

RANGIRANJE OPASNIH DIONICA CESTOVNE MREŽE MEĐIMURSKE ŽUPANIJE AHP METODOM

RANKING OF DANGEROUS SECTIONS OF ROAD NETWORK IN MEĐIMURJE COUNTY BY MEANS OF AHP METHOD

Goran KOS

Institut za turizam
Vrhovec 5, HR-10.000 Zagreb
goran.kos@iztg.hr

Dubravko MILOJEVIĆ

Institut za turizam
Vrhovec 5, HR-10.000 Zagreb
dubravko.milojevic@iztg.hr

Petar FELETAR

Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, HR-10.000 Zagreb
pfeletar@fpz.hr

Primljeno/Received: 10. 1. 2017.

Prihvaćeno/Accepted: 5. 6. 2017.

Izvorni znanstveni rad

Original scientific paper

UDK/UDC 656.11(497.5-35Čakovec)
614.8:656.1

SAŽETAK

U radu je prezentirana AHP metoda (Analitički hijerarhijski proces) višekriterijskog vrednovanja kao podloga ekspertnom odlučivanju na primjeru rangiranja opasnih mjesta cestovne mreže Međimurske županije. Radi se o jednoj od najpoznatijih metoda višekriterijske analize scenarija za donošenja složenih odluka konzistentnim ocjenjivanjem modela kojeg čine cilj optimizacije, scenarij, kriteriji i alternative. Rangiranje sigurnosno kritičnih dionica cestovne mreže je problem višekriterijskog odlučivanja koji uključuje kvalitativne i kvantitativne kriterije, a ima veliku važnost prilikom definiranja prioriteta saniranja opasnih mjesta na županijskoj cestovnoj mreži, te time značajnog povećanja sigurnosti svih sudionika cestovnog prometa. Za odabranu AHP metodu višekriterijskog vrednovanja prezentiran je primjer načina rješavanja rangiranja opasnih mjesta cestovne mreže Međimurske županije programskim alatom Expert Choice.

Ključne riječi: višekriterijsko vrednovanje i rangiranje, AHP metoda, kriteriji vrednovanja, Expert Choice, Međimurska županija, cestovni promet, sigurnost prometa

Ključne riječi: multi criteria assessment and ranking, AHP method, assessment criteria, Expert Choice, Međimurje County, road traffic, traffic safety

1. UVOD

Temeljem praćenja korištenja cestovne infrastrukture moguće je utvrditi kritična mjesta, sa stajališta prometne sigurnosti, na mreži i odrediti prioritete dionice koje je potrebno rekonstruirati, ili dopunom prometne signalizacije i opreme, bitno unaprijediti. Praćenjem i vrednovanjem najvažnijih cestovnih parametara stvaraju se kvalitetne podloge za ulaganje u unapređenje cestovne infrastrukture.

Danas se za pomoć pri izboru rješenja za složene probleme, kao što su problemi vezani uz izbor rješenja i prioriteta intervencija u cestovnu infrastrukturu, primjenjuju metode višekriterijske analize, a

koriste se kada treba provesti izbor između više mogućih rješenja temeljem većega broja kriterija koji se opisuju različitim kvantitativnim i kvalitativnim vrijednostima.

Donošenje odluka podrazumijeva uočavanje problema koji postoje na mreži, generiranje varijanti rješenja problema, te vrednovanje ili rangiranje rješenja. Nakon rangiranja, rješenja se provode, te se kasnije prate i analiziraju se dobiveni rezultati.

Cilj ovog rada je na primjeru pokazati kako je moguće unaprijediti kvalitetu odlučivanja u planiranju održavanja i rekonstrukcije prometne infrastrukture korištenjem znanstvenih metoda višekriterijske analize. Rad se temelji na stručnoj analizi sigurnosti cestovne mreže Međimurske županije u kojoj su evidentirane i obrađene prometne nesreće i nezgode temeljem podataka Ministarstva unutarnjih poslova Policijske uprave Međimurske, a na osnovu njih su utvrđene pozicije prometnih nesreća, te su nesreće kategorizirane.

Na cestovnim dionicama koje su iz različitih razloga potencijalno opasne, moguće je unaprijediti sigurnost prometa određenim regulacijskim mjerama, manjim građevinskim zahvatima, kao i uvođenjem sustava kontrole i upravljanja prometom. U dosadašnjoj praksi se odabir najopasnijih cestovnih dionica i prioritet njihove sanacije prepušta osobnoj procjeni građevinskih i prometnih inženjera koji planiraju, dizajniraju i prate prometni sustav.

Postojeća cestovna mreža Međimurske županije danas je već uglavnom prometno i građevinski zaokružena cjelina, tako da ona dosta uspješno obavlja svoju temeljnu funkciju. Unapređenja koja se očekuju u skorijoj budućnosti svoditi će se samo na izgradnju manjih dodatnih spojnih dionica, te na modernizaciju pojedinih sigurnosno kritičnih točaka.

Zadnjih godina osjetan je rast opterećenja važnijih cestovnih pravaca i dionica, a najopterećenije su glavne cestovne arterije urbanih središta i gradske obilaznice. Značajan dio tog prometa uzrokuju svakodnevna putovanja od kuće do radnog mjesta (i nazad), kao i druge standardne svrhe putovanja urbanog stanovništva Županije.

Dodatni, često vrlo veliki problemi u odvijanju prometa na cestovnoj mreži javljaju se tijekom razdoblja ljetne sezone, posebno u dane vršnih opterećenja (vikendima i praznicima tijekom srpnja i kolovoza), uzrokovane putovanjem stranih i domaćih turista prema najznačajnijim turističkim destinacijama na Jadranu, što povremeno dovodi do zastoja i zagušenja na najkritičnijim cestovnim dionicama.

Utvrđeno je kako su najčešći uzroci prometnih nesreća na županijskoj cestovnoj mreži vožnja pod utjecajem alkohola i neprilagođena brzina kretanja vozila u prometnom toku, a nepovoljni vremenski uvjeti često uzrokuju dodatne sigurnosne probleme na cestama, te povećavaju vjerojatnost nastajanja prometnih nesreća. Adekvatnom prometnom signalizacijom i kontinuiranom kontrolom brzine vozila na najkritičnijim dionicama može se osjetno unaprijediti sigurnost cestovnog prometa.

S težnjom da se zadovolje osnovni zahtjevi sigurnog funkcioniranja cestovnog sustava Županije, analizirane su i rangirane opasne cestovne dionice, kako bi se mogao definirati prioritet otklanjanja uzroka nastajanja prometnih nezgoda koji proizlaze iz građevinsko-prometnih karakteristika prometnice, a troškovno su prihvatljivi. Kriteriji kao što su broj i vrsta prometne nezgode na promatranoj dionici, intenzitet prometa, građevinske karakteristike pojedine cestovne dionice, te stanje prometne signalizacije značajno utječu na rangiranje alternativa.

2. VIŠEKRITERIJSKO VREDNOVANJE I RANGIRANJE AHP METODOM

Višekriterijsko odlučivanje (Multiple Criteria Decision Making – MCDM), ili pomoć višekriterijskom odlučivanju (Multicriteria Decision Aid – MCDA) je skup metoda koje omogućuju istovremeno korištenje više različitih kriterija kako bi se iz skupa alternativa odabrala optimalna s obzirom na zadanu funkciju cilja [1]. Takav način odlučivanja predstavlja jedan od modela iz područja operacijskih istraživanja kojima je cilj optimiziranje donošenja odluka za slučajeve kada postoji više kriterija i alternativa.

Metode višekriterijskog odlučivanja su razvijene kako bi pomogle nositeljima odlučivanja da si olakšaju razumijevanje unutarnje strukture problema, te na osnovu numeričkog postupka stvore pretpostavke za što objektivniju potporu donošenju odluka.

Višekriterijsko odlučivanje podrazumijeva postupak izbora optimalnog rješenja (alternative) u skladu s ciljem koji se želi postići, pomoću izabranih i ekspertno ocijenjenih kriterija koji se koriste u postupku optimizacije. Glavna značajka ovog načina odlučivanja je da donositelj odluke ne pokušava optimizirati definirani cilj pomoću jednog kriterija, već pomoću više kriterija nastoji naći optimalni odnos između više alternativa.

U ovom slučaju će se obraditi problem rangiranja sigurnosno najkritičnijih cestovnih dionica primjenom AHP metode (Analytic Hierarchy Process), a to je način višekriterijskog odlučivanja koji pruža mogućnost nositelju odlučivanja optimizirati proces donošenja odluke temeljem kvalitativnih ocjena pojedinih kriterija od strane više eksperata, te međusobnog uspoređivanja i vrednovanja alternativa.

Za objektiviziranje i rješavanje takvih problema nužno je koristiti neki od suvremenih softverskih alata, a za rangiranje opasnih cestovnih dionica na području Međimurske županije temeljem višekriterijske AHP analize, upotrijebljen je programski paket Expert Choice.

AHP je posljednjih godina jedna od najpoznatija metoda za višekriterijsko odlučivanje, kojom se definira hijerarhijska struktura prema kojoj je u samom vrhu cilj postupka vrednovanja, ispod su kriteriji i pod kriteriji, a na najnižoj razini hijerarhijske strukture nalaze se alternative (slika 1).

Metodologija primjene AHP višekriterijske analize sastoji se od sljedećih faza:

- definiranje cilja postupka vrednovanja,
- izbor kriterija,
- određivanje težine kriterija,
- ponuda alternative (moguća rješenja postupka vrednovanja),
- provođenje postupka vrednovanja alternativa temeljem svih primijenjenih kriterija,
- rangiranje rješenja i
- analiza osjetljivosti.

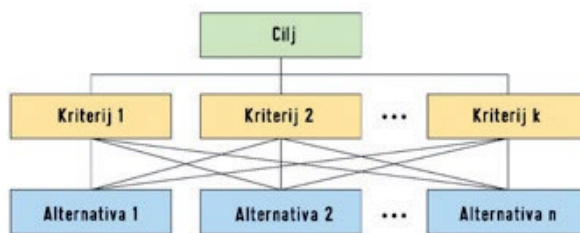
AHP metoda zasniva se na četiri aksioma [2]:

1. aksiom recipročnosti; ako je element A n puta značajniji od elementa B, tada je element B $1/n$ puta značajniji od elementa A,
2. aksiom homogenosti; usporedba ima smisla jedino ako su elementi usporedivi,
3. aksiom zavisnosti; dozvoljava se usporedba elemenata jedne razine u odnosu na element više razine, tj. usporedbe na nižim razinama zavise od elementa više razine i
4. aksiom očekivanja; govori da svaka promjena u strukturi hijerarhije zahtjeva ponovni postupak računanja prioriteta.

Metoda AHP koristi tablični zapis podataka za rangiranje alternativa, uspoređivanje alternativa obavlja se u parovima uspoređujući prednosti i nedostatke pojedinih alternativa, a kao konačni rezultat daje prioritete alternativa iskazane numerički.

Kriteriji za odabir određene alternative mogu imati različite vrijednosti pa im se stoga u računskom postupku dodjeljuju relativne težinske vrijednosti, a vrijednost pojedinih kriterija određuju se uspoređivanjem kriterija u parovima, odnosno ekspertno se ocjenjuje koliko je jedan kriterij važniji od drugoga. Utvrđene vrijednosti kriterija, stručne informacije, ekspertno znanje i ocjene mogu se pomoću AHP metode istovremeno razmatrati, mogu se uzeti u obzir i kvalitativni kriteriji, dok to kod drugih metoda višekriterijskog vrednovanja alternativa najčešće nije moguće.

AHP metoda ima nekoliko prednosti sa stajališta višekriterijskog odlučivanja, a jedna od glavnih prednosti je u sličnosti s načinom na koji čovjek rješava komplicirane probleme, pojednostavljujući ih na manje složene situacije. Nedostatak metode je u tome što se potreban broj usporedbi prilikom pri-



Slika 1. Osnovni AHP model višekriterijskog vrednovanja

premnog postupka značajno povećava u ovisnosti od broja kriterija i alternativa, što je najčešće dugotrajno, skupo i zahtjevno.

AHP je vrlo prikladna metoda višekriterijskog vrednovanja jer dozvoljava da se prilikom razmatranja složenih problema (više kriterija i velik broj alternativa) relativno lako pronađu odnosi između kriterija i alternativa, te da se prepozna njihov relativni utjecaj i značaj u realnom okruženju, kako bi se utvrdio prevladavajući utjecaj jednog kriterija u odnosu na drugi.

Utjecaj na funkciju cilja u modelu kojeg ima jedan kriterij u odnosu na ostale može se izraziti kvantitativnom ili kvalitativnom ocjenom. Prilikom usporedbe kriterija donositelj odluke može koristiti konkretne podatke, ili ekspertne prosudbe o relativnoj važnosti kriterija. Usporedba kvalitativno iskazanih kriterija se najčešće izvodi prema opisu odnosa kriterija iz tzv. Saaty-jeve skale [3].

Tablica 1. Saaty-jeva skala vrednovanja

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

Metodu je osmislio prof. dr. Thomas L. Saaty na Državnom Sveučilištu Pittsburg 1971. godine, a nakon više godina istraživanja i testiranja, cjelovitu AHP metodu je objavio 1980. godine [4].

2.2. Implementacija AHP metode

AHP metoda se sastoji od četiri osnovna koraka:

- formira se hijerarhijski model problema odlučivanja,
- na svakoj razini hijerarhijske strukture u parovima se međusobno uspoređuju elementi strukture (preferencije ekspertnih procjena izražavaju uz pomoć odgovarajuće Saaty-eve skale relativne važnosti),
- iz procjena relativnih važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture problema, pomoću odgovarajućeg matematičkog modela, izračunaju se lokalni prioriteti (težine) kriterija, pod kriterija i alternativa, koji se zatim sintetiziraju u ukupne prioritete alternativa i
- provodi se analiza osjetljivosti.

Kao što je već prikazano, hijerarhijski model odlučivanja sastoji se od cilja, kriterija, te alternativa. Zadani cilj (u ovom slučaju – rangirati najopasnije dionice cestovne mreže Međimurske županije - alternative) se postavlja na vrh hijerarhijske strukture, i ne uspoređuje se s nijednim drugim elementom. Moguća rješenja postupka višekriterijske optimizacije mogu biti različita, i ovisne, u prvome redu, o samom izboru i ekspertnoj ocjeni vrijednosti pojedinog kriterija koji prema zadanoj funkciji cilja utječu na rangiranje alternativa.

3. METODOLOGIJA PRIMJENE AHP METODE NA CESTOVNU MREŽU

3.1. Izbor kritičnih cestovnih dionica za rangiranje

Sigurnost cestovnog prometa ovisi o interakciji više čimbenika, ali statistika prometnih nezgoda svuda u svijetu pokazuje kako su neke cestovne dionice (ili točke) znatno opasnije od drugih, jer se na nekim mjestima tijekom vremena dogodi osjetno veći broj prometnih nezgoda nego inače na cestovnoj mreži. Prema istraživanjima na samo oko 10 posto ukupne duljine cestovne mreže nastaje do 90 posto svih nezgoda.

Informacije o broju, mjestu i vremenu nastajanja te tipu pojedine prometne nezgode su policijski očevidi prometnih nesreća, pa je na osnovu tih podataka bilo moguće izlučiti 15 sigurnosno najopasnijih dionica i čvorova cestovne mreže Međimurske županije. Opasna mjesta detektirana preko baze podataka, prostorno su svrstana u kategorije opasna raskrižja, opasne dionice te pojedinačna mjesta nezgoda.

3.2. Izbor i opis kriterija

Kako bi se mogao obaviti izbor između ponuđenih alternativa, tj. projektnih rješenja, bilo je potrebno utvrditi postavljena ograničenja, odnosno kriterije (kvalitativne i/ili kvantitativne) na temelju kojih će se izabrati optimalno rješenje. Značaj kvalitativnih kriterija se utvrđuje ekspertnom procjenom, jer nije moguće egzaktno prosuditi o važnosti jednog kvalitativnog kriterija naspram drugog, za razliku od kvantitativnih kriterija gdje su vrijednosti kriterija točno poznate.

Klasifikacija cestovnih dionica u kategorije prema njihovoj potencijalnoj nesigurnosti (što posredno omogućava identifikaciju njihove potrebe za određenim oblikom intervencije), ovisi o izboru i značaju kriterija kojima ulazimo u postupak višekriterijskog rangiranja. Svaki od kriterija ima u modelu različit ponder, neki su mjerljivi i podaci za njihovo ocjenjivanje su poznati, a druge znatno teže mjerimo, pa je stjecanje relevantnih podataka često skupo, komplicirano i dugotrajno. Uključeni su kriterije koje je moguće u realnom vremenu ocijeniti, odnosno one za koje su podaci već dostupni, ili se uz razumni vremenski i financijski angažman mogu dobiti. Kriteriji su:

1. *broj prometnih nesreća*, analiza prometnih nesreća na cestovnoj mreži Međimurske županije provedena je prema policijskim zapisnicima o prometnim nezgodama za vremensko razdoblje od 01.01.2010. do 31.12.2014. godine i dostupne GIS baze podataka. O svakoj prometnoj nezgodi korišteni su sljedeći podaci: vrste prometnih nesreća prema posljedicama, lokacija - mjesto nastajanja prometne nesreće, vrsta prometne nesreće, te okolnosti koje su prethodile nesreći,
2. *posljedice prometnih nesreća*; osnovni pokazatelji stanja sigurnosti cestovnog prometa na određenom području su broj prometnih nesreća i broj stradalih osoba u tim nezgodama u određenom razdoblju. Najbitniji pokazatelj sigurnosti cestovnog prometa jest broj poginulih osoba na sto tisuća stanovnika. Iako postoje različiti pristupi u izračunu tog pokazatelja zbog različitog načina određivanja koje se nastradale osobe ubrajaju u poginule u prometu (poginule na mjestu prometne nesreće ili preminuli u određenom razdoblju nakon nesreće), broj poginulih i/ili ozlijeđenih osoba se pokazao pouzdanim mjerilom stupnja sigurnosti prometa na cestama. Metodologija za utvrđivanje troškova prometnih nesreća temelji se na dugogodišnjim istraživanjima svih troškova koji se pojavljuju prilikom nastajanja prometne nesreće, a vezani su uz čovjeka, vozila i cestovnu infrastrukturu. Za potrebe izračuna težine prometne nesreće ovom su se prilikom koristile Preporuke za utvrđivanje troškova cestovnih prometnih nesreća [5].
3. *prometno opterećenje dionice*; za potrebe ovog rada analizirani su službeni podaci o brojanju prometa na području Međimurske županije. Analiza prometnog opterećenja pojedine cestovne dionice obavljena je temeljem podataka o prosječnom godišnjem dnevnom prometu (PGDP) za 2014. godinu na državnim te županijskim cestama na kojima Hrvatske ceste d.o.o. obavljaju brojanje prometa [6],
4. *građevinske karakteristike cestovne dionice*; Geometrijski elementi osi ceste i tehnički elementi kolnika sudjeluju prilikom ocjene dionice. Pri sukladnosti elemenata razlikujemo oblike cestovne osi (niveleta ceste u pravcu, te veličine radijusa i broj zavoja), i karakteristike kolnika (broj i širina prometnih traka, ceste s fizički odvojenim kolnicima, karakteristike asfaltnog zastora, kontrolirani pristup vozila, horizontalna preglednost i slično). Karakteristika cestovne dionice

(pod kriterijem »geometrijski oblik trase i karakteristike kolnika«) definirana je kao »dobra«, »srednja« i »nepovoljna«. Potencijalno opasni su oni dijelovi ceste koji imaju nepovoljniji geometrijski oblik nivelete, suženi i oštećeni kolnik. Prijelaz ceste preko željezničke pruge u razini predstavlja značajnu prepreku pri vožnji, jer povremeno izaziva zaustavljanje cestovnog prometnog toka. Mjerilo za ocjenu tog kriterija na odabranom odsjeku cestovne mreže klasificiralo je cestovne dionice u sljedeće tipove (popisane u redoslijedu od najmanje do najveće nesigurnosti); dionica nema prijelaz ceste preko željezničke pruge (vozač se ne zaustavlja niti smanjuje brzinu kretanja vozila), na dionici postoji pravilno prometnim znakovima štićeni prijelaz ceste preko željezničke pruge (prolaz vlaka uzrokuje kratkotrajno zaustavljanje prometnog toka, i frekvencija nailaska vlakova određuje propusnu moć cestovne dionice. Takav tip prijelaza ceste preko željezničke pruge predstavlja malu potencijalnu nesigurnost dionice), na dionici ne postoji pravilno prometnim znakovima štićeni prijelaz ceste preko željezničke pruge (prolaz vlaka uzrokuje zaustavljanje prometnog toka, i frekvencija nailaska vlakova određuje propusnu moć cestovne dionice, ali takav tip prijelaza ceste preko željezničke pruge predstavlja veliku potencijalnu nesigurnost cestovne dionice jer vozač nema kvalitetnu informaciju o mogućem sigurnosnom konfliktu). Sigurnost cestovnog prometa na takvim prijelazima posebno je ugrožena u uvjetima smanjene vidljivosti.

Savladavanje nepovoljnih reljefnih struktura, bez obzira na vrstu objekta (most ili vijadukta), predstavlja potencijalni sigurnosni rizik za odvijanje prometa zbog svojih konstruktivnih karakteristika: dimenzija, velike izloženosti nepovoljnim vremenskim uvjetima, te opasnosti od preusmjeravanja pažnje vozača s ceste na okolni prostor (npr. panoramskim pogledima). Mjerilo rizika je postotak duljine vijadukata i mostova u duljini promatrane dionice. Veći postotak predstavlja potencijalno veću nesigurnost cestovne dionice.

Tuneli i galerije predstavljaju prometno opasna mjesta prvenstveno zbog rizika od teških posljedica izvanrednih situacija u odvijanju prometa koje se u tunelu mogu pojaviti.

Osim izvanrednih događaja (prometnih nesreća, požara, smanjenja kakvoće zraka u tunelu, i slično), sigurnost odvijanja prometa kroz tunele značajno ovisi i o kvaliteti praćenja i upravljanja prometom u tunelu. Kriterij veličine rizika je postotak duljine tunela u duljini promatrane dionice. Veći postotak predstavlja potencijalno veću nesigurnost cestovne dionice.

Autobusne stanice kakve danas na cestovnoj mreži Međimurske županije poznajemo, bez obzira kako su građevinski izvedene, predstavljaju određenu smetnju u odvijanju prometa. Svaka potencijalna smetnja na cesti predstavlja negativan utjecaj na njezinu propusnost, pa također znači potencijalnu nesigurnost zbog mogućeg nastajanja zastoja i time potencijalnog sigurnosnog incidenta.

Granični prijelaz predstavlja značajnu prepreku pri odvijanju prometnog toka, jer se na graničnom prijelazu sva vozila moraju zaustaviti, što je posebno otežavajuće u vrijeme turističke sezone, pa se često pojavljuju prometni zastoji. Mjerilo tog kriterija predstavlja prisutnost graničnog prijelaza na cestovnoj dionici, pa prisutnost znači smanjenu propusnost i potencijalnu nesigurnost.

4. RAZRADA AHP METODE RANGIRANJA NAJOPASNIJIH MJESTA NA CESTOVNOJ MREŽI MEĐIMURSKE ŽUPANIJE

Izbor kriterija je najvažniji i najteži dio postupka ove višekriterijske metode za potporu u odlučivanju, ali nimalo lakši korak nije ni određivanje međusobnih vrijednosnih odnosa odabranih kriterija. Uspoređivanje kriterija je napravljeno dodjeljivanjem relativnih težina pojedinom kriteriju, a ponderi su utvrđeni zajedničkom ekspertnom ocjenom.

Iza dodjeljivanja težina kriterijima bilo je potrebno dodati težine svim alternativama (opasnim mjestima) u odnosu na svaki pojedini kriterij (broj prometnih nezgoda, težina prometnih nezgoda, prometno opterećenje cestovne dionice ili raskrižja i stanje kolnika).

Softverski alat Expert Choice v11 je potpuno prikladan za primjenu AHP metode kao podršku odlučivanju, jer podržava sve potrebne korake, omogućujući korištenje strukturiranog modela te uspoređi-

vanje kriterija i alternativa u parovima, na više načina, ali i izravan unos vrijednosti pojedinog kriterija. Program omogućuje analizu osjetljivosti rezultata, ovisno o eventualnoj promjeni relativnih važnosti kriterija i alternativa.

Radi se o programskom paketu koji omogućuje da se tijekom analize i procesa donošenja odluke modelira hijerarhijska struktura problema, i omogućuje korisnicima da iskoriste ekspertna znanja i kolektivnu inteligenciju timova koji sudjeluju u postupku.

AHP model rangiranja najopasnijih mjesta na županijskim i lokalnim cestama Međimurske županije s kriterijima i alternativama nalazi se u tablici 2.

Tablica 2. Pregled najopasnijih mjesta na cestovnoj mreži Međimurske županije

ALTERNATIVE – OPASNA MJESTA	KRITERIJI			
	BROJ PROMETNIH NEZGODA	TEŽINA PROMETNIH NEZGODA	PROMETNO OPTEREĆENJE	OPĆE STANJE KOLNIKA
01 Raskrižje D-3 i Ž-2020 Gornji Kuršanec	48	1,32	10.787	vrlo dobro
02 Raskrižje D-3 i L-20048 Pušćine	32	0,79	10.787	vrlo dobro
03 Raskrižje D-3 i Ž-2022 Mala Subotica	40	1,91	3.737	vrlo dobro
04 Dionica Ž-2015 Nedelišće	28	0,68	3.435	loše
05 Dionica Ž-2009 Gornji Mihaljevec	10	0,32	1.500	dobro
06 Dionica Ž-2005 Selnica	6	0,30	2.657	dobro
07 Dionica Ž-2033 Čehovec	10	1,22	1.800	loše
08 Dionica Ž-2255 Draškovec	8	0,40	1.200	dobro
09 Dionica Ž-2040 Donji Vidovec	10	0,41	2.100	dobro
10 Raskrižje D-227, Ž-2254 i L-20073 Lopatinec	36	0,54	5.213	vrlo dobro
11 Raskrižje Ž-2018 Pribislavec	18	0,72	3.600	dobro
12 Raskrižje Ž-2003 i Ž-2003 Pribislavec	10	0,23	1.798	dobro
13 Raskrižje Ž-2013 i Ž-2253 Frkanovec	10	0,14	500	loše
14 Dionica L20039 Kod Preloga	18	0,54	2.600	dobro
15 Raskrižje Ž-2003 i Ž-2018 Dekanovec	10	0,32	1.600	vrlo dobro

Izvor podataka o prometnim nesrećama: Ministarstvo unutarnjih poslova, Tajništvo Ministarstva, Odjel za analitiku, Pregled temeljnih sigurnosnih pokazatelja iz područja sigurnosti prometa za razdoblje 2010. – 2015. godina



Slika 2. Pregledna karta najopasnijih mjesta na cestovnoj mreži Međimurske županije

U prvom koraku uspoređeni se kriteriji u parovima (svaki sa svakim), u odnosu na zadani cilj. Sličan postupak se ponavlja u sljedećem koraku, tj. uspoređivanje svih alternativa u odnosu na zadane kriterije. Rezultati uspoređivanja kriterija svrstavaju se u odgovarajuće matrice sljedeći zacrtanu proceduru AHP metode.

Tablica 3. Pregled normaliziranih težinskih odnosa kriterija za svaku alternativu

OPASNO MJESTO	KRITERIJI			
	BROJ PROMETNIH NEZGODA	TEŽINA PROMETNIH NEZGODA	PROMETNO OPTEREĆENJE	OPĆE STANJE KOLNIKA
1	9	6	9	9
2	6	4	9	9
3	8	9	3	9
4	5	3	3	1
5	2	2	1	6
6	1	1	2	6
7	2	6	2	1
8	2	2	1	6
9	2	2	2	6
10	7	3	4	9
11	3	3	3	6
12	2	1	2	6
13	2	1	0	1
14	3	3	2	6
15	2	2	1	9

Nakon unosa podataka i dodavanja težina za zadane kriterije utvrđeno je kako razina inkonzistencije modela iznosi oko 2 posto što ukazuje da je model težina kriterija bio vrlo dobro strukturiran.

REZULTATI PRIMIENJENE AHP METODE

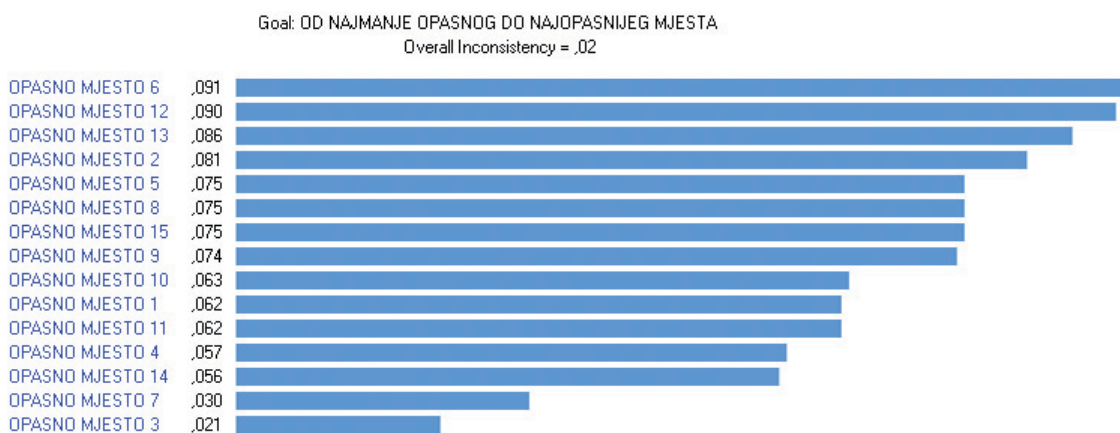
Kriteriji na temelju kojih se obavio odabir (broj nezgoda, težina nezgode, prometno opterećenje i građevinske karakteristike cestovne dionice) temeljem ekspertnih ocjena imali su u modelu sljedeće težinske vrijednosti:



Slika 3. Kriteriji za odabir opasnog mjesta

Najutjecajniji kriterij bio je težina prometne nezgode i njegov utjecaj na ukupni model, a iznosio je 70,6 posto,

Velik utjecaj na odabir projektnog rješenja imalo je i prometno opterećenje cestovne dionice ili raskrižja pojedinog opasnog mjesta (16,2 posto) dok su preostala dva kriterija bili manje značajna pri odabiru optimalnog rješenja (rangiranja opasnih mjesta). Rangiranje alternativa temeljem postavljenih kriterija primjenom AHP metode prikazano je na slici 4.



Slika 4. Rangiranje opasnih mjesta od najmanje opasnog do najopasnijeg mjesta

Na slici 3 prikazane su sve ponuđene alternative (opasna mjesta) s pripadajućom postotkom kao rezultatom rangiranja. Najveći postotak vidljiv je kod opasnog mjesta 6 i opasnog mjesta 12 (oko 9 posto) u ukupnom modelu rangiranja, te su to mjesta na kojima je rizik od prometne nezgode u ovoj grupi od 15 izabranih mjesta najmanji.

Nasuprot tim mjestima, najopasnija mjesta u postupku rangiranja (najlošije plasirana) nose broj 3 i broj 7 koja zajedno čine oko 5 posto utjecaja u modelu čime se sugerira da su to mjesta sa najvećim sigurnosnim rizikom i prvo bi ih trebalo sanirati (rekonstruirati).

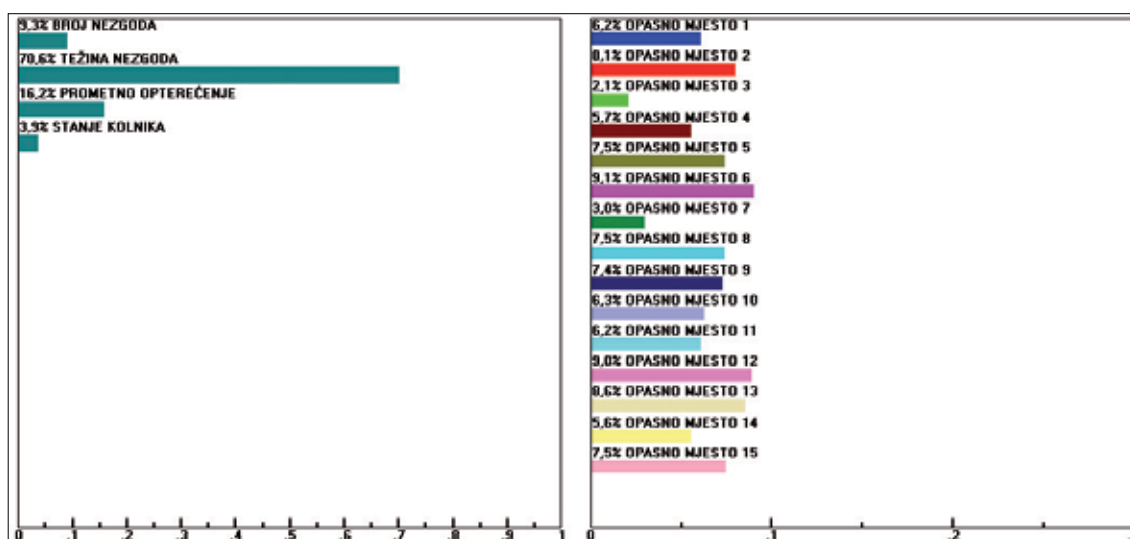
5.1. Analiza osjetljivosti

Model se bazira na procjeni relativnog značaja kriterija i procjeni odnosa prioriteta alternativa u odnosu na zadate kriterije. Nakon dobivenih rezultata definiranog AHP modela ostaje nejasno koliko relativne važnosti kriterija utječu na ukupno rangiranje alternativa. Odgovor na to pitanje daje postupak

koji se naziva analiza osjetljivosti rezultata kojom se utvrđuje pouzdanost definiranog modela, a osim toga pruža mogućnost donositeljima odluka ispitivanje različitih skupova alternativnih rješenja. Program ExpertChoice omogućuje ovakvu analizu na više načina, i to uglavnom pomoću tri grafikona: grafikon dinamičnosti (Dynamic), grafikon performansi (Performance), i grafikon gradijenta (Gradient).

Dinamička promjena težina kriterija

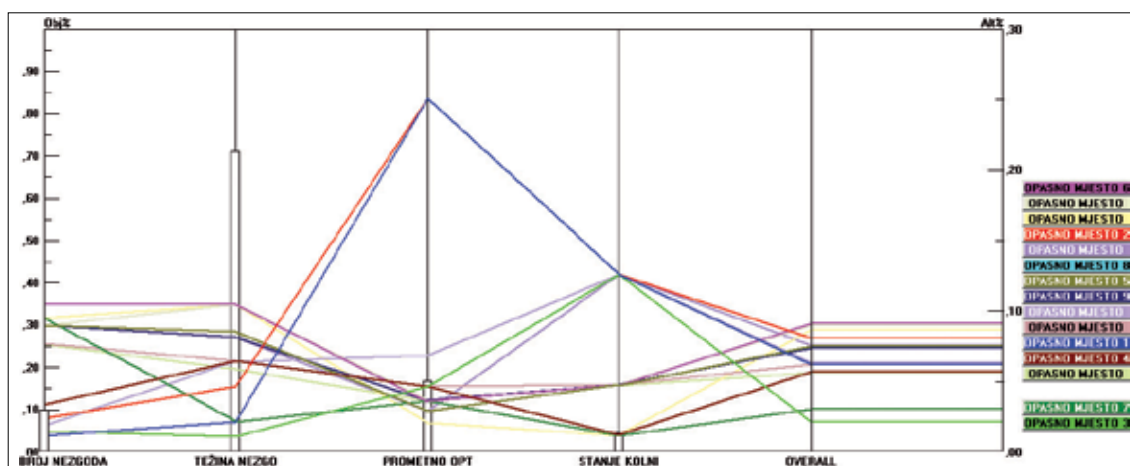
Na slici 5 vizualizira se kako se mijenjaju prioriteti ponuđenih alternativa prilikom promjene pondera pojedinih kriterija. Ovakav grafički prikaz omogućava pogled na udio značajnosti pojedinih kriterija u sustavu ponuđenih alternativa. Ako se promijeni ponder pojedinog kriterija, ostale vrijednosti se proporcionalno mijenjaju u odnosu na početne vrijednosti kriterija.



Slika 5. Dinamički grafički prikaz utjecaja promjena težina kriterija na prioritet alternativa.

Performance grafikon

Na slici 6 prikazan je utjecaj pojedinih ponderiranih kriterija na ukupni poredak alternativa.

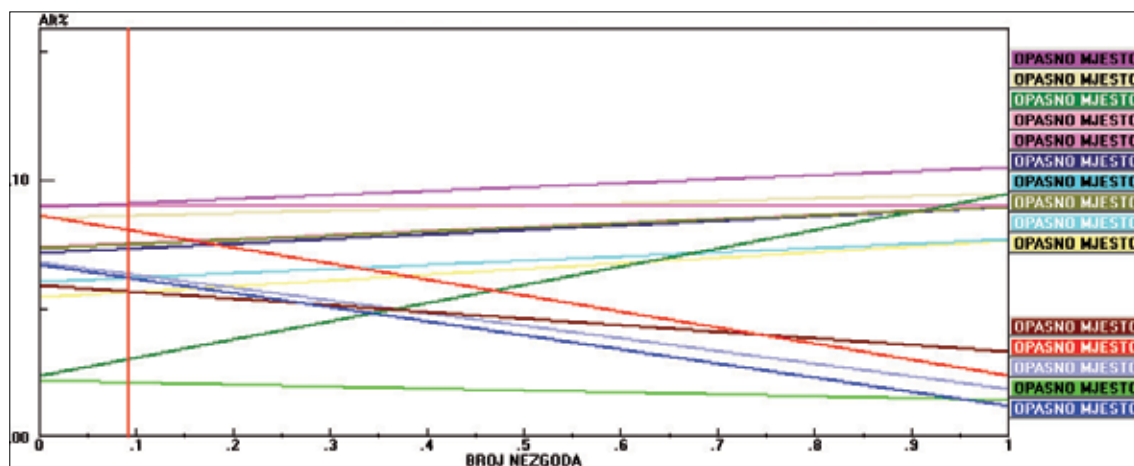


Slika 6. Prikaz utjecaja pojedinih kriterija na alternative i njihov konačni prioritet

Gradient grafikon

Na slici 7 prikazan je gradient grafikon koji pokazuje kako promjene težina pojedinih kriterija utječu na ukupni poredak alternativa, odnosno taj grafički prikaz pruža mogućnost analiziranja utjecaja svakog pojedinačnog kriterija na konačno rješenje.

Kada se za malu promjenu vrijednosti kriterija mijenja i konačno rješenje, kaže se kako je rješenje osjetljivo na promjenu ekspertne ocjene kriterija. U takvim se slučajevima ne može sa sigurnošću tvrditi da je optimalno rješenje višekriterijskog vrednovanja jedinstveno, nego je moguće kako bi i neko drugo rješenje moglo biti približno jednako dobro.



Slika 7. Gradient grafikon - osjetljivosti alternativa na promjenu težine pojedinog kriterija

ZAKLJUČAK

Višekriterijska metoda vrednovanja, koja u postupku odabira rješenja vezanih uz ulaganja u održavanje cestovne mreže donositelju odluke pruža mogućnost izbora optimalnih rješenja uključivanjem kvantitativnih i kvalitativnih kriterija, posljednjih je godina sastavni dio postupaka donošenja bitnih odluka vezanih uz prometnu infrastrukturu.

U praksi se do nedavno odabir najkritičnijih cestovnih dionica i njihovo saniranje prepuštao stručnoj procjeni prometnih i građevinskih inženjera, što u današnje vrijeme, zbog opasnosti od nemogućnosti kvalitetnog sagledavanja svih bitnih faktora nastajanja prometne nesreće i njihovog vrednovanja, postaje nezadovoljavajuće obzirom na potrebu optimizacije i racionalizacije sustava održavanja i rekonstrukcije cestovne mreže.

U ovom radu osmišljen je model za višekriterijsko rangiranje sigurnosno najkritičnijih dionica cestovne mreže Međimurske županije. Za postupak vrednovanja i rangiranja cestovnih dionica Međimurske županije upotrijebljen je suvremeni programski proizvod za postupak višekriterijskog vrednovanja AHP metodom komercijalnog naziva Expert Choice pomoću kojeg je proveden postupak rangiranja i napravljena analiza osjetljivosti rezultata, koji su vizualizirani s dva karakteristična grafikona.

Posebna vrijednost AHP metode u kreiranju modela za donošenje odluka je u mogućnosti da u procesu definiranja scenarija sudjeluje veći broj stručnjaka, u transparentnosti postupka izbora i ocjenjivanja važnosti kriterija, kao i u mogućnosti relativno jednostavnih korekcija i daljnjeg razvoja modela.

Najvažniji rezultat dobiven tijekom provedenog istraživanja odnosi se na činjenicu da je zahvaljujući dobro osmišljenom modelu višekriterijske optimizacije, bilo moguće, primjenom AHP metode, donijeti egzaktnu odluku o rangu sigurnosno kritičnih cestovnih dionica.

U postupku pripreme podataka za opis razmatranih cestovnih dionica pojavilo se veliko ograničenje, a to je nemogućnost uključivanja većeg broja kriterija zbog teškog pronalaženja podataka za sve analizirane cestovne dionice po svim kriterijima, stoga što se neki sustavno ne bilježe ili nisu javno dostupni te ih je teško u realnom vremenu osigurati.

Osim toga, pokazalo se da AHP metoda iziskuje dosta vremena u pripremi i unosu ulaznih podataka (kada se radi o većem broju kriterija i alternativa), jer donositelji odluke (ekspertni tim) treba samostal-

no procjenjivati koliki je značaj pojedinog kriterija u odnosu na sve ostale, te isti postupak ponoviti za sve analizirane cestovne dionice (alternative).

Možemo se zaključiti kako se višekriterijska analiza u ovom slučaju pokazala kao vrlo dobar alat za rangiranje opasnih mjesta na cestovnoj mreži, jer je donositeljima odluke daje mogućnost da prema izabranim kriterijima i njihovoj ekspertnoj ocjeni dobiju egzaktno odabir prioriteta rekonstrukcije najopasnijih mjesta cestovne infrastrukture.

LITERATURA

- Klanac J., Perković J., Krajnović A.: Primjena AHP i PROMETHEE metode na problem diverzifikacije. *Oeconomica Jadertina* 2/2013, Zadar, 2013.
- Sokač, D.: Primjena višekriterijskog odlučivanja u odabiru najpovoljnije ponude. Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije, Umag, 16. – 19. svibnja 2010.
- Begičević, N.: Višekriterijski modeli odlučivanja u strateškom planiranju uvođenja e-učenja. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike. Doktorska disertacija, Varaždin, 2008.
- Saaty, T. L. (1980) *The Analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill
- Massnahmen gegen Unfallhaufungen Auswertung von Strassenverkehrs-unfallen, Teil 1. ISK & GDV, Köln, 1998.
- Brojanje prometa na cestama Republike Hrvatske 2014. godine, Hrvatske ceste, Zagreb, 2015.
- Višekriterijsko odlučivanje: AHP metoda http://www.foi.hr/CMS_library/studiji/dodiplomski/IS/kolegiji/mzvo/ahp.pdf
- Hunjak, T.: Kvantitativne metode u odlučivanju, FOI, Varaždin, 2006.
- Matematički temelj AHP metode, http://services.foi.hr/thesis_phd/rad_begicevic.pdf
- Begičević, N.: Višekriterijski modeli odlučivanja u strateškom planiranju uvođenja e-učenja. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike. Doktorska disertacija, Varaždin, 2008.
- D. Sokač, K. Ugarković, A. Tunjić, »Primjena analitičkog hijerarhijskog postupka u određivanju prioriteta investicijskih ulaganja uz pomoć programskog paketa Expert Choice«, HO Cired, 1. savjetovanje HO Cired, Šibenik, 18.-21. svibnja 2008. godine, SO5-5
- Karleuša B., Deluka-Tibljaš A., Benigar M., »Mogućnosti primjene postupaka višekriterijske optimizacije u prometnom planiranju i projektiranju«, http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s1/Visekriterijskaoptimizacija-clanak.pdf
- Aleksi I., Hocenski Ž., Elaborat, »Primjena Expert Choice alata i AHP metode za odabir Virtex-5 FPGA čipa«, Elektrotehnički fakultet u Osijeku, Osijek, 2009.
- Expert Choice software; <http://www.expertchoice.com>
- Kovačić B.: Višekriterijsko odlučivanje u prometu. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Magistarski znanstveni rad, Zagreb, 2004.
- Sokač, D.: Primjena višekriterijskog odlučivanja u odabiru najpovoljnije ponude. Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije, Umag, 16. – 19. svibnja 2010.
- Primjena AHP metode na problem diverzifikacije industrije. Ekonomski fakultet Split, diplomski rad, Split, rujan 2014
- Brojanje prometa na cestama Republike Hrvatske 2014. godine, Hrvatske ceste, Zagreb, 2015.

ABSTRACT

The paper presents the AHP method (analytical hierarchical process) of multi criteria assessment as foundation to expert decision making on the example of ranking dangerous sections of the road network in Međimurje County. It outlines one of the most recognized methods of multi criteria analysis of scenarios for making complex decisions by means of consistent assessment of the model consisting of the optimization objective, scenario, criteria and alternatives. Ranking of critical sections of road network in terms of safety is a problem of multi criteria decision making, which includes qualitative and quantitative criteria and is of utmost importance while defining priorities in fixing dangerous sections in the county road network, which would lead to significant increase of safety for all participants in road traffic. Selected AHP method of multi criteria assessment is presented based on the example of finding the solution for ranking dangerous sections of road network in Međimurje County by means of using the tool »Expert Choice«.