekriterijska optimizacija i kompromisno rješenje ili VIKOR jedna je od metoda višekriterijskog odlučivanja. Razvijena je od strane Serafima Opricovića 1990. godine, a koristi se u svrhu višekriterijske optimizacije složenih sustava kao što se može zaključiti iz njezina imena. VIKOR se bazira na odabiru iz skupa alternativnih rješenja koje se rangira pomoću raznih kriterija koji su često međusobno konfliktni. [15] Metoda se bazira na kompromisnom programiranju, koje za cilj ima pronalazak kompromisnog rješenja uz pomoć indeksa koji određuje „bliskost“ optimalnom rješenju. [5]

Od svog nastanka VIKOR je prepoznat kao vrlo korisna metoda višekriterijskog odlučivanja čemu svjedoče stotine znanstvenih radova koje ju obrađuju. Danas je VIKOR zastupljen u raznim područjima poslovnog odlučivanja pa se tako koristi u građevini, prometu, energetici, logistici, obrazovanju, turizmu, zdravstvu itd. [15]

Ova metoda često se koristi za probleme iz skupa diskretnih sustava za koje se ne može kreirati sveobuhvatni matematički model te iz raznih objektivnih okolnosti ne možemo teorijskim proračunima pronaći optimalno rješenje problema ili ono nije dostižno. U takvim slučajevima moramo generirati određeni broj alternativa i pronaći rješenje koje je najbliže optimalnome. Za primjer toga postavimo se u ulogu poduzeća koje želi kupiti zemljište za novu trgovinu. Teško je pronaći zemljište koje bi nam idealno odgovaralo po lokaciji, veličini, dostupnosti komunalnih priključaka, mogućnosti dobivanja građevinske dozvole i slično, a čak i u slučaju da nađemo takvo zemljište velika je mogućnost da bi njegova cijena bila veća od onoga što nam naša financijska sredstva omogućuju. Zbog toga se radi rangiranje alternativa po određenim kriterijima pa se traži kompromisno rješenje najbliže optimalnom. [5]

Prednost VIKOR metode je to što donositelji odluka imaju mogućnost utjecati na konačno rješenje tako da prilagode važnost određenih kriterija mijenjajući njihove relativne vrijednosti, tj. težinu. [14] Težine kriterija obično su definirane na način da postoji više njihovih kombinacija, što omogućuje uvid u promjenu konačnog rješenja kao rezultat promjene težinskih koeficijenata, što se naziva i stabilnost rješenja. [6]

VIKOR metoda ima specifičan način određivanja rješenja, pa je tako jedna alternativa najbolja samo ako ispunjava određena tri uvjeta, no o tome ću više pisati kasnije u radu. [5]

3.1. Algoritam metode VIKOR

U ovom poglavlju detaljno ću opisati korake provođenja VIKOR metode, a kasnije u radu ću iste primijeniti na konkretnom primjeru.

Pretpostavimo da je svako alternativno rješenje ocijenjeno prema svakoj kriterijskoj funkciji, odnosno funkciji cilja, koja predstavlja matematički opis postavljenog cilja. U tom slučaju kompromisno rangiranje može se izvesti usporedbom blizine idealne alternative, tj. idealnog rješenja. Kompromisno rangiranje razvijeno je na temelju L_p -metrike, što je funkcija iz kompromisnog programiranja, a na njoj se temelji i metoda VIKOR. [7]

3.1.1. Ulazni podaci

Prvi korak u primjeni metode VIKOR je definiranje ulaznih podataka. Potrebno je napraviti odabir mogućih alternativnih rješenja kako bi se ona mogla rangirati. Neka je

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$$

skup alternativnih rješenja koje se želi rangirati, i neka su $f_i, i = 1, 2, \dots, n$, kriterijske funkcije kojima se teži. Neka je f_{ij} vrijednost i – te kriterijske funkcije za alternativu a_j , za sve $i \in [n]$ i sve $j \in [m]$. Tada vrijednosti f_{ij} tvore matricu [5]

$$F = [f_{ij}] \in M_{n,m}(R)$$

3.1.2. Određivanje idealnog rješenja

Idealno rješenje problema se određuje uz pomoć vrijednosti kriterijskih funkcija iz jednakosti

$$f_i^* = \text{ext}_j f_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

U prethodnoj jednakosti operator ext označava maksimum ako u idealnom slučaju ta funkcija teži što većem broju, primjerice ako se radi o prihodima ili dobiti. Ako se radi o funkciji koja je u idealnom slučaju što manja, primjerice u slučaju troškova, tada ext označava minimum. [5]

3.1.3. Normalizacija kriterijskih funkcija

Različiti kriteriji obično nisu izraženi u istim mjernim jedinicama niti poprimaju vrijednosti iz istog raspona, pa se kao takvi ne mogu međusobno uspoređivati. Stoga je potrebno provesti normalizaciju kako bi kriteriji poprimili vrijednosti iz domene $[0, 1]$ i kako bi se mogla upotrijebiti L_p -metrika. [5] Općenito, normalizacija podataka se provesti na razne načine, pa tako može biti linearna, vektorska ili postotna, no u VIKOR metodi koristi se linearna metoda normalizacije s pomoću raspona kriterijskih vrijednosti. [7] [11]

Prvi korak je određivanje najbolje (f_i^*) i najlošije (f_i^-) vrijednosti za sve kriterijske funkcije, gdje je $i = 1, 2, \dots, n$. Ako i -ta funkcija predstavlja kriterij koristi, odnosno ako je idealna vrijednost što veća vrijedi [7]

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad f_i^- = \min_j f_{ij}$$

Zatim se izračunava

$$d_{ij} = \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-}$$

za sve $i \in [n]$ i sve $j \in [m]$. Ovdje d_{ij} možemo opisati kao udaljenost i – tog kriterija j – te alternative od vrijednosti istog kriterija koji je najbolji, tako da bi ovdje najbolja vrijednost nekog kriterija poprimila vrijednost 0. Sljedeći korak je formiranje matrice [5]

$$D = [d_{ij}] \in M_{n,m}(R)$$

u kojoj elementi imaju vrijednosti u rasponu $[0, 1]$, a dobiveni su linearnom pretvorbom elemenata matrice ulaznih podataka F koja je definirana formulom

$$T(f_{ij}) = -\frac{1}{f_i^* - f_i^-} \cdot f_{ij} + \frac{f_i^*}{f_i^* - f_i^-}$$

za sve $i \in [n]$ i sve $j \in [m]$. [5]

3.1.4. Određivanje težina kriterija

Kod problema višekriterijskog odlučivanja često svi kriteriji nisu jednako važni. Zbog toga im se pridružuju težine ili relativne vrijednosti. [11] Te težine u višekriterijskom odlučivanju nemaju jasan ekonomski značaj, ali njihovo korištenje uvelike pomaže u donošenju takvih odluka. [7] Često dolazi do problema kad se pokušava izraziti omjere važnosti kriterija koji nisu povezani s jasnim i mjerljivim fizikalnim svojstvima, kao što je primjerice kvaliteta dizajna nekog predmeta. Za usporedbu takvih kriterija koristi se Saatyeva ljestvica relativnih važnosti koja se bazira na određivanje omjera prioriteta inačica u odnosu na kriterij prema kojem se one uspoređuju. [11]

Kod definiranja težina primjenjuju se različite metode, a neke od njih su: [6]

- Delfi metoda
- SWING metoda
- Metoda entropije
- Metoda vlastitog vektora

Često težine nisu zadane na način da zadovoljavaju uvjete normiranosti, pa ih prvo treba normirati. U slučaju da su w_i , $i = 1, 2, \dots, n$ nenormirane težine, onda se normirane težine \bar{w}_i , $i = 1, 2, \dots, n$ dobivaju putem sljedeće formule: [5]

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, i = 1, 2, \dots, n$$

Ako za primjer uzmemo dva kriterija kod kojih je prvi trostruko važniji od drugog, njihove težine može se zapisati na sljedeći način:

$$w_1 = 3, \quad w_2 = 1$$

Nakon normiranja dobiju se vrijednosti

$$\bar{w}_1 = \frac{3}{4}, \quad \bar{w}_2 = \frac{1}{4}$$

3.1.5. Određivanje težine strategije odlučivanja

Pri izračunu pomoću metode VIKOR koristi se veličina v koja predstavlja težinu strategije odlučivanja. Pojednostavljeno, težina ili koeficijent strategije odlučivanja u ovom kontekstu označava važnost ispunjenja svih kriterija pri odabiru rješenja. U slučaju da se želi dati prednost ispunjenju većine kriterija, bez obzira na to hoće li neki kriterij biti potpuno neispunjen, uzima se $v > 0.5$, a u slučaju da moraju biti ispunjeni baš svi kriteriji definira se da je $v < 0.5$. [5] [7] Vrijednost v ovisi o postupku donošenja konačne odluke. U većini slučajeva se za početnu vrijednost kao određeni kompromis između dva pristupa uzima $v = 0.5$, da bi se kasnije dobiveni rezultati provjeravali i za vrijednosti $v = 0.25$ i $v = 0.75$ kako bi se utvrdila stabilnost alternative na prvoj poziciji rang liste. [6] [14]

3.1.6. Izračun udaljenosti od idealnog rješenja

Sljedeći korak je izračun udaljenosti svake alternative od idealnog rješenja. [14] Kao mjere udaljenosti od idealne točke koriste se metode kompromisnog programiranja. Kompromisno programiranje prva je metoda rangiranja alternativnih rješenja prema bliskosti određenim idealnim vrijednostima kriterija. Osmislili su je 1973. Yu i Zeleny. S obzirom da u realnom svijetu ne postoji savršeno rješenje, potreban je određeni dogovor, odnosno kompromis oko odabira rješenja, od čega i dolazi ime ove metode. [6] [7]

Formule koje se koriste su sljedeće:

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i d_{ij}$$

$$R_j = \max_i [w_i d_{ij}]$$

za sve $j \in [m]$, gdje S_j predstavlja mjeru udaljenosti j -te alternative od idealnog rješenja, R_j mjeru udaljenosti j -te alternative od najgoreg mogućeg rješenja, a w_i označava težinu i -tog kriterija. Ako se s f_i^* označi vrijednost najbolje, a s f_i^- vrijednost najlošije alternative s obzirom na kriterij i , onda se d_{ij} može odrediti kao:

$$d_{ij} = \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-}$$

3.1.7. Izračun rangova alternativa

Kako bi mogli rangirati alternative moramo izračunati: [5]

$$S^* = \min_j S_j, \quad S^- = \max_j S_j$$

$$R^* = \min_j R_j, \quad R^- = \max_j R_j$$

a zatim i:

$$QS_j = \frac{S_j - S^*}{S^- - S^*} \quad QR_j = \frac{R_j - R^*}{R^- - R^*}$$

$$Q_j = v \cdot QS_j + (1 - v) \cdot QR_j$$

za sve $j \in [m]$.

S obzirom da se rang liste bazirane na veličinama QS_j i QR_j koje se temelje na udaljenosti j – te alternative od najboljeg i najgoreg mogućeg rješenja dosta razlikuju, uvodi se i objedinjena rang lista temeljena na Q_j . [6]

Samo rangiranje alternativa provodi se sortiranjem s obzirom na vrijednosti mjera QS_j , QR_j i Q_j . Najbolja alternativa je ona čija je vrijednost mjere najmanja i ona zauzima prvo mjesto na rang listi.

3.1.8. Određivanje kompromisnog rješenja

Nakon rangiranja alternativa sljedeći korak je određivanje kompromisnog rješenja. Za zadane težine kriterija w i težine strategije odlučivanja $v = 0.5$ najbolja alternativa je ona

koja je na prvoj poziciji na rang listi dobivenoj prema veličini Q_j ako ispunjava i sljedeće uvjete: [5]

1. ima dostatnu prednost nad sljedećom alternativom
2. promjenom težina kriterija „dostatno čvrsto“ zadržava prvo mjesto

Kako bi se prednost spominjana u prvom uvjetu mogla jasno odrediti, definira se nova veličina: [5]

$$DQ = \min \left\{ \frac{1}{4}, \frac{1}{m-1} \right\}$$

gdje je m broj evaluiranih alternativa, a ta veličina se naziva prag prednosti. Dobro je napomenuti da se vrijednost $\frac{1}{4}$ uzima u obzir zbog slučajeva gdje je broj alternativa manji od

5. Dakle, alternativa a_i ima dostatnu prednost nad alternativom a_j ako vrijedi:

$$Q(a_i) - Q(a_j) \geq DQ$$

Uvođenje ovog uvjeta osigurava da donositelj odluke ne zanemari alternativa koje nisu na prvom mjestu rang liste, iako su možda vrlo blizu prvorangiranoj alternativni. Smatra se da je prva varijanta „dovoljno čvrsto“ zadržava na prvoj poziciji ako ispunjava sve sljedeće uvjete: [5]

- na prvoj je poziciji na kompromisnim rang listama dobivenima za vrijednosti $v = 0.25$ i $v = 0.75$
- na prvoj je poziciji na rang listi dobivenoj rangiranjem vrijednosti QS
- na prvoj je poziciji na rang listi dobivenoj rangiranjem vrijednosti QR

U slučaju da prva varijanta s rang-liste ne ispunjava neki od uvjeta, procedura je sljedeća:

1. Ako alternativa zadovoljava prvi, ali ne i drugi uvjet, formira se skup kompromisnih rješenja koji čine prva i druga alternativa s rang liste, a na donositelju odluke je da između njih odabere konačno rješenje
2. Ako alternativa zadovoljava drugi, ali ne i prvi uvjet, formira se skup kompromisnih rješenja koje tvore prvorangirana alternativa i sve ostale alternative nad kojima prvorangirana nema dostatnu prednost (DQ)

3. Ako alternativa ne zadovoljava ni prvi ni drugi uvjet, za nju se smatra da nije dovoljno bolja od ostalih alternativa, pa kompromisno rješenje može biti bilo koja alternativa [5]

3.1.9. Promjena težina kriterija

Kod primjene metode VIKOR rangiranje alternativa može se raditi s različitim vrijednostima težina kriterija, čime se analizira njihov utjecaj na dobiveno kompromisno rješenje. Pri tome je bitno odrediti raspone vrijednosti težina koje ne utječu na rezultat, tj. kompromisno rješenje, a te raspone nazivamo intervalom stabilnosti kompromisnog rješenja. Dakle, rješenje dobiveno inicijalnim vrijednostima težina će se promijeniti ako su vrijednosti novih težina izvan intervala stabilnosti. Analiza intervala stabilnosti za jedan kriterij provodi se za sve kriterijske funkcije, i to sa istim inicijalnim vrijednostima težina. [7]

3.2. Donošenje odluke

U prethodnim poglavljima opisani su koraci algoritma metode VIKOR, i u praksi je njihovom primjenom provođenje metode završeno, no u ovom poglavlju bih se htio osvrnuti na postupke koji se vrše nakon provedbe same metode, a tiču se donošenja konačne odluke.

3.2.1. Prijedlog kompromisnog rješenja

Provođenje metode VIKOR rezultira kompromisnim rješenjem koje može biti jedna alternativa ili neki skup alternativa. S obzirom na to, mogući su sljedeći slučajevi: [5]

1. U rezultatima VIKOR-a pojavljuje se samo jedna alternativa kao rješenje, a u tom slučaju ona se predlaže donositelju odluke kao kompromisno rješenje.
2. Kod svake pojedine kombinacije težina kriterija kao rješenje se dobije točno jedna alternativa, ali različite kombinacije težina daju različite alternative kao rješenje. U tom se slučaju kao kompromisno rješenje predlažu sve dobivene alternative s napomenom uz koje težine kriterija je pojedina alternativa kompromisno rješenje
3. Ako svi rezultati VIKOR metode daju jednak skup alternativa kao rješenje, donositelju odluka se za kompromisno rješenje predlažu sve alternative koje se nalaze u tom skupu. Zatim donositelj odluke može na temelju svojih procjena odabrati jednu od alternativa, ili može uvesti nove kriterije te uz njihovu pomoć ponovno provesti analizu metodom VIKOR.

4. U svim rezultatima VIKOR metode se pojavljuju međusobno različiti skupovi alternativa. U slučaju da dođe do ovakve situacije, donositelj odluke ima dvije mogućnosti:

- Ako je broj različitih alternativa u skupovima relativno mali, kao kompromisno rješenje predlažu se sve alternative iz skupova uz objašnjenje u kojim se slučajevima pojedine alternative predlažu kao rješenje
- U slučaju da je broj različitih alternativa u skupovima veći ili ako donositelj odluke smatra da ukupan broj alternativa treba smanjiti, potrebno je analizirati i međusobno usporediti sve alternative pa se primjerice mogu zanemariti alternative čiji neposredni prethodnici imaju znatnu prednost nad njima. [5]

3.2.2. Konačna odluka

Nakon što su izneseni prijedlozi kompromisnog rješenja uz temeljite opise alternativa, njihovog vrednovanja, kriterija i realizacije potencijalnih rješenja, donositelji odluke mogu odabrati konačnu odluku. [5]

Ako prijedlog kompromisnog rješenja čini samo jedna alternativa, odluka može biti donesena pregovorima ili glasovanjem. U slučaju glasanja, alternativa se prihvaća ako za nju glasuje većina, a u suprotnom se predloženo rješenje odbacuje i cijeli se proces višekriterijskog odlučivanja provodi ponovno. [5]

U slučaju da prijedlog kompromisnog rješenja predstavlja skup više alternativa, postoje različiti pristupi donošenju konačne odluke. Jedan od pristupa je glasanje o alternativama, gdje se prihvaća alternativa koja dobije najveći broj glasova, a drugi je rangiranje alternativa od strane donositelja odluka, pri čemu se prihvaća ona s najvećim prosječnim brojem bodova ili ocjenom. U slučaju da postoji mogućnost da netko od donositelja odluke uloži „veto“ na konačnu odluku, dolazi do pregovora koji mogu završiti na neki od sljedećih načina: [5]

1. Donosi se konačna odluka
2. Ponavlja se postupak metode VIKOR uz određene izmjene
3. Ne donosi se konačna odluka

Ako se donositelji odluke usuglase oko jednog od predloženih kompromisnih rješenja, tada dolazi do donošenja konačne odluke. Time su ispunjeni svi preduvjeti za ostvarivanje prihvaćenog rješenja problema, odnosno praktičnu implementaciju idejnog rješenja. [5]

3.3. Prednosti i nedostaci VIKOR-a

Kao i svaka metoda višekriterijskog odlučivanja, VIKOR ima svoje prednosti kao i nedostatke, koje je bitno razumjeti kako bi se metoda mogla što bolje primijeniti. U ovom poglavlju navesti ću najznačajnije prednosti i nedostatke.

3.3.1. Prednosti

Glavne prednosti korištenja metode VIKOR su sljedeće:

- Može se koristiti kod problema kod kojih je teško odrediti prioritete [13]
- Uključuje analizu osjetljivosti [13]
- Uvođenje težine strategije odlučivanja koja omogućuje donositeljima odluke davanje prednosti ispunjenju većine ili svih kriterija [8]
- Višekriterijskom diskretnom problemu može pronaći kompromisno rješenje bez obzira na broj evaluiranih kriterija [8]
- Sustav rangiranja koji jasno prikazuje poredak alternativa ali istovremeno i prikazuje udaljenost svake alternative od idealnih rješenja [13]
- Jednostavnost primjene metode i razumijevanja rezultata [17]

3.3.2. Nedostaci

Najveći nedostaci metode VIKOR su sljedeći:

- Za provođenje metode potrebno je odrediti inicijalne težine koje su najčešće subjektivne prirode [13]
- Za provođenje metode nužne su kvantitativne informacije o pojedinim aspektima alternativa koje se ocjenjuju [13]
- Osjetljivost krajnjih rezultata na ekstremne vrijednosti [8]
- Iako se VIKOR može primjenjivati na veliku količinu podataka, s rastom broja alternativa znatno raste i kompleksnost izračuna što otežava provođenje metode [8]
- VIKOR teško rješava problem nesigurnosti koji često utječe na ishod provođenja metode. Neki od tih problema su ograničeni resursi, nedostatak informacija i nesigurne posljedice projekta [2]
- VIKOR metoda pretpostavlja da su svi kriteriji neovisni jedni o drugima, što često nije tako, pa to za posljedicu može imati neprecizne rezultate provedbe metode [2]

4. Metoda TOPSIS

Metodu višekriterijskog odlučivanja TOPSIS (engl. - *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) razvili su Kwangsun Yoon i Hwang Ching-Lai 1980. godine. [3] Metoda ima široku primjenu u raznim područjima života, kao što su ekonomija, energetika, medicina, građevina, proizvodna industrija i zaštita okoliša. [18] Ova praktična metoda temelji se na jednostavnom matematičkom modelu o čemu ću detaljnije pisati u kasnijim poglavljima. U zadnja tri desetljeća često se koristi, a tome svjedoči i velik broj znanstvenih radova o primjeni ove metode. [9] Kao i metoda VIKOR, TOPSIS se koristi za rješavanje problema iz skupa diskretnih sustava, pa rješavanju pristupamo tako da prikupimo određeni broj alternativnih rješenja i među njima pronađemo najbolje.

Traženje idealnog rješenja kod metode TOPSIS temelji na minimalnoj udaljenosti od idealnog rješenja, ali i maksimalnoj udaljenosti od najgoreg, tzv. negativno idealnog rješenja. Podloga za tu ideju može se pronaći u tradicionalnim vrijednosnim sustavima i religioznim konceptima kod kojih se teži ponašanju koje nas vodi što bliže raju i udaljava od pakla. Motivacija za uvođenje negativnog idealnog rješenja u poslovnom odlučivanju može se naći u težnji za donošenje odluka kojima bi se maksimizirao profit, ali i minimizirao trošak i rizik. [11]

U praksi provođenja metode TOPSIS to znači da se pozitivno idealno rješenje može definirati kao $a^* = (f_1^*, f_2^*, \dots, f_k^*)$ i ono sadrži optimalne vrijednosti po svakom kriteriju. U slučaju da se radi o kriteriju koristi vrijednosti su $f_j^* = \max f_i(a_i)$, dok su u slučaju troškovnih kriterija vrijednosti $f_j^* = \min f_i(a_i)$. Isto tako, negativno idealno rješenje s najgorim mogućim vrijednostima kriterija prikazuje se vektorom $a^- = (f_1^-, f_2^-, \dots, f_k^-)$. Sastoji se od elemenata $f_j^- = \min f_i(a_i)$ ako je riječ o kriterijima koristi, odnosno $f_j^- = \max f_i(a_i)$ u slučaju kriterija troška. [11]

Najbolje rješenje možemo definirati kao ono koje je najbliže pozitivnom idealnom rješenju i najdalje negativnom idealnom rješenju. U većini slučajeva alternativa koja je najbliža pozitivnom idealnom rješenju nije i alternativa koja je najudaljenija od negativnog idealnog rješenja, stoga se postavlja pitanje koju opciju odabrati. Kako bi se taj problem riješio, TOPSIS metoda uvodi funkciju $D_p(a_i)$ koja za svaku varijantu izračunava omjer udaljenosti od negativnog rješenja i zbroja udaljenosti od pozitivnog i od negativnog rješenja. Potom se varijante rangiraju prema veličinama dobivenima iz prethodne funkcije, a najbolja je ona koja poprima najveću vrijednost. Detaljniji opis algoritma TOPSIS metode slijedi u nastavku. [11]

4.1. Algoritam metode TOPSIS

U ovom poglavlju definirat ću postupak provođenja TOPSIS metode, a kasnije u radu ću taj algoritam primijeniti i na konkretnom primjeru odabira poslovnog prostora za informatičko poduzeće.

4.1.1. Ulazni podaci

Slično kao i kod metode VIKOR, prvi korak je definiranje ulaznih podataka. Kako bismo mogli primijeniti TOPSIS metodu, prvo moramo odrediti skup alternativnih rješenja koja ćemo evaluirati. Recimo da je

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$$

taj skup alternativnih rješenja. Nakon toga možemo definirati kriterije:

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$$

4.1.2. Tablica odlučivanja

Nakon definiranja ulaznih podataka, sljedeći korak je izrada tablice odlučivanja, koja predstavlja formalni zapis problema višekriterijskog odlučivanja. Ta tablica sadrži podatke o alternativama bitnima za donošenje odluke. [11]

Ako zanemarimo zaglavlje s opisom elemenata tablice, tablica sadrži onoliko redaka koliko ima alternativa (a_n) koje se ocjenjuju i onoliko stupaca koliko ima kriterija (f_k) koji se primjenjuju za njihovo vrednovanje. [11]

Tablica 1: Tablica odlučivanja (Izrada autora prema: Sikavica i sur., 2014)

	$f_1()$	$f_2()$	...	$f_k()$
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	...	$f_k(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	...	$f_k(a_2)$
...
a_n	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$	...	$f_k(a_n)$

Na ovaj način prikazali smo sve informacije i podatke bitne za rješavanje problema višekriterijskog odlučivanja na logičan i jasan način koji nam olakšava daljnje provođenje TOPSIS metode. [11]

4.1.3. Normalizacija kriterija

Kako bi mogli međusobno uspoređivati različite kriterije, moramo ih prvo normalizirati. To činimo jer ne poprimaju svi kriteriji jednake raspone vrijednosti i mjerne jedinice, pa ih je potrebno normalizacijom transformirati u vrijednosti u rasponu od 0 do 1. Prije nego provedemo normalizaciju, prvo se moramo pobrinuti da su svi kriteriji kvantitativni i istog tipa, odnosno ili kriteriji koristi ili kriteriji troška.

S obzirom da nisu svi kriteriji nužno kvantitativni, već se često pojavljuju i kvalitativni koji su izraženi riječima i nisu pogodni za provođenje TOPSIS metode, potrebno je i njih na neki način prikazati numerički. U tu se svrhu obično koriste različite bodovne tablice, koje za određenu kvalitativnu ocjenu sadrže pripadajuću brojčanu vrijednost. [11]

Drugi preduvjet za normalizaciju je pretvaranje svih kriterija u isti tip. U slučaju da se teži kriterijima koristi, za koje vrijedi da je više bolje, sve kriterije pretvaramo u kriterije koristi. To se čini tako da se one kriterije koji to nisu zamijeni njihovim recipročnim vrijednostima: [11]

$$a'_{nk} = \frac{1}{a_{nk}}$$

gdje je a'_{nk} transformirana, a a_{nk} originalna vrijednost.

Nakon pretvaranja svih kriterija u kvantitativne kriterije istog tipa može se provesti normalizacija. O metodama normalizacije već sam pisao kod opisivanja algoritma VIKOR metode. Kod TOPSIS-a normalizacija se može provesti linearnim ili vektorskim metodama, iako se vektorske metode rjeđe primjenjuju zbog manje intuitivne interpretacije u odnosu na druge postupke. [11] [10]

Pri normalizaciji kriterija koristit ću linearnu metodu postotne normalizacije, odnosno normalizaciju s pomoću maksimalne kriterijske vrijednosti. Kod postotne normalizacije svaki se element tablice odlučivanja dijeli s maksimalnom vrijednošću stupca u kojem se nalazi. Na taj način dobivaju se relativne vrijednosti u odnosu na vrijednosti najbolje alternative prema promatranom kriteriju, što na vrlo intuitivan način prikazuje usporedbu alternativa. Često se dobivene vrijednosti izražavaju u postotku, prema čemu je ova metoda i dobila ime. [11]

$$r_{nk} = \frac{f_k(a_n)}{\max_n f_k(a_n)}$$

Vrijedi $0 \leq r_{nk} \leq 1$, i ocjena je to bolja što je relativna vrijednost r_{nk} bliža 1.

4.1.4. Određivanje težina kriterija

Kako bismo odredili relativnu težinu, odnosno važnost pojedinih kriterija u odnosu na druge, bitno je definirati pondere ili težine kriterija. Težine kriterija se procjenjuju, a kvalitetna procjena vrlo je bitna jer male pogreške mogu imati znatan utjecaj na krajnji rezultat. Različite metode određivanja težina kriterija spominjao sam u prethodnim poglavljima, a ovdje ću detaljnije opisati SWING metodu koju ću koristiti kao dio TOPSIS-a.

Situacije kod kojih su poznata obilježja alternativa koje se uspoređuju, a kod takvih se i koristi TOPSIS, omogućuju iskorištavanje poznavanja tih obilježja kao dodatne informacije za ponderiranje, odnosno određivanje težina kriterija.

„Za primjenu metode SWING u postupku određivanja težina kriterija nužno je poznavati inačice koje se uspoređuju. Pritom donositelj odluke mora biti u stanju dati dvije vrste procjena, prvo mora procijeniti redoslijed važnosti kriterija, a potom i relativne važnosti raspona u kojima se kreću kriterijske vrijednosti inačica po svakom od kriterija u odnosu na raspon najvažnijega kriterija.“ [11]

Prvi korak kod SWING metode je određivanje najbolje i najlošije vrijednosti za svaki kriterij, odnosno kreiranje idealne a^* i negativno idealne a^- alternative. Slijedi definiranje najvažnijeg kriterija na način da donositelj odluka odgovori na sljedeće pitanje: kada bi mogao promijeniti jednu vrijednost negativno idealne alternative, tako da nju zamijeni s odgovarajućom vrijednošću idealne alternative, koji kriterij bi odabrao? Nakon toga, postupak se nastavlja tako da se isto pitanje ponavlja u odnosu na preostale kriterije.

Sljedeći korak je procjena odgovarajuće vrijednosti zamjene negativno idealne alternative idealnom alternativom drugog najvažnijeg kriterija u odnosu na zamjenu za najvažniji kriterij. Primjerice, ako promjena vrijednosti najvažnijeg kriterija iz najlošije u najbolju ima vrijednost ili relativnu težinu 1, a odgovarajuća promjena drugog najvažnijeg kriterija vrijedi 60% te vrijednosti, onda je njegova relativna težina 0,6. Isti postupak usporedbe s najvažnijim kriterijem provodi se za sve ostale kriterije. Rezultat toga je tablica relativnih vrijednosti težina kriterija koja se zatim normalizira dijeljenjem svakih od njih sa njihovim zbrojem. [11]

SWING metodu koristit ću i kasnije u primjeni TOPSIS metode gdje ću detaljnije pojasniti njezino provođenje koristeći konkretne podatke iz prikupljenih alternativa. Nakon definiranja težina možemo u tablicu odlučivanja dodati i redak koji sadrži težine pojedinih kriterija.

Tablica 2: Tablica odlučivanja s težinama (Izrada autora prema: Sikavica i sur., 2014)

	$f_1()$	$f_2()$	...	$f_k()$
	w_1	w_2	...	w_k
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	...	$f_k(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	...	$f_k(a_2)$
...
a_n	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$	...	$f_k(a_n)$

4.1.5. Određivanje pozitivnog i negativnog idealnog rješenja

Koristeći tablicu odlučivanja lako se može odrediti pozitivno i negativno idealno rješenje što je neophodno za nastavak provođenja TOPSIS-a. To se čini tako da se u skup pozitivnog idealnog rješenja a^* ubace najbolje vrijednosti svakog kriterija iz odabranih alternativa: [11]

$$a^* = (f_1^*, f_2^*, \dots, f_k^*)$$

U slučaju da se radi o kriterijima koristi najbolje vrijednosti su $f_j^* = \max f_i(a_n)$, dok su u slučaju troškovnih kriterija to vrijednosti $f_j^* = \min f_i(a_n)$.

Isto tako, skup negativnog idealnog rješenja a^- sastoji se od najgorih vrijednosti svakog kriterija:

$$a^- = (f_1^-, f_2^-, \dots, f_k^-)$$

a^- se sastoji se od elemenata $f_j^- = \min f_i(a_i)$ ako je riječ o kriterijima koristi, odnosno $f_j^- = \max f_i(a_i)$ u slučaju kriterija troška. [11]

Ovim postupkom određeno je pozitivno i negativno idealno rješenje, pa se može mjeriti udaljenost pojedinih alternativa od ta dva idealna rješenja. Treba napomenuti da su ona fiktivna, odnosno ne postoji ni jedna alternativa čije vrijednosti kriterija odgovaraju pozitivnom ili negativno rješenju, već se stvorene kombinacijom obilježja više alternativa. Kada bi takva rješenja postojala ne bi bilo potrebe za provođenjem višekriterijskog odlučivanja nego bi se odmah odabralo idealno rješenje. [1]

4.1.6. Izračunavanje udaljenosti od idealnih rješenja

Sljedeći korak TOPSIS metode je računanje udaljenosti pojedinih alternativa od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja. Te udaljenosti potrebne su jer se na temelju njih rangiraju alternative.

Kod mjerenja udaljenosti točaka u višedimenzionalnom vektorskom prostoru primjenjuje se funkcija koja se naziva metrika Minkowskog. Prema njoj se udaljenosti između dvije točke $A = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ i $B = (y_1, y_2, \dots, y_k)$ računa pomoću izraza [11]

$$d_p(A, B) = \left(\sum_{i=1}^k |x_i - y_i|^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

gdje je $p \geq 1$ parametar za koji se obično uzimaju vrijednosti 1, 2 i ∞ . Pomoću prethodne formule dobivaju se različite vrijednosti ovisno o vrijednosti parametra p .

Za $p = 1$ udaljenost zapravo predstavlja zbroj apsolutnih vrijednosti razlika po svim koordinatama. Metrika Minkowskog za $p = 1$ često se naziva i Manhattan metrikom jer je taj dio New Yorka podijeljen u blokove koji nalikuju koordinatnoj mreži. Zbog toga je put između dvije točke na Manhattanu moguće prijeći samo kretanjem po svim koordinatama, odnosno ulicama. Formula udaljenosti između dvije točke po metrici Minkowskog za $p = 1$ je: [11]

$$d_1(A, B) = \sum_{i=1}^k |x_i - y_i|$$

Za $p = 2$ metrika Minkowskog predstavlja udaljenost u geometrijskom smislu, a to je duljina najkraćeg puta između dvije točaka. Naziva se euklidskom udaljenošću po grčkom matematičaru Euklidu koji se bavio promatranjem veze između kutova i udaljenosti. Formula udaljenosti između dvije točke po metrici Minkowskog za $p = 2$ je: [11]

$$d_2(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2}$$

Treća vrijednost parametra p koja se često uzima u razmatranje je ∞ , i u tom slučaju naziva se Čebiševljevom mjerom udaljenosti. Što se više p povećava, udaljenost $d_p(A, B)$ sve se više približava apsolutnoj vrijednosti najveće razlike po bilo kojoj koordinatnoj dimenziji, stoga vrijedi: [11]

$$d_\infty(A, B) = \max_i |x_i - y_i|$$

Poznavanje sva tri oblika metrike Minkowskog za izračun udaljenosti važno je jer se svi koriste u TOPSIS metodi.

Za vrednovanje alternativa potrebno je izračunati udaljenost svih kriterija svake alternative od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja. Udaljenost alternative a_n od negativnog idealnog rješenja, mjerena po metrici p , označava se s $d_p^-(a_n)$, a njezina udaljenost od pozitivno idealnog rješenja s $d_p^+(a_n)$. Kako bi se odredila alternativa koja je najbliža pozitivnom idealnom rješenju a^+ , a istovremeno najudaljenija od negativnog idealnog rješenja a^- , potrebno je definirati funkciju: [11]

$$D_p(a_n) = \frac{d_p^-(a_n)}{d_p^+(a_n) + d_p^-(a_n)}$$

Za svaku alternativu ova mjera udaljenosti od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja ima vrijednost između 0 i 1, a najbolja alternativa je ona za koju funkcija D_p poprima najveću vrijednost. U slučaju da je potrebno napraviti rang-ljestvicu alternativa, ona će se formirati po opadajućim vrijednostima funkcije D_p . [11]

S obzirom da prethodno dobivene vrijednosti uvelike ovise o vrijednosti parametra p , odnosno o obliku primijenjene metrike Minkowskog, pojavio se problem konzistentnosti tako dobivenih rješenja. Potencijalno rješenje tog problema je kombinacija različitih vrijednosti parametra p kojom se dobiva jedinstvena mjera udaljenosti. Ta linearna kombinacija definira se kao: [11]

$$D = \lambda_1 D_1 + \lambda_2 D_2 + \lambda_3 D_\infty$$

pri čemu vrijednosti koeficijenata λ_n , $n = 1,2,3$ predstavljaju težinske koeficijente funkcijskih vrijednosti D_p koje ovise o ukupnom broju kriterija koji se promatraju, kao što se može vidjeti u tablici 3:

Tablica 3: Koeficijenti za računanje vrijednosti D (Izrada autora prema: Sikavica i sur., 2014)

Broj kriterija	λ_1	λ_2	λ_3
1	0,3333	0,3333	0,3333
2	0,4113	0,3147	0,2741
3	0,4673	0,2992	0,2335
4	0,5098	0,2861	0,2041
5	0,5437	0,2747	0,1816

6	0,5717	0,2647	0,1636
7	0,5951	0,2559	0,1490
8	0,6154	0,2479	0,1367
9	0,6328	0,2407	0,1267
10	0,6479	0,2342	0,1179

Može se primijetiti kako s povećavanjem broja kriterija dolazi do smanjenja koeficijenata za $p = 2 (\lambda_2)$ i $p = \infty (\lambda_3)$, dok se koeficijent za $p = 1 (\lambda_1)$ povećava. Također, očito je da se s povećanjem broja kriterija koeficijent λ_2 manjim intenzitetom smanjuje nego λ_3 .

Te koeficijente izračunao je jedan od kreatora TOPSIS metode Yoon usporedivši rezultate dobivene različitim p metrikama Minkowskog. Prema njegovim izračunima $p = 1$ metrika s najvećom preciznošću određuje udaljenost, dok je za $p = \infty$ ta preciznost najmanja. Ta razlika u vjerodostojnosti dobivenih rezultata se s povećanjem broja kriterija znatno povećava. Iz toga proizlazi da koeficijent λ_1 ima najveću vrijednost, λ_2 nešto manju, a λ_3 najmanju, pogotovo s povećanjem broja kriterija. [16]

4.1.7. Donošenje konačne odluke

Nakon što je izračunata vrijednost funkcije D_p za svaku alternativu koja se vrednuje, formira se rang-lista alternativa. Kao što je prethodno spomenuto, u toj listi alternative su poredane po opadajućoj vrijednosti D_p , što znači da će alternativa s najvećom vrijednosti biti na prvom mjestu. Ta alternativa ujedno je i najbolje rješenje, jer je najbliža pozitivnom idealnom rješenju, a istovremeno i najudaljenija od negativnog idealnog rješenja. U slučaju da se kao rješenje traži samo jedna alternativa, odabire se ona koja se nalazi na prvom mjestu rang-ljestvice, dok se u slučaju da se traži određeni broj (n) alternativa, odabire prvih n s rang-ljestvice koje će donositelji odluke dodatno analizirati ukoliko je potrebno.

4.2. Prednosti i nedostaci metode TOPSIS

Nakon opisivanja algoritma metode, u ovom poglavlju opisati ću glavne prednosti i nedostatke metode TOPSIS. Iako je često korištena kod problema višekriterijskog odlučivanja i ima dosta prednosti, TOPSIS metoda ima i neke nedostatke zbog kojih nije ne može biti univerzalna metoda višekriterijskog odlučivanja. Prednosti i nedostatke bitno je poznavati kako bi znali koja metoda je najprikladnija za određenu situaciju.

4.2.1. Prednosti

Najznačajnije prednosti korištenja metoda TOPSIS su:

- Kod provođenja metode u potpunosti se koriste svi dostupni podaci o alternativama [12]
- Podaci ne moraju nužno biti neovisni [12]
- Proces izračuna relativno je jednostavan u usporedbi s drugim metodama pa se i do rezultata može brzo doći [12]
- Matematička pozadina algoritma je racionalna i lako razumljiva [12]
- Metoda može biti efikasna i kod većeg broja evaluiranih kriterija i alternativa, iako će provedba metoda biti dugotrajnija [18]
- Zbog svoje jednostavnosti lako se može proširivati i koristiti na širokom spektru problema [18]

4.2.2. Nedostaci

Glavni nedostaci TOPSIS-a su sljedeći:

- Velika odstupanja jednog indikatora od idealnog rješenja može imati velik utjecaj na konačni rezultat [12]
- Pretpostavlja da su svi kriteriji neovisni jedni o drugima, što za posljedicu može imati neprecizne rezultate provedbe metode [12]
- Velika osjetljivost na promjene težina kriterija koje su često subjektivne [19]
- Korisnost nekog kriterija ne mora se uvijek monotono povećavati s povećanjem njegove vrijednosti, često postoji određena vrijednosti iznad koje ne postoji dodatno povećanje korisnosti [19]
- S obzirom da se metoda temelji na Euklidskoj udaljenosti, predznak vrijednosti ne utječe na konačni rezultat [12]
- Efikasnost metode ovisi o odabiru pozitivnog i negativnog idealnog rješenja jer ona imaju velik utjecaj na konačni rezultat [12]
- Izračun se bazira na udaljenosti svake alternativa od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja, ali relativna važnost tih udaljenosti ne uzima se u obzir [7]

5. Usporedba metoda VIKOR i TOPSIS

Metode višekriterijskog odlučivanja VIKOR i TOPSIS temelje se na agregirajućoj funkciji koja predstavlja udaljenost od idealnog rješenja, koje je kao ideja proizašlo iz metode kompromisnog programiranja. [7] S obzirom na to, može se zaključiti da ove dvije metode imaju mnoge sličnosti, a uglavnom se i koriste za slične probleme. Ipak, algoritmi ovih metoda imaju i dosta različitosti koje ću opisati u nastavku. U ovom poglavlju usporedit ću metode VIKOR i TOPSIS po ključnim koracima u njihovoj provedbi.

5.1. Ulazni podaci

Prvi korak kod obje metode je isti, a to je definiranje ulaznih podataka. Prvo se definira skup alternativnih rješenja A koja će se rangirati, a zatim i skup kriterija F koji će se koristiti pri odlučivanju. Sljedeći korak je formiranje tablice odlučivanja koja sadrži sve alternative i njihove vrijednosti po svakom pojedinom kriteriju.

5.2. Idealna rješenja

Sljedeći korak u provedbi obje metode je određivanje idealnih rješenja. Iako je u prethodnim poglavljima pri opisivanju algoritma TOPSIS ovaj korak naveden nešto kasnije, nakon normalizacije i određivanja težina, to nema utjecaja na konačan rezultat. U obje metode ovaj korak je isti. Za pronalazak najboljeg rješenja traže se najveće vrijednosti kod kriterija koristi i najmanje vrijednosti kriterija troška. Kombinacija svih tih vrijednosti čini pozitivno idealno rješenje. Suprotno tome, negativno idealno rješenje sadrži najveće vrijednosti kriterija troška i najmanje vrijednosti kriterija koristi.

5.3. Normalizacija

Nakon određivanja idealnih rješenja slijedi normalizacija. Normalizacije je neizostavan dio obje metode kojom se eliminiraju mjerne jedinice i sve vrijednosti svode na raspon od 0 do 1. Metoda VIKOR koristi linearnu normalizaciju, a normalizirane vrijednosti ne ovise o mjernoj jedinici kriterija. Originalna verzija metode TOPSIS koristila je vektorsku normalizaciju, a to je značilo da normalizirana vrijednost može biti različita ovisno o mjernoj jedinici pojedinog kriterija. Kasnije verzije TOPSIS-a uvode linearnu normalizaciju čime se ovaj problem rješava, a linearna normalizacija korištena je i u ovom radu kod provođenja metode TOPSIS. [7]

5.4. Određivanje težina

Određivanje relativnih težina ili pondera podrazumijeva određivanje važnosti pojedinih kriterija u odnosu na druge. Vrlo je bitan korak za obje metode jer mala razlika u vrijednosti težina znatno utječe na krajnje rezultate. S obzirom na to, određivanje težina zaseban je problem kojem se često posvećuje dosta pozornosti.

Postoji više metoda kojima se određuje težina kriterija, ali i TOPSIS i VIKOR dopuštaju korištenje raznih metoda u tu svrhu. Ako se to uzme u obzir, provedba TOPSIS-a i VIKOR-a može se razlikovati ako se za njihovu provedbu odaberu različite metode ponderiranja.

5.5. Agregirajuća funkcija

Jedan od najvažnijih aspekata po kojem se metode VIKOR i TOPSIS razlikuju je sama agregirajuća funkcija, odnosno algoritam kojim se svi relevantni podaci objedinjuju u jednu vrijednost. Taj algoritam je u prethodnim poglavljima gdje se opisuju postupci ovih metoda podijeljen u više koraka, ali ovdje je radi lakšeg uspoređivanja objedinjen.

Kao što je prethodno spomenuto, algoritmi obje metode temelje se na izračunavanju udaljenosti pojedine alternative od najboljeg i najgoreg rješenja. Svaka metoda koristi drugačiji oblik agregirajuće funkcije L_p -metrike za rangiranje alternativa, a one su detaljnije opisane u prethodnim poglavljima.

VIKOR kao mjere udaljenosti od idealne točke koristi metode kompromisnog programiranja. Na temelju kombinacije vrijednosti udaljenosti od pozitivnog (QS_j) i negativnog (QR_j) idealnog rješenja se radi izračun rangova alternativa. Udio QS_j i QR_j u konačnom rješenju Q_j ovisi o vrijednosti v koje ću se dotaknuti nešto kasnije.

S druge strane, TOPSIS za izračun udaljenosti koristi funkciju koja se naziva metrika Minkowskog, a zapravo se temelji na Euklidskoj udaljenosti. Metrika Minkowskog ima 3 oblika, tako da se svaka udaljenost računa na sva tri načina. Ti oblici ovise o parametru p koji poprima vrijednosti 1, 2 i ∞ . Tako izračunate udaljenosti od pozitivnih i negativnih idealnih rješenja se objedinjuju uvrštavanjem u funkciju čiji je rezultat D_p . Naposlijetku, kako bi se sve tri metrike Minkowskog objedinile, koriste se koeficijenti λ koji se množe sa svakim od triju vrijednosti. Vrijednost koeficijenta λ ovisi o kojoj se metrici radi, točnije o parametru p , ali i o broju kriterija koji se koriste pri odlučivanju.

Osim toga, kod izračuna VIKOR metode koristi se veličina v koja predstavlja težinu strategije odlučivanja. Ta veličina zapravo izražava važnost ispunjenja svih kriterija. U slučaju da se želi dati prednost ispunjenju većine kriterija uzima se $v > 0.5$, a u slučaju da moraju biti ispunjeni baš svi kriterija definira se da je $v < 0.5$. TOPSIS metoda nema ekvivalentnu veličinu u svom algoritmu, već taj problem pokušava riješiti korištenjem n -dimenzionalne Euklidske udaljenosti, koja sama po sebi predstavlja nekakvu ravnotežu između ispunjenja dijela ili svih uvjeta. [7]

Još jedna razlika koju vrijedi spomenuti je vezana uz rangiranje alternativa. Kod metode VIKOR alternative su rangirane po rastućoj vrijednosti Q_j , tako da prvorangirano alternativno rješenje ima najmanju vrijednost. Kod TOPSIS je suprotno, alternative su rangirane po padajućoj vrijednosti D , pa će alternativa na prvom mjestu imati najveću vrijednost. Ova razlika rezultat je drugačijih algoritama, odnosno agregirajućih funkcija ovih dviju metoda.

5.6. Kompromisno rješenje

Najznačajnija razlika između dviju metoda pri odabiru krajnjeg kompromisnog rješenja je činjenica da TOPSIS ni na koji način zasebno ne uvažava relativnu važnost udaljenosti od najboljeg ili najgoreg rješenja, već samo krajnju vrijednost D koja je kombinacija tih dviju udaljenosti. Kod VIKOR-a to nije slučaj, jer se vrijednosti QS_j i QR_j , koje predstavljaju udaljenosti alternative a_j od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja, uz njihovu objedinjenu veličinu Q_j , razmatraju po završetku provedbe metode i utječu na odabir konačnog rješenja. Mogućnost uvida u ove veličine od strane donositelja odluke vrlo je bitna jer često može imati značajan utjecaj na konačnu odluku. Upravo iz tog razloga moglo bi se reći da je VIKOR po tom pitanju nešto „naprednija“ metoda od TOPSIS-a. [7]

Rezultat obje metode je rang lista alternativnih rješenja. Najviše rangirana alternativa prema VIKOR-u je i najbliža idealnom rješenju. S druge strane, alternativa koja je prvorangirana kod metode TOPSIS nije nužno najbliža idealnom rješenju. [7]

Osim toga, kod VIKOR metode pri rangiranju alternativa uvodi se „dostatna prednost“, kojom se određuje je li vodeća alternativa dovoljno bolja od ostalih da bi bila izabrana kao konačno rješenje. Na taj se način osigurava da alternative koje nisu na prvom mjestu rang ljestvice, ali su vrlo blizu, ne budu zanemarene već ih se može razmatrati kao potencijalno rješenje. Kod TOPSIS-a ne postoji ekvivalent tome. [7]

Ovisno o rezultatima provedbe metoda, VIKOR kao kompromisno rješenje može predložiti jednu ili više alternativa. U slučaju da se radi o skupu alternativa, donositelj odluke može na temelju svojih procjena odabrati jednu od alternativa ili može uvesti nove kriterije te ponovno provesti analizu metodom VIKOR. Kod TOPSIS-a kompromisno rješenje je najčešće samo jedno, ali postoji mogućnost odabira skupa rješenja između kojih donositelji odluke mogu birati.

S obzirom na velik utjecaj težina kriterija na krajnji rezultat, obje metode dopuštaju mijenjanje vrijednosti težina kako bi ispitale njihov utjecaj na dobiveno kompromisno rješenje. VIKOR ovdje uvodi pojam intervala stabilnosti kompromisnog rješenja koji označava raspon vrijednosti težina koje ne utječu na mijenjanje krajnjeg rezultata. Analiza intervala stabilnosti za jedan kriterij provodi se za sve kriterijske funkcije, i to s istim inicijalnim vrijednostima težina.

5.7. Tablica usporedbe

U tablici 4 koja se nalazi ispod ovog teksta ukratko su opisani svi ključni koraci obje metode, stoga ona može služiti kao skraćeni prikaz svih sličnosti i razlika VIKOR-a i TOPSIS-a.

Tablica 4: Usporedba metoda VIKOR i TOPSIS (Izvor: vlastita izrada autora)

Korak	VIKOR	TOPSIS
Ulazni podaci	Skup alternativa označava se kao $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, a skup kriterija kao $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$	Skup alternativa označava se kao $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, a skup kriterija kao $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$
Idealna rješenja	Za najbolje rješenje traže se najveće vrijednosti kod kriterija koristi i najmanje vrijednosti kriterija troška, za najgore suprotno	Za najbolje rješenje traže se najveće vrijednosti kod kriterija koristi i najmanje vrijednosti kriterija troška, za najgore suprotno
Normalizacija	Koristi linearnu normalizaciju	Originalna verzija metode koristila je vektorsku normalizaciju, dok kasnije verzije uvode linearnu normalizaciju
Određivanje težina	Dopušta se korištenje raznih metoda određivanja težina, neke od njih su	Za ponderiranje se mogu koristiti razne metode, najčešće SWING

	Delfi, SWING i metoda entropije	
Udaljenost od idealnih rješenja	<p>Udaljenost točke od idealnih rješenja računa se kao:</p> $S_j = \sum_{i=1}^n w_i d_{ij}$ $R_j = \max_i [w_i d_{ij}]$ <p>za sve $j \in [m]$, gdje je S_j mjera udaljenosti j-te alternative od idealnog rješenja, a R_j mjeru udaljenosti j-te alternative od najgoreg mogućeg rješenja, a w_i označava težinu i-tog kriterija. Ako se s f_i^* označi vrijednost najbolje, a s f_i^- vrijednost najlošije alternative s obzirom na kriterij i, onda se d_{ij} može odrediti kao:</p> $d_{ij} = \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-}$	<p>Za udaljenost od idealnih rješenja koristi se metrika Minkowskog. Po njoj se udaljenost između dvije točke $A = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ i $B = (y_1, y_2, \dots, y_k)$ računa pomoću izraza</p> $d_p(A, B) = \left(\sum_{i=1}^k |x_i - y_i|^p \right)^{\frac{1}{p}}$ <p>gdje je p parametar za koji se obično uzimaju vrijednosti 1, 2 i ∞. U skladu s time svaka udaljenost računa se na tri načina i obično rezultira s tri različite vrijednosti</p>
Izračun rangova alternativa	<p>Uz pomoć udaljenosti od idealnih rješenja (S_j i R_j) izračunava se</p> $S^* = \min_j S_j, \quad S^- = \max_j S_j$ $R^* = \min_j R_j, \quad R^- = \max_j R_j$ <p>a zatim i:</p> $QS_j = \frac{S_j - S^*}{S^- - S^*}$ $QR_j = \frac{R_j - R^*}{R^- - R^*}$ $Q_j = v \cdot QS_j + (1 - v) \cdot QR_j$ <p>za sve $j \in [m]$.</p>	<p>Udaljenosti od najboljeg i najgoreg rješenja objedinjuju se u jednu vrijednost sljedećom funkcijom:</p> $D_p(a_n) = \frac{d_p^-(a_n)}{d_p^*(a_n) + d_p^-(a_n)}$ <p>Gdje je $d_p^-(a_n)$ Udaljenost alternative a_n od negativnog idealnog rješenja, mjerena po metrici p, a udaljenost od pozitivno idealnog rješenja s $d_p^*(a_n)$. Nakon toga se dobivene vrijednosti uvrstavaju u:</p> $D = \lambda_1 D_1 + \lambda_2 D_2 + \lambda_3 D_\infty$ <p>pri čemu vrijednosti koeficijenata λ_n, $n = 1, 2, 3$ predstavljaju težinske koeficijente funkcijskih vrijednosti D_p koje ovise o ukupnom broju kriterija</p>

		koji se promatraju
Težina strategije odlučivanja	Pri izračunu veličine Q_j , koja je ključna za rangiranje alternative, koristi se težina strategije odlučivanja (v) koja predstavlja važnost ispunjenja svih kriterija pri odabiru rješenja. U slučaju da se želi dati prednost ispunjenju većine kriterija, bez obzira na to hoće li neki kriterij biti neispunjen, uzima se $v > 0.5$, a u slučaju da moraju biti ispunjeni baš svi kriteriji definira se da je $v < 0.5$	Ne postoji veličina koja bi bila ekvivalent veličini v u VIKOR-u, već taj problem pokušava riješiti korištenjem višedimenzionalne Euklidske udaljenosti, koja sama po sebi predstavlja nekakvu ravnotežu između ispunjenja dijela ili svih uvjeta
Određivanje kompromisnog rješenja	Za kompromisno rješenje predlaže se alternativa s najmanjim vrijednostima Q_j , QS_j i QR_j , ako ima dostatnu prednost nad sljedećom alternativom. QS_j i QR_j , koje predstavljaju udaljenosti alternative a_j od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja se razmatraju po završetku provedbe metode i uvelike utječu na odabir konačnog rješenja	Za kompromisno rješenje se predlaže alternativa s najvećom vrijednosti D . TOPSIS ni na koji način zasebno ne uvažava relativnu važnost udaljenosti od najboljeg ili najgoreg rješenja, već samo krajnju vrijednost D koja je kombinacija tih dviju udaljenosti.

6. Primjena metoda VIKOR i TOPSIS

U ovom poglavlju prikazat ću primjenu obje metode na istom primjeru, no prije toga ću definirati konkretni problem višekriterijskog odlučivanja i objasniti razloge zbog kojih sam odabrao alternative među kojima ću tražiti najbolju.

6.1. Definiranje problema

Primjer koji sam odabrao je problem pronalaska poslovnog prostora za malo poduzeće u Varaždinu. Odlučio sam se za rješavanje ovog problema jer sam praksu radio u poduzeću Yapanner koje se bavi računalnim programiranjem i donekle sam upoznat sa prilikama u tom poduzeću. Vlasnika Yapannera muči pronalazak novog adekvatnog poslovnog prostora, jer je sadašnji postao premali zbog širenja poslovanja tvrtke, pa time i većeg broja zaposlenih. S obzirom da većina zaposlenih živi u Varaždinu, razmatrat ću samo poslovne prostore s područja tog grada.

Pri traženju poslovnih prostora, odredio sam nekoliko nužnih uvjeta koje su morali zadovoljavati kako bih ih uopće razmotrio kao alternativna rješenja. Osim već spomenute lokacije u Varaždinu, ti uvjeti su:

- Veličina prostora između 50 m² i 150 m²
- Sanitarni čvor
- Dostupnost pouzdane internetske veze
- Dostupnost centralnog sustava grijanja (koje nije na struju ili drva)
- Mogućnost dugoročnog najma

Ispunjenje ovih uvjeta ocijenio sam nužnim za mogućnost nesmetanog odvijanja poslovanja. Izostanak nekog od ovih uvjeta takvo poslovanje potpuno onemogućuje ili je ispunjenje tog uvjeta previše dugotrajno, skupo ili složeno kako bi se isplatilo.

6.2. Definiranje kriterija

Kako bi se mogla prikupiti alternativna rješenja, u ovom slučaju poslovni prostori, između kojih će se birati najbolje, bitno je definirati kriterije na temelju kojih će se odlučivati. Odlučio sam da ću odluku donositi na temelju sljedećih 7 kriterija:

- Veličina prostora (kvadratura)
- Cijena najma
- Lokacija

- Energetski razred zgrade
- Razina uređenosti
- Kat
- Udaljenost od parkinga

U nastavku rada ću opisati svaki od odabranih kriterija i objasniti zašto smatram da su bitni pri odabiru poslovnog prostora.

S obzirom da je glavna svrha promjene lokacije Yapannera potraga za većim poslovnim prostorom, jedan od kriterija je veličina poslovnog prostora. Taj kriterij je tipa koristi, što znači da je više bolje, ali uz uvjet da je prostor veći od 50 i manji od 150 kvadratnih metara. Te brojke tako su definirane je trenutni poslovni prostor nešto manji od 40 m², dok s druge strane nema potrebe za prostorom većim od 150 m² jer Yapanner nema planove za skorim širenjem koji bi zahtijevalo tako velik prostor.

Sljedeći kriterij od velike važnosti za konačni odabir je cijena prostora. S obzirom da tvrtka trenutno ne planira investirati u kupovinu vlastitog poslovnog prostora, razmatraju se samo cijene najma prostora. Na raznim oglasima te su cijene definirane na drugačije načine, pa treba pojasniti da se ovdje uzima u obzir ukupni iznos mjesečnog najma prostora izražen u eurima. Kriterij cijene najma je kriterij troška, što znači da je cilj pronaći prostor sa što manjom cijenom.

Bitan kriterij je i lokacija poslovnog prostora. S obzirom da većina zaposlenih živi u Varaždinu, kao što je već spomenuto, i da tvrtka pretežito prakticira rad u uredu, jasno je i zašto je to važan kriterij. S obzirom da je privlačnost lokacije teško opisati brojkama, odlučio sam ovaj kriterij prikazati kao zračnu udaljenost od centra grada. S obzirom da je centar grada relativno širok pojam, a cilj je kod ovakvih izračuna biti što precizniji, mjerit ću udaljenost lokacija poslovnih prostora od ulaza u Gradsku vijećnicu Varaždin. Razlog iz kojeg sam odabrao Gradsku vijećnicu kao referentnu točku je njena lokacija na Trgu Kralja Tomislava u užem centru stare jezgre grada. Pretpostavka je da centar grada nije predaleko niti jednom zaposlenom ili potencijalnom klijentu, što nije nužno slučaj ako je lokacija poslovnog prostora udaljenija od centra. Također, poželjno je u blizini ureda imati razne sadržaje poput trgovina, pekara, restorana, kafića ili kioska, što je znatno češća pojava u centru grada. Udaljenost od centra je troškovni tip kriterija.

Sljedeći kriterij koji ću razmatrati je energetski razred građevine u kojoj se nalazi poslovni prostor. Energetski razred predstavlja pokazatelj energetskih svojstava zgrade, a ona se izražavaju pomoću godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za referentne klimatske podatke po jedinici površine zgrade. [4] Ovaj podatak nam je bitan jer sugerira koliko je teško prostor zagrijati (ali i ohladiti) na željenu temperaturu, što ima direktan utjecaj

na trošak režija ali i zadovoljstvo zaposlenika. Energetski razred zgrade može imati neku od sljedećih 8 vrijednosti: A+, A, B, C, D, E, F, G, gdje je A+ energetski vrlo učinkovita zgrada, a G vrlo neučinkovita zgrada. Ovi razredi sami po sebi nisu pogodni za provođenje metoda višekriterijskog odlučivanja jer nisu numerički izraženi, stoga ću ih pretvoriti u vrijednosti od 1 do 8, tako da je A+ jednak vrijednost 1, a G jednak vrijednosti 8. Time ću dobiti kvantitativni kriterij troška jer je manja vrijednost u ovom slučaju bolja od veće.

Razina uređenosti poslovnog prostora još je jedan bitan kriterij. Velika je prednost ako je prostor koji se iznajmljuje već na visokoj razini uređenosti, odnosno namještenosti, jer kao takav ne zahtijeva velike preinake pri premještanju ureda u njega. S druge strane, prostor koji nema namještaj, ili čak na njemu nisu ni građevinski radovi završeni, će zahtijevati još dosta novca i vremena kako bi se doveo u željeno stanje. Razinu uređenosti teško je kvantitativno odrediti, stoga ću se koristiti ocjenama od 1 do 10 kako bi odredio uređenost prostora, gdje je 1 najniži stupanj, a 10 najviši stupanj uređenosti. U tu ocjenu bit će uključeni razni faktori, primjerice postoji li parket, pločice, obojani zidovi, zatim izgled interijera i eksterijera, količina i kvaliteta namještaja u prostorijama i slično. Ovdje je riječ o kriteriju koristi jer je poželjna što viša ocjena.

Još jedan bitan kriterij je kat na kojem se poslovni prostor nalazi. Niži katovi uglavnom su poželjniji jer penjanje na više katove često nije praktično iz više razloga. Osim što zaposlenici više moraju pješati ili putovati dizalom do svojih ureda, viši katovi manje su pristupačni posjetiteljima, suradnicima, dostavljačima, a posebno je problematično premještanje namještaja ili nošenje bicikla do ureda u slučaju da ne postoji adekvatno spremište za bicikle u zgradi. Ovdje treba uzeti u obzir da je većina poslovnih prostora koji se razmatraju u zgradama koje su starije ili sa relativno malim brojem katova, što znači da nemaju dizala. Općenito, niži katovi mogu značiti veću izloženost buci, no s obzirom da je većina poslovnih prostora koji se razmatraju na nekom od prva tri kata, ta razlika u buci je gotovo zanemariva. Ovaj kriterij definitivno nije među najbitnijima, ali svejedno ga treba razmotriti. S obzirom da se teži nižim katovima, to jest prizemlju, razina na kojoj se ured nalazi izražena numerički je kriterij troška.

Sljedeći kriterij koji je dobro razmotriti jest udaljenost najbližeg besplatnog parkinga. S obzirom da mnogi zaposleni do ureda putuju autom, bitan faktor je postojanje besplatnih parking mjesta u blizini ureda, kako zaposleni, ali i potencijalni suradnici i klijenti, ne moraju parkirati daleko ili skupo plaćati parking. Ovo može biti posebno problematično u užem centru grada u kojem je zabranjen pristup automobilima, a parking mjesta se uglavnom plaćaju i teško je pronaći slobodno mjesto u blizini. Neki zaposlenici do ureda putuju i biciklom, pa se nameće i pitanje dostupnosti prostora za spremanje bicikala. Ipak, ovo je manji problem jer se bicikli u najgorem slučaju mogu držati i u uredu, posebno ako se uzme

u obzir da bi novi ured trebao biti znatno veći od sadašnjeg. Ovaj kriterij bit će izražen u metrima, a predstavljati će zračnu udaljenost od najbližeg parkirnog mjesta koje se ne plaća. U slučaju da zgrada u kojoj se nalazi poslovni prostor sadrži parking koji je namijenjen isključivo za zaposlene i posjetitelje, ta vrijednost bit će 0. Ovdje je riječ o kriteriju troška jer je poželjna što manja udaljenost od parkinga.

6.3. Definiranje alternativa

Nakon što sam definirao uvjete koje poslovni prostori moraju zadovoljavati i kriterije po kojima ću ih vrjednovati, potrebno je odabrati nekoliko alternativa koje su kandidati za najbolji mogući izbor. Odlučio sam se za 6 alternativa koje sam pronašao uz pomoć internetskih oglasnika. Vrijednosti pojedinih kriterija za svaku alternativu prikazane su u tablici 5.

Tablica 5: Tablica odlučivanja za odabir novog poslovnog prostora (Izvor: vlastita izrada autora)

	Kvadratura	Cijena	Lokacija	Energetski razred	Uređenost	Kat	Udaljenost parkinga
tip kriterija	max	min	min	min	max	min	min
jedinica	kvadratni metri	Euri (€)	kilometri	bodovi	bodovi	kat zgrade	metri
Alternativa 1	130,19	1350	0,66	3	5	0	0
Alternativa 2	84	444	1,47	5	6	3	25
Alternativa 3	80	800	1,21	4	4	0	100
Alternativa 4	50,4	693	1,31	4	7	1	0
Alternativa 5	97,5	1200	0,6	2	8	0	0
Alternativa 6	90	900	0,73	6	3	1	70

Pronalaskom alternativnih rješenja, odnosno poslovnih prostora koji su kandidati za novi ured Yapanera, može se krenuti s provođenjem metoda višekriterijskog odlučivanja VIKOR i TOPSIS čiji je cilj među njima pronaći najbolje moguće rješenje.

6.4. Definiranje ulaznih podataka

Kod primjene metoda VIKOR i TOPSIS prvi korak obično je definiranje ulaznih podataka. S obzirom da je odabrano šest alternativa koje će se rangirati, skup alternativnih rješenja može se definirati kao:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$$

Zatim se definira matrica F koja se sastoji od f_{ij} , što predstavlja vrijednost i – te kriterijske funkcije za alternativu a_j . Takva matrica zapravo je već prikazana u obliku tablice 4 na prethodnoj stranici, stoga se može prijeći na sljedeći korak, a to je određivanje pozitivnog idealnog rješenja. Pozitivno idealno rješenje označava se s f_i^* i sastoji se od najboljih vrijednosti svih alternativa za svaki kriterij. U slučaju da je riječ o kriteriju koristi najbolja vrijednost je ona najveća, dok je u slučaju kriterija troška ta vrijednost najmanja. Iz tablice odlučivanje može se zaključiti da su idealne vrijednosti za svaki kriterij sljedeće:

$$f_1^* = 130.19,$$

$$f_2^* = 444,$$

$$f_3^* = 0.6,$$

$$f_4^* = 2,$$

$$f_5^* = 8,$$

$$f_6^* = 0,$$

$$f_7^* = 0,$$

iz čega slijedi da je pozitivno idealno rješenje

$$f_i^* = \{130.19, 444, 0.6, 2, 8, 0, 0\}$$

6.5. Pretvorba kriterija

Sljedeći korak provedbe metoda VIKOR i TOPSIS je pretvorba svih kriterija u isti tip, u ovom slučaju u kriterije korisnosti. To se čini tako da sve vrijednosti kriterija koji nisu kriteriji korisnosti zamijenimo njihovim recipročnim vrijednostima, a kriterije korisnosti prepisemo. Rezultat postupka pretvorbe kriterija je vidljiv u tablici 6. Treba napomenuti da kod nekih kriterija kao što su kat i udaljenost od parkinga postoje vrijednosti 0, što onemogućuje izračun njihove recipročne vrijednosti. Kod takvih kriterija svim vrijednostima sam dodao 1, te

potom izračunao njihove recipročne vrijednosti. Time je ipak uspješno napravljena pretvorba kriterija bez značajnog utjecanja na vrijednosti i kredibilitet dotičnih kriterija.

Tablica 6: Tablica odlučivanja nakon pretvorbe kriterija (Izvor: vlastita izrada autora)

	Kvadratura	Cijena	Lokacija	Energetski razred	Uređenost	Kat	Udaljenost parkinga
Alternativa 1	130,19	0,00074	1,52	0,33	5	1	1
Alternativa 2	84	0,00225	0,68	0,2	6	0,25	0,038
Alternativa 3	80	0,00125	0,83	0,25	4	1	0,0099
Alternativa 4	50,4	0,00144	0,76	0,25	7	0,5	1
Alternativa 5	97,5	0,00083	1,67	0,5	8	1	1
Alternativa 6	90	0,00111	1,37	0,17	3	0,5	0,014

6.6. Normalizacija kriterija

Pretvorbom svih kriterija u isti tip stvoreni su preduvjeti za normalizaciju kriterija. Kao što je već prije spomenuto, normalizacija je nužna kako bi se vrijednosti mogle međusobno uspoređivati. Normalizacija se vrši tako da se svaka vrijednost dijeli sa najboljom vrijednošću istog kriterija, a s obzirom da su svi kriteriji pretvoreni u kriterije koristi, to će uvijek biti najveća vrijednost. Time će se dobiti tablica odlučivanja u kojoj su sve vrijednosti u rasponu od 0 do 1. Takve normalizirane vrijednosti mogu se vidjeti u tablici 7.

Tablica 7: Normalizirana tablica odlučivanja (Izvor: vlastita izrada autora)

	Kvadratura	Cijena	Lokacija	Energetski razred	Uređenost	Kat	Udaljenost parkinga
Alternativa 1	1	0,3289	0,9102	0,67	0,625	1	1
Alternativa 2	0,6452	1	0,4072	0,4	0,75	0,25	0,038
Alternativa 3	0,6145	0,5555	0,497	0,5	0,5	1	0,0099
Alternativa 4	0,3871	0,64	0,4551	0,5	0,875	0,5	1

Alternativa 5	0,7489	0,3689	1	1	1	1	1
Alternativa 6	0,6913	0,4933	0,8204	0,33	0,375	0,5	0,014

6.7. Određivanje težina kriterija

S obzirom da svi kriteriji nisu jednako značajni za donošenje odluke, potrebno je odrediti težine pojedinih kriterija. U tu svrhu koristit ću metodu SWING za koju pojednostavljeno možemo reći da se bazira na određivanju važnosti kriterija na temelju usporedbe svakog kriterija s najvažnijim kriterijem. SWING metoda detaljnije je bila opisana u prethodnim poglavljima, a često se koristi u obje metode.

Cijena je najvažniji kriterij pri odabiru novog poslovnog prostora za najam zbog direktnog utjecaja na uspješnost poslovanja tvrtke, pa tako kriterij cijena postaje referentna točka sa vrijednošću 1, tj. 100%. Kvadratura je sljedeći najvažniji kriterij jer je razlog traženja novog poslovnog prostora upravo premala kvadratura trenutnog ureda u kojem se nalazi Yapaner. Važnost kvadrature u odnosu na cijenu je 80%. Sljedeći najvažniji kriterij je lokacija, i njegova važnost u odnosu na cijenu je 50%. Slijede energetska razred sa 30% važnosti u odnosu na cijenu i uređenost prostora sa 25% važnosti u odnosu na najvažniji kriterij. Kat na kojem se nalazi poslovni prostor je sljedeći po važnosti s 15% važnosti u odnosu na cijenu, a posljednji po važnosti kriterij je udaljenost od parkinga sa 10% važnosti u odnosu na cijenu.

Sljedeći korak pri određivanju težina kriterija je zbrajanje relativnih vrijednosti kriterija u odnosu na težinu najvažnijeg kriterija. Time se dolazi do vrijednosti od 310%, odnosno 3.1. Zatim se izračunaju normalizirane vrijednosti težina svih kriterija tako da se podijele sa zbrojem svih vrijednosti, odnosno sa 3.1. Provedbom tog postupka dolazi se do vrijednosti koje se mogu vidjeti u tablici 8.

Tablica 8: Tablica s težinama kriterija (Izvor: vlastita izrada autora)

	Kvadratura	Cijena	Lokacija	Energetski razred	Uređenost	Kat	Udaljenost parkinga
Težina kriterija	0,26	0,32	0,16	0,10	0,08	0,05	0,03

6.8. Primjena metode VIKOR

Do ovog koraka metode VIKOR i TOPSIS nimalo se ne razlikuju, stoga tek od ovog poglavlja rad prati primjenu postupaka specifičnih za metodu VIKOR.

6.8.1. Izračun udaljenosti od idealnih rješenja

Nakon izračuna težina kriterija moguće je izračunati udaljenost svake alternative od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja, što će se kasnije koristiti za rangiranje alternativa. Udaljenost neke alternative od idealnih rješenja računa se pomoću formula:

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i d_{ij},$$
$$R_j = \max_i [w_i d_{ij}]$$

Primjena ovih formula rezultira vrijednostima koje možemo vidjeti u tablicama ispod ovog teksta.

Tablica 9: Tablica udaljenosti od pozitivnog idealnog rješenja (Izvor: vlastita izrada autora)

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
0,4415	0,5106	0,6999	0,6894	0,4074	0,6708

Tablica 10: Tablica udaljenosti od negativnog idealnog rješenja (Izvor: vlastita izrada autora)

R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
0,32	0,16	0,2120	0,26	0,3009	0,2416

Na temelju izračunatih vrijednosti može se doći i do vrijednosti S^*, S^-, R^*, R^- koje su potrebne za naknadne izračune, pa tako vrijedi

$$S^* = 0,4074$$

$$S^- = 0,6999$$

$$R^* = 0,16$$

$$R^- = 0,32$$

6.8.2. Izračun rangova alternativa

Uz pomoć prethodno izračunatih veličina moguće je odrediti veličine QS_j koja predstavlja udaljenost alternative od idealnog rješenja i QR_j koja je udaljenost od negativnog idealnog rješenja. Ove veličine detaljnije su objašnjene u prijašnjim poglavljima, a tablice 11 i 12 prikazuju izračunate vrijednosti QS_j i QR_j

Tablica 11: Tablica vrijednosti QS_j (Izvor: vlastita izrada autora)

QS_1	QS_2	QS_3	QS_4	QS_5	QS_6
0,1164	0,3529	1	0,964	0	0,9007

Tablica 12: Tablica vrijednosti QR_j (Izvor: vlastita izrada autora)

QR_1	QR_2	QR_3	QR_4	QR_5	QR_6
0	1	0,6753	0,375	0,1192	0,4899

Izračunom veličina QS_j i QR_j poznate su udaljenosti svake alternative od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja. S obzirom da se rang liste bazirane na tim veličinama naočigled znatno razlikuju, potrebno je uvesti i veličinu Q koja predstavlja mjeru udaljenosti od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja. Formula za izračun Q glasi:

$$Q_j = v \cdot QS_j + (1 - v) \cdot QR_j,$$

pri čemu v predstavlja težinu strategije odlučivanja. Za početnu vrijednost od v obično se uzima 0.5, a pri toj vrijednosti Q_j je zapravo aritmetička sredina QS_j i QR_j . Kasnije se dobiveni rezultati mogu provjeravati i za druge vrijednosti v kako bi se utvrdila stabilnost prvorangirane alternative. Opširnije o značenju veličine v već sam pisao u poglavlju o algoritmu VIKOR metode. U tablici 13 prikazane su izračunate veličine Q za sve alternative.

Tablica 13: Tablica vrijednosti Q_j (Izvor: vlastita izrada autora)

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
0,0582	0,0596	0,6695	0,6764	0,6953	0,8377

Nakon izračun veličine Q za sve alternative moguće je napraviti rangiranje alternativa koje se vidi u tablici 14.

Tablica 14: Tablica alternativa rangiranih po Q_j , QS_j i QR_j (Izvor: vlastita izrada autora)

Rang	Q_j	QS_j	QR_j
1.	Alternativa 1	Alternativa 5	Alternativa 1
2.	Alternativa 5	Alternativa 1	Alternativa 5
3.	Alternativa 4	Alternativa 2	Alternativa 4
4.	Alternativa 2	Alternativa 6	Alternativa 6
5.	Alternativa 6	Alternativa 4	Alternativa 3
6.	Alternativa 3	Alternativa 3	Alternativa 2

6.8.3. Određivanje kompromisnog rješenja

Sljedeći korak u provođenju algoritma VIKOR metode je određivanje kompromisnog rješenja. Smatra se da je prvorangirana alternativa dovoljno dobra ako:

1. ima dostatnu prednost (DQ) nad sljedećom alternativom
2. ako promjenom težina strategije odlučivanja (v) zadržava prvo mjesto

S obzirom da se jednostavnim izračunom može zaključiti da dostatna prednost, odnosno DQ , iznosi 0.2, jasno je da prvorangirana alternativa 1 nema dostatnu prednost nad sljedećom najboljom, alternativom 5. S obzirom da to, trenutno se ne može zaključiti da je prvorangirana alternativa uvjerljivo najbolja pa ne treba zanemariti drugu i treću alternativu na rang listi koje su blizu prvoj.

U ovakvoj situaciji potrebno je provjeriti ispunjava li prvorangirana alternativa barem jedan od sljedećih uvjeta:

- na prvoj je poziciji na rang listama dobivenim za vrijednosti $v = 0.25$ i $v = 0.75$
- na prvoj je poziciji na rang listi dobivenoj rangiranjem vrijednosti QS
- na prvoj je poziciji na rang listi dobivenoj rangiranjem vrijednosti QR

S obzirom da su rang liste po vrijednostima QS i QR već kreirane, zna se da prvorangirana alternativa ispunjava treći uvjet. U ovom slučaju može se nastaviti s validacijom prvorangirane alternative jer ona dovoljno čvrsto zadržava prvo mjesto.

Uvrštavanjem vrijednosti $v = 0.25$ i $v = 0.75$ u formulu za Q_j može se primijetiti da alternativno rješenje broj 1 ne zadržava prvo mjesto u oba slučaja. U skladu s time može se zaključiti da prvorangirana alternativa ne ispunjava prvi, a ni drugi uvjet potreban da bude najbolja alternativa. U ovakvom slučaju dolazi se do zaključka kako prvorangirana alternativa, iako ima određenu prednost nad ostalima, nije dovoljno bolja od ostalih alternativa, pa kompromisno rješenje može biti bilo koja alternativa.

S obzirom da je rezultat provedbe VIKOR metode skup alternativa koje čine sve evaluirane alternative, donositelju odluka se za kompromisno rješenje predlažu sve alternative iz skupa. Donositelj odluke može temeljem svojih procjena odabrati jednu od alternativa ili može uvesti nove kriterije te ponovno provesti analizu metodom VIKOR.

6.9. Primjena metode TOPSIS

Dobar dio koraka metoda VIKOR i TOPSIS se ne razlikuju, stoga ću u ovom poglavlju nastaviti s onim koracima koji su specifični za metodu TOPSIS, počevši od izračuna udaljenosti alternativa od idealnih rješenja, čiji se algoritam razlikuje od istog koraka VIKOR metode.

6.9.1. Ponderiranje vrijednosti

Kako bi se proveo izračun udaljenosti pojedinih alternativa od idealnih rješenja, prvo je potrebno ponderirati alternative težinama kriterija. Težine su već definirane i mogu se vidjeti u tablici 8, a ponderirane vrijednosti mogu se vidjeti ispod ovog ulomka u tablici 15. Osim ponderiranih vrijednosti, tablica prikazuje i pozitivno (a^*) i negativno (a^-) idealno rješenje.

Tablica 15: Ponderirana tablica odlučivanja (Izvor: vlastita izrada autora)

	Kvadratura	Cijena	Lokacija	Energetski razred	Uređenost	Kat	Udaljenost parkinga
Alternativa 1	0,26	0,1052	0,1456	0,067	0,05	0,05	0,03
Alternativa 2	0,1678	0,32	0,0652	0,04	0,06	0,0125	0,0011
Alternativa 3	0,1598	0,1778	0,0795	0,05	0,04	0,05	0,0003

Alternativa 4	0,1006	0,2048	0,0728	0,05	0,07	0,025	0,03
Alternativa 5	0,1947	0,118	0,16	0,1	0,08	0,05	0,03
Alternativa 6	0,1797	0,1579	0,1313	0,033	0,03	0,025	0,0004
a^*	0,26	0,32	0,16	0,1	0,08	0,05	0,03
a^-	0,1006	0,1052	0,0652	0,033	0,03	0,0125	0,0003

6.9.2. Izračun udaljenosti od idealnih rješenja

Nakon što su normalizirane vrijednosti i ponderirane, može se nastaviti sa sljedećim korakom, a to je izračun udaljenosti od idealnih rješenja metrikom Minkowskog koja je opisana u prethodnim poglavljima. Udaljenosti pojedinih alternativa od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja za $p = 1, 2$ i ∞ mogu se vidjeti u tablici 16.

Tablica 16: Udaljenosti od idealnih rješenja po metrikama Minkowskog (Izvor: vlastita izrada autora)

	Udaljenosti od $a^*(p)$			Udaljenosti od $a^-(p)$		
	1	2	∞	1	2	∞
Alternativa 1	0,2922	0,2198	0,2148	0,361	0,189	0,1594
Alternativa 2	0,3334	0,154	0,0948	0,3198	0,2272	0,2148
Alternativa 3	0,4426	0,2043	0,1422	0,2106	0,1038	0,0726
Alternativa 4	0,4468	0,2225	0,1594	0,2064	0,1136	0,0996
Alternativa 5	0,2673	0,2123	0,202	0,3859	0,1652	0,0948
Alternativa 6	0,4427	0,205	0,1621	0,2105	0,1164	0,0791

Izračunavanjem udaljenosti svake alternative od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja prema svakoj od tri metrike Minkowskog, preostaje te vrijednosti uvrstiti u funkciju

$$D_p(a_n) = \frac{d_p^-(a_n)}{d_p^*(a_n) + d_p^-(a_n)}$$

koja ih objedinjuje. Ova funkcija rezultira jedinstvenom mjerom udaljenosti od pozitivnog i negativnog idealnog rješenja za svaku metriku Minkowskog. Kako bi se vrijednosti za sve tri metrike objedinile potrebno ih je uvrstiti u linearnu kombinaciju

$$D = \lambda_1 D_1 + \lambda_2 D_2 + \lambda_3 D_\infty$$

pri čemu vrijednosti koeficijenata λ_n predstavljaju težinske koeficijente, a prikazani su u tablici 3. S obzirom da vrijednosti težinskih koeficijenata λ_n ovise o broju kriterija koji se koriste za provođenje TOPSIS metode, ovdje su korištene pripadajuće vrijednosti za 7 kriterija:

$$\lambda_1 = 0,5951, \lambda_2 = 0,2559, \lambda_3 = 0,1490$$

Izračunate prethodno spominjane vrijednosti mogu se vidjeti u tablici 17.

Tablica 17: Objedinjene mjere odaljenosti od idealnih rješenja (Izvor: vlastita izrada autora)

	D_1	D_2	D_∞	D
Alternativa 1	0,5528	0,4623	0,4260	0,5107
Alternativa 2	0,4894	0,5957	0,6936	0,5470
Alternativa 3	0,3223	0,3367	0,3377	0,3283
Alternativa 4	0,3160	0,3380	0,3845	0,3318
Alternativa 5	0,5908	0,4377	0,3196	0,5112
Alternativa 6	0,3221	0,3621	0,3279	0,3332

Posljednji stupac u tablici 17 prikazuje konačnu ocjenu udaljenosti pojedinih alternativa od idealnog rješenja. S obzirom da najbolje rangirana alternativa ima najveću, a najgora najmanju vrijednost, poredak alternativa od najbolje prema najgoroj je prikazan u tablici 18.

Tablica 18: Rang tablica alternativa prema TOPSIS-u (Izvor: vlastita izrada autora)

Rang	D
1.	Alternativa 2
2.	Alternativa 5
3.	Alternativa 1

4.	Alternativa 6
5.	Alternativa 4
6.	Alternativa 3

6.9.3. Donošenje odluke

Iz prethodne tablice vidi se da je prema veličini D prvorangirana alternativa 2. To znači da je ona najbolje rješenje jer je najbliža pozitivnom, i najudaljenija od negativnog idealnog rješenja. Ipak, ako se pomnije prouče vrijednosti iz tablice 16, može se zaključiti da su alternativna rješenja 5 i 1 vrlo blizu prvorangiranoj alternativi. To bi značilo da u slučaju da se kao rješenje traži skup koji čini više alternativa, alternative 5 i 1 bi vjerojatno uz alternativu 2 činile taj skup zbog malih razlike između njih. U slučaju da se kao rješenje traži samo jedna alternativa, odabire se alternativno rješenje koje zauzima prvo mjesto rang ljestvice, što je u ovom slučaju alternativa 2.

6.10. Usporedba rezultata metoda VIKOR i TOPSIS

Nakon što su metode VIKOR i TOPSIS provedene na praktičnom primjeru, preostaje usporediti dobivene rezultate. Pogledom na krajnje rang ljestvice za obje metode koje se nalaze u tablicama 13 i 17, lako se može zaključiti da dvije metode nisu dale iste rezultate. Prvenstveno, prvorangirane alternative kod VIKOR-a i TOPSIS-a nisu iste, ali i ostatak poretka se znatno razlikuje. Tako je kod VIKOR-a alternativa s najboljom ocjenom ona s brojem 1, iako ne zadržava čvrsto prvo mjesto pri promjeni nekih parametara izračuna. Kod TOPSIS-a je najbolje rangirana alternativa 2, iako su i alternative 5 i 1 vrlo blizu njoj. Zanimljivo je da alternativa 2 bez obzira na variranje parametra ν niti u kojem slučaju ne zauzima vrh ljestvice kod VIKOR metode. S obzirom na složenost i različitost algoritama ovih dviju metoda to nije toliko neobično, o čemu ću detaljnije pisati u nastavku rada. Također, složenost samog problema odabira novog poslovnog prostora koje zahtijeva sagledavanje raznih kriterija dodatno doprinosi različitosti rezultata ovisno o korištenom algoritmu.

7. Zaključak

Poslovno odlučivanje sastavni je dio upravljanja u bilo kojoj organizaciji i prisutno je u svim profesijama. Donositelji odluka svakodnevno se susreću sa problemima i izazovima, a uspjeh poslovanja ovisi o njihovom rješavanju tih problema. U mnogim situacijama iz stvarnog života, donositelji odluka suočavaju se sa složenim problemima kod kojih jedan kriterij nije dovoljan za procjenu alternativa. U slučajevima kada se odluke donose na temelju više faktora koriste se metode višekriterijskog odlučivanja koje pružaju strukturirani pristup takvom načinu odlučivanja. U takve metode spadaju i VIKOR i TOPSIS, čija je usporedba tema ovog rada.

Prije pisanja ovog rada poznao sam samo metodu TOPSIS jer se obrađuje u sklopu nastave na Fakultetu organizacije i informatike. S metodom VIKOR nisam bio upoznat, pa nisam niti znao što očekivati. Kroz postupno istraživanje i pisanje ovog rada uvidio sam da metode imaju dosta sličnosti i koriste se za rješavanje problema iz iste domene. Obje metode temelje se na izračunavanju udaljenosti pojedinih alternativnih rješenja od idealnog rješenja, samo se formule za izračun tih udaljenosti razlikuju.

Postoji nekoliko većih razlika između metoda VIKOR i TOPSIS. Jedna od njih je vezana uz različite oblike agregirajuće funkcije kod ovih metoda. TOPSIS ni na koji način ne uvažava relativnu važnost udaljenosti od najboljeg ili najgoreg rješenja, već samo krajnju vrijednost, dok kod VIKOR-a nije tako. Također, kod algoritma VIKOR metode postoji veličina v koja predstavlja težinu strategije odlučivanja, a zapravo izražava važnost ispunjenja svih kriterija, dok TOPSIS ne koristi ništa slično. Još jedna razlika je metoda normalizacije. U starijim verzijama TOPSIS je koristio vektorsku normalizaciju, a VIKOR koristi linearnu normalizaciju, što znatno utječe na krajnji rezultat. Kod vektorske normalizacije konačna normalizirana vrijednost može biti različita ovisno o mjernoj jedinici pojedinog kriterija, pa se u kasnijim verzijama TOPSIS uvodi linearna normalizacija. Još jedna bitna razlika je uvođenje „dostatne prednosti“ kod VIKOR-a kojom se osigurava da je prvorangirana alternativa dovoljno bolja od ostalih da bi bila izabrana kao konačno rješenje, dok takav pojam ne postoji kod metode TOPSIS.

Prethodno spominjane razlike između dviju metoda mogle su se vidjeti i na rezultatima njihove primjene. Iako su ulazni podaci isti, metode su na primjeru odabira novog poslovnog prostora dale različite rezultate.

Smatram da su obje metode vrlo korisne što dokazuje njihovo daljnje korištenje u poslovnom svijetu. Ipak, čini mi se da metoda VIKOR ima neke prednosti nad TOPSIS-om, prvenstveno jer donositelju odluka daje nešto više informacija na temelju kojih može odlučiti.

Popis literature

- [1] Babić, Z. (2017). *Modeli i metode poslovnog odlučivanja*. Split : Ekonomski fakultet
- [2] Belošević, I., Kosijer, M., Ivić, M., Pavlović, N. (2018). *Group decision making process for early stage evaluations of infrastructure projects using extended VIKOR method under fuzzy environment*. Preuzeto 25.8.2023. s <https://d-nb.info/1170897134/34>
- [3] Chu, T.C. (bez dat.) *Facility location selection using fuzzy TOPSIS under group decision*. International Journal of Uncertainty. Preuzeto 2.5.2023. s <https://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0218488502001739>
- [4] *Što je energetska razred zgrade?* (bez dat.) Preuzeto 6.5.2023. s <https://www.energetskocertificiranje.com.hr/sto-je-energetska-razred-zgrade/>
- [5] Kovačić, B. (2004). *Višekriterijsko odlučivanje u prometu*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti. Preuzeto 22.4.2023. s https://bkovacic.weebly.com/uploads/7/4/0/7/7407552/visekriterijsko_odlucivanje_u_prometu_-_magistarski_rad.pdf
- [6] Kosijer, M., Ivić, M., Marković, M., Belošević, I. (2012). *Višekriterijsko odlučivanje u planiranju i projektiranju trase željezničke pruge*. Beograd: Građevinar. Preuzeto 26.4.2023. s <https://hrcak.srce.hr/file/119589>
- [7] Opricović, S., Tzeng, G. (2002). *Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS*. Beograd: Faculty of Civil Engineering. Preuzeto 26.4.2023. s https://www.researchgate.net/publication/222403167_Compromise_solution_by_MCDM_methods_a_comparative_analysis_of_VIKOR_and_TOPSIS
- [8] Opricović, S. (2011). *Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning*. Preuzeto 12.5.2023. s <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417411006245>
- [9] Pavić, Z., Novoselec, V. (2013). *Notes on TOPSIS Method*. International Journal Of Engineering Research and General Science. Preuzeto 2.5.2023. s https://www.researchgate.net/publication/285886027_Notes_on_TOPSIS_Method
- [10] Salabun, W. (2013). *Normalization of attribute values in TOPSIS method*. Szczecin: West Pomeranian University of Technology. Preuzeto 2.5.2023. s https://www.researchgate.net/publication/257270622_Normalization_of_attribute_values_in_TOPSIS_method

- [11] Sikavica, P., Hunjak, T., Begičević Ređep, N., Hernaus, T. (2014). *Poslovno odlučivanje*. Zagreb: Školska knjiga.
- [12] Siksnyte-Butkiene, I., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D. (2020). *Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) for the Assessment of Renewable Energy Technologies in a Household: A Review*. Vilnius. Preuzeto 25.8.2023. https://www.researchgate.net/publication/339687475_Multi-Criteria_Decision-Making_MCDM_for_the_Assessment_of_Renewable_Energy_Technologies_in_a_Household_A_Review/link/5e5fb8a7299bf1bdb8524cbf/download
- [13] Urošević, K., Miljanović, I., Gligorić, Z., Beljić, Č. (2021). *Novel Methods in Multiple Criteria Decision-Making Process (MCRAT and RAPS)—Application in the Mining Industry*. Beograd. Preuzeto 6.5.2023. s https://www.researchgate.net/publication/354017614_Novel_Methods_in_Multiple_Criteria_Decision-Making_Process_MCRAT_and_RAPS-Application_in_the_Mining_Industry
- [14] Wei, J., Lin, X. (2008). *The Multiple Attribute Decision-Making VIKOR Method and Its Application*. Daqing: Daqing Petroleum Institute. Preuzeto 26.4.2023. s https://www.researchgate.net/publication/241156507_The_Multiple_Attribute_Decision-Making_VIKOR_Method_and_its_Application
- [15] Yazdani, M., Graeml, F. R. (2014). *VIKOR and its Applications: A State-of-the-Art Survey*. Madrid: International Journal of Strategic Decision Sciences, Preuzeto 22.4.2023. s https://www.researchgate.net/publication/266731774_VIKOR_and_its_Applications_A_State-of-the-Art_Survey
- [16] Yoon, K.P. (1987). *A reconciliation among discrete compromise solutions*, *Journal of the Operational Research Society*. Preuzeto 3.5.2023. s https://www.researchgate.net/publication/245279922_A_Reconciliation_Among_Discrete_Compromise_Solutions
- [17] Zimonjić, S., Đekić, M., Kastratović, E. (2018). *Application of VIKOR method in ranking the investment projects*. Beograd: Faculty for Business Economics and Entrepreneurship. Preuzeto 14.5.2023. s <https://media3.novi.economicsandlaw.org/2017/07/Vol22/IJEAL-22-011.pdf>
- [18] Zulqarnain, R. M., Saeed, M., Dayan, F. (2020). *Application of TOPSIS Method for Decision Making*. Preuzeto 2.5.2023. s https://www.researchgate.net/publication/342347772_Application_of_TOPSIS_Method_for_Decision_Making

- [19] Ozturk, D., Batukb, F. (2007). *Technique for order preference by similarity to ideal solution*. Preuzeto 25.8.2023. s [https://www.semanticscholar.org/paper/TECHNIQUE-FOR-ORDER-PREFERENCE-BY-SIMILARITY-TO-\(-\)-Ozturk-Batuk/290c545a712a367bfb17265e10c0b82c36ce68c3](https://www.semanticscholar.org/paper/TECHNIQUE-FOR-ORDER-PREFERENCE-BY-SIMILARITY-TO-(-)-Ozturk-Batuk/290c545a712a367bfb17265e10c0b82c36ce68c3)

Popis slika

Slika 1: Sastavnice procesa odlučivanja.....	3
Slika 2: Podjela odluka s obzirom na važnost za organizaciju	5

Popis tablica

Tablica 1: Tablica odlučivanja.....	20
Tablica 2: Tablica odlučivanja s težinama.....	23
Tablica 3: Koeficijenti za računanje vrijednosti D	25
Tablica 4: Usporedba metoda VIKOR i TOPSIS	31
Tablica 5: Tablica odlučivanja za odabir novog poslovnog prostora.....	37
Tablica 6: Tablica odlučivanja nakon pretvorbe kriterija.....	39
Tablica 7: Normalizirana tablica odlučivanja	39
Tablica 8: Tablica s težinama kriterija.....	40
Tablica 9: Tablica udaljenosti od pozitivnog idealnog rješenja	41
Tablica 10: Tablica udaljenosti od negativnog idealnog rješenja.....	41
Tablica 11: Tablica vrijednosti QS_j	42
Tablica 12: Tablica vrijednosti QR_j	42
Tablica 13: Tablica vrijednosti Q_j	42
Tablica 14: Tablica alternativa rangiranih po Q_j , QS_j i QR_j	43
Tablica 15: Ponderirana tablica odlučivanja.....	44
Tablica 16: Udaljenosti od idealnih rješenja po metrikama Minkowskog	45
Tablica 17: Objedinjene mjere odaljenosti od idealnih rješenja.....	46
Tablica 18: Rang tablica alternativa prema TOPSIS-u.....	46