

Održavanje cestovne infrastrukture – modeliranje rješenja podrške odlučivanju u planiranju održavanja parkirališne infrastrukture

Maintenance of road infrastructure – modelling decision support to sustainable planning of parking infrastructure maintenance

Nikša Jajac^a

^a Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15, 21000, Split, Hrvatska, EU / Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy Split, Matice hrvatske 15, 21000 Split, Croatia, EU

INFORMACIJE O ČLANKU

Kategorija:
Stručni članak

Ključne riječi:
Maintenance
Infrastructure
Parking
Decision support
Planning
Multi-criteria analysis

Licenca: CC BY-NC-SA 4.0.

SAŽETAK

Radom je iskazano istraživanje podrške odlučivanju u planiranju održavanja cestovne infrastrukture za ostvarenje prometa u mirovanju (CIPM) u portfelju jednog upravitelja. Problem održavanja CIPM složen je zbog velikog broja elemenata CIPM (parkirališta i garaža), velikog broja dionika s različitim stavovima o ovom problemu (korisnici, eksperti, donositelji odluka-upravitelja), velike količine raznovrsnih podataka koje treba obraditi (tehnički podaci, troškovi, vrijeme trajanja i sl.) uglavnom različito iskazanih (npr. različitim mjernim jedinicama, numerički ili opisno), raznovrsnih znanja potrebnih za donošenje odluka kao i složenosti izvedbe radova održavanja. Navedeno upućuje kako se radi o višekriterijalnom problemu i kako nije moguće na svim elementima CIPM istovremeno poduzeti aktivnosti održavanja. Radi toga je ovim radom predložena metodologija za uspostavljanje prioriteta između analiziranih elemenata CIPM za poduzimanje aktivnosti održavanja, a kako bi se unaprijedilo stanje ukupnog portfelja CIPM. Metodologija je zasnovana na inkluzivnom i integralnom pristupu te višekriterijalnoj analizi. Model je testiran na CIPM grada Trogira u Republici Hrvatskoj, EU.

ARTICLE INFORMATION

Category:
Professional paper

Keywords:
održavanje
infrastruktura
promet u mirovanju
podrška odlučivanju
planiranje
višekriterijalna analiza

License: CC BY-NC-SA 4.0.



ABSTRACT

The paper presents research on decision support to planning of maintenance of road infrastructure for the parking (RIP) within an portfolio managed by single managing authority. The problem of RIP maintenance itself is complex due to a large number of RIP elements (parking lots and garages), a large number of stakeholders with different views on this problem (users, experts, decision-makers - managing authority), a large amount of diverse data that needs to be processed (technical data, costs, duration, etc.) mostly expressed differently (e.g. different measurement units, numerically or descriptive), diverse knowledge required for decision-making as well as the complexity of performing maintenance works. The above indicates that it is a multi-criteria problem and that it is not possible to simultaneously undertake maintenance activities on all RIP elements. For this reason, this paper proposes a methodology for establishing priorities between the analyzed RIP elements on which maintenance activities should be undertaken in order to improve the state of RIP portfolio. The methodology is based on an inclusive and integral approach as well as on multi-criteria analysis. The model was tested at the RIP of the city of Trogir in the Republic of Croatia, EU.

1. Uvod

Ovim radom predstavljeno je istraživanje mogućnosti uspostave sustavnog pristupa za dio onoga što upravljanje podrazumijeva i za dio od ukupne cestovne infrastrukture. Dakle, fokus istraživanja usmjeren je onaj dio cestovne infrastrukture koji služi odvijanju prometa u mirovanju - parkiranju cestovnih vozila. Osim toga istraživanje je usmjeren na dio upravljanja koji se odnosi na održavanje. Još preciznije, odnosi se na fazu planiranja održavanja tj. na planiranje poduzimanja aktivnosti održavanja postojećih infrastrukturnih elemenata. Pritom je

nužno istaknuti važnost odlučivanja tijekom planiranja radi koje je posebna pažnja ovog istraživanja upravo usmjerena na modeliranje tog kompleksnog procesa. Proces okarakteriziranog višekriterijskim, slabo definiranim i nestrukturiranim izazovima tijekom donošenja planerskih odluka – uspostavljanju plana održavanja. Važan aspekt iskazanog istraživanje je održivost. Nezaobilazna je to odrednica svakog suvremenog pristupa upravljanju ako isto ima namjeru biti odgovorno i dugoročno pa tako mora biti uvažena i tijekom planiranja održavanja parkirne infrastrukture odnosno uključena je u predloženi pristup potpore tom procesu iskazan u ovom radu.

Analizirani upravljački problem određen i velikim brojem dionika (može ih se podijeliti u tri skupine upravljače tj. donositelje odluka – tvrtke zadužene za upravljanje, a time i za održavanje, eksperte za ovu tematiku i korisnike – vozače i putnike u cestovnom prometu) koji su zainteresirani za problem, složenom dinamikom (koja proizlazi iz dinamike cestovnog prometa i nužnosti njegovog kontinuiranog odvijanja neovisno o poduzimanju aktivnosti održavanja, a kako bi se ostvarivale transportne funkcije urbane sredine) i izvodljivošću (fizičkim ograničenjima u smislu raspoloživog prostora te mogućih tehničkih-inženjerskih pristupa i rješenja) koja je definirana brojnim i različitim tehničkim karakteristikama koje treba sagledati.

Navedeno proizlazi iz osnovne namjene infrastrukture u cjelini te njenih vrsta i elemenata, a to je pružanje je usluga korisnicima urbanog prostora na način koji omogućava dostatnu, nesmetanu i pravovremenu dostupnost raspoloživih resursa i usluga te sredine na način i u opsegu koji urbanu sredinu razlikuju i izdvaja od ruralne. Jedna od vrsta urbane infrastrukture je mreža cesta i ulica koja se osim dominantno zastupljenih i u nazivu navedenih elemenata (mreža cesta i ulica) sastoji i od brojnih drugih kao što su: elementi za realizaciju prometa u mirovanju – parkirališta i garaže, autobusne i taxi postaje te kolodvori za realizaciju cestovnih transportni usluga, postaje za punjenje vozila gorivima – fosilnim i drugim energentima te ostali elementi. Između svih navedenih infrastrukturni elementi koji služe realizaciji prometa u mirovanju su u fokusu ovog rada, a to mogu biti površine za parkiranje i objekti za parkiranje, u novije vrijeme i strojevi za parkiranje – suvremeni automatizirani i robotizirani sustavi za „skladištenje“ vozila uglavnom višetažni (pa se mogu u nekim slučajevima smatrati i objektima za parkiranje).

Zbog jednostavnosti analize pristupa održavanju te testiranja i prikaza predložene metodologije pristupa planiranju održavanja u fokusu istraživanja prezentiranog ovim radom samo su površine za parkiranje na razini okolnog tla tj. parkirališta i to ona uz cestu (uzdužna, okomita ili pod kutom kod kojih se svakom pojedinom parkirnom mjestu prilazi izravno s ceste ili ulice) te parkirališta formirana kao zasebne od ulica izdvojene površine za parkiranje do kojih se dolazi posebnom prometnom površinom (priključna cesta ili prilaz) čija je jedina namjena pristup toj površini za parkiranje – „samostalna“ parkirališta. Između njih radi mogućnosti identifikacije i modeliranja karakterističnih procesa upravljanja istima su za potrebe istraživanja izdvojene skupine parkirališta s narednim karakteristikama: imaju veći brojem parkirnih mjesta i s njima upravlja jedan upravitelj (koji nužno nije i vlasnik). Navedeno istraživanje je definirano na taj način radi lakšeg identificiranja procesa i zakonitosti upravljanja održavanjem parkirališta ali i radi lakšeg testiranja mogućnosti njegova unaprjeđenja nego što bi to bilo u slučaju analiziranja upravljanja parkirališta sa samo nekoliko parkirnih mjesta ili pojedinačnim parkirnim mjestom uz to i različitih upravitelja.

Aspekti upravljanja pojedinačnim parkirnim mjestom dakle nisu u fokusu ovog rada kao što u fokusu

ovog rada nisu ni sve faze, ni svi aspekti, a ni sve razine upravljanja već je istraživanje kako je već napomenuto usmjereno na fazu planiranja operativne razine upravljanja tj. na planiranje održavanja. Osim toga analizirano je isključivo fizičko održavanje same infrastrukture (građevinskih dijelova elemenata) i fizičke opreme vezane uz istu dok se nije ulazilo u održavanje IT sustava (npr. čišćenje i popravlanje bug-ova ili unaprjeđivanje sustava) za regulaciju prometa u mirovanju – kontrolnih i naplatnih sustava. Također je važno napomenuti kako se predloženim pristupom želi pružiti praktičan upravljački alat održavateljima cestovne infrastrukture za ostvarenje prometa u mirovanju koji ne zahtjeva složene načine prikupljanja podataka tj. služi se jednostavnim načinom prikupljanja podataka nužnih za planiranje održavanja kao što je vizualni pregled. Pregled pogodan za kontinuirano prikupljanje podataka od strane zaposlenika upravljačke tvrtke tijekom njihova redovitog rada npr. tijekom monitoringu odvijanja naplate.

Zaključno se može reći kako se radi o složenom problemu koji u obzir treba uzeti brojne tehničke karakteristike i rješenja iskazane na različite načine i različitim mjernim jedinicama, a koja utječu na izvodljivost, stavove različitih dionika i dinamiku prometa. Radi takve karakteristike ovog planerskog problema njegovo rješenje treba tražiti u prikladnim integralnim i inkluzivnim pristupima i metodama. Rješenja unaprjeđenja planiranja održavanja predlaže se stoga tražiti u logici sustava za podršku odlučivanju i konceptima za podršku odlučivanju temeljenim na višekriterijskoj analizi i višekriterijskim metodama.

Istraživanjem literature i dosadašnjim radom došlo se do određenog broja značajnih znanstvenih radova koji potkrepljuju prethodni zaključak. Identificirani i analizirani znanstveni radovi mogu se podijeliti u dvije skupine. U prvu skupinu spadaju radovi koji se bave problemom održavanja cestovne infrastrukture te ukazuju na sve iskazane karakteristike koje treba uzeti prilikom planiranja ali se pritom koriste pristupima i metodama različitim od prethodno spomenutih [1], [2], [3] i [4]. Drugu skupinu čine radovi u kojima su predstavljeni spomenuti pristupi i metode ali se koriste za rješavanje upravljačkih problema različitih razina i faza upravljanja od održavanja odnosno drugim infrastrukturnim sustavima, različitim od cestovne infrastrukture [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14] i [15].

Kako bi se unaprijedilo planiranje održavanja elemenata cestovne infrastrukture koji služe realizaciji prometa u mirovanju, u nastavku rada bit će iskazana metodologija kojom se predlaže navedeno ostvariti. Prikazom modela i opisom koncepta za podršku planiranju održavanja cestovne infrastrukture iskazat će se način funkcioniranja predloženog koncepta. Korisnost predloženog koncepta testirat će se na realnom problemu planiranja održavanja cestovne infrastrukture prometa u mirovanju grada Trogira u Republici Hrvatskoj, EU.

2. Koncept podrške planiranju održavanja CIPM (KPPO CIPM)

Predloženi koncept iskazan je modelom u tablici 1., a potom je opisano njegovo funkcioniranje. Koncept se zasniva na nekoliko već spomenutih temeljnih odrednica, pristupa. Dominantno korišten pristup je višekriterijska analiza koja je definirana narednim procesima: generiranjem rješenja ili skupa koji se vrednuje, kriterija s definiranim opisom, obuhvatom i tehnikama vrednovanja, odabranom adekvatnom, a potom i primijenjenom višekriterijskom metodom rangiranja ili odabira te analizom i obrazloženjem dobivenih rezultata. Osim na višekriterijskoj analizi koncept se temelji i na integralnom pristupu koji podrazumijeva uključivanje u vrednovanje svih relevantnih aspekata analiziranog problema (tehničkih, ekonomskih i društvenih bilo da su interni ili eksterni s obzirom na upravljačku tvrtku i predmet upravljanja) prilikom rangiranja ili prilikom odabira varijantnih rješenja za taj problem. Najčešće se navedeno iskazuje tj. vrši pomoću raznovrsnih kriterija čime se potvrđuje kompatibilnost ovog principa s prethodnim. Osim kompatibilnosti ovdje se očito radi i o komplementarnosti i nadopunjavanju dvaju pristupa koji uz treći, a taj je inkluzivni pristup postižu maksimalni sinergijski učinak. Naime, uvođenjem inkluzivnog pristupa omogućava se osim sagledavanja svih relevantnih odrednica problema i sagledavanje tih istih odrednica s obzirom na stavove, preferencije i želje relevantnih dionika jer pojedini stavovi, preferencije i želje nužno nisu jednako važni dionicima, a i njihovi međusobni odnosi (u smislu raspodjele važnosti među njima) različiti su za različite dionike.

Navedeni pristupi osnova su modela čija su arhitektura i odnosi njenih sastavnih elemenata - skupova aktivnosti iskazani u nastavku tablicom 1. Prvi element odnosi se na prethodne procese koji uključuju dvije aktivnosti i to definiranje obuhvata planiranja – prostorno i vremenski gledano te organiziranje dionika – podjelu u prethodno spomenute skupine. Pripremni procesi naredni je element koji se također sastoji od dvije aktivnosti. Prva se realizira aktivnost generiranja i to kriterija i varijantnih rješenja, a drugom koja se na prvu nastavlja određuju se međusobni relativni odnosi važnosti kriterija – težine kriterija. Provedbeni procesi sadržani su u trećem elementu modela, a odnose se na vrednovanje generiranih varijantnih rješenja i njihovo uspoređivanje. Nakon što su vrednovana sva generiranja rješenja po svim kriterijima, čime je realizirana prva aktivnost ovog elementa, kroz njegovu drugu aktivnost pristupa se njihovoj međusobnoj usporedbi. Usporedba se pritom vrši odabranom višekriterijskom metodom uz uvažavanje prethodno utvrđenih težina kriterija i odrednica specifičnih za korištenu višekriterijsku metodu (kao što su npr. ocijene usporedbi parova po definiranim skalama preferencije ili definiranje oblika funkcija preferencija). Nakon usporedbe dobiva se rangiranje varijantnih rješenja po prioritetu za poduzimanje aktivnosti održavanja na njima. Posljednji element modela nazvan je zaključni procesi i odnosi se na izradu plana održavanja. Naime, postavljajući ograničenje na dobivenu rang listu (tj. na output

aktivnosti prethodnog elementa) u smislu financijskih ograničenja – iznosa raspoloživih sredstava, kroz aktivnost temeljenu na linearnom cjelobrojnom programiranju utvrđuje se skup infrastrukturnih elemenata za realizaciju prometa u mirovanju na kojima će se provesti aktivnosti održavanja u prvom narednom planskom periodu – npr. narednoj godini. Kako je navedeni skup podskup ukupnog portfelja infrastrukturnih elemenata čije je održavanje predmet planiranja predlaže se ponavljanjem provedbe modela za preostale infrastrukturne elemente portfelja (sve one elemente koji nisu uključeni u definirani podskup) dobiti definirati plan poduzimanja aktivnosti održavanja za naredna razdoblja. Dakle, svaki podskup odnosi se na po jedno buduće plansko razdoblje. Kod izrade plana za naredna razdoblja treba iz analize izuzeti one infrastrukturne elemente čije je stanje na zadovoljavajućoj razini temeljem prethodno poduzetih aktivnosti održavanja kao i novo izgrađene elemente.

Tablica 1. iskazuje model podrške u planiranju održavanja elemenata CIPM. Prvim stupcem tablice iskazani su elementi po redosljedu realizacije što je istaknuto i navođenjem rednog broja ispred naziva elementa modela (E_i). Dakle model se realizira red po red. Pritom se aktivnosti iskazane drugim stupcem ($A_{i,j}$, nalaze se u sivim poljima tablice 1) realiziraju također red po red dok su u istom stupcu navedeni i rezultati tih aktivnosti ($R_{i,j}$). Posljednji stupac pridjeljuje metode aktivnostima ($M_{i,j}$). Neke od metoda su formalne metode [16] [17] [18] i [19] dok su neke opće prihvaćeni postupci i tehnike ($M_{1.1}$, $M_{1.2}$ i $M_{2.1}$). AHP metoda pritom se koristi u pojednostavljenom obliku kako će kasnije biti opisano kod obrazloženja modela.

R1.1. predstavlja definiranje područja obuhvata koje u pravilu odgovara obuhvatu administrativne jedinice tj. lokalne uprave jer je ista uglavnom zadužena za upravljanje ovim dijelom cestovne infrastrukture putem osnovanih komunalnih poduzeća u tu svrhu. Takva komunalna poduzeća zadužena su za upravljanje, a time i održavanje elemenata CIPM. R1.2. odnosi se na identificiranje relevantnih dionika i njihovu podjelu u tri skupine i to korisnici, eksperti, donositelji odluka-upravitelja. Temeljem rezultata prvog elementa modela postavljene su odrednice za aktivnosti drugog elementa. Rezultati aktivnosti drugog elementa redom su R2.1. koji predstavlja listu elemenata CIPM koji su obuhvaćeni analizom, R2.2. koji iskazuje glavni cilj (održavanje elemenata CIPM na održiv način) te ga razlaže (nekom od brainstorming tehnika) na njemu podržavajuće ciljeve čijim daljnjim razlaganjem (u podržavajuće ciljeve više hijerarhijskih razina) se dolazi do kriterija (mjerljivi podržavajući ciljevi posljednje, najniže razine u hijerarhiji) kako je prikazano na slici 1. i u tablici 2.

Tablica 1. Model podrške planiranju održavanja CIPM
Table 1 CIPM maintenance planning support model

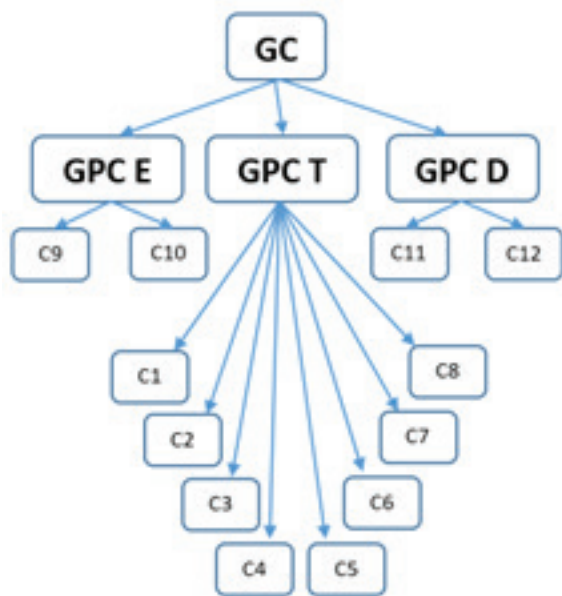
Element modela	Aktivnosti	Metode
	Rezultati	
E1. Prethodni Procesi	A1.1. - Definiranje predmeta istraživanja A1.2. - Definiranje dionika	M1.1. i M1.2. - Analiza područja obuhvata i dionika
	R1.1. – Prostorni obuhvat održavanja, R1.2. - Identifikacija svrstavanje dionika u skupine	
E2. Pripremni procesi	A2.1. - Generiranje varijantnih rješenja, A2.2. - Generiranje kriterija, A2.3. - Utvrđivanje težina kriterija	M2.1. - Brainstorming, M2.2. - stablo ciljeva, M2.3. – pojednostavljena AHP metoda
	R2.1. - Lista varijantnih rješenja – elemenata CIPM, R2.2. - Hijerarhijska struktura ciljeva – stablo, R2.3. - Težine kriterija	
	A3.1. - Vrednovanje varijantnih rješenja, A3.2. - Uspoređivanje varijantnih rješenja i rangiranje	
E3. Provedbeni Procesi	R 3.1. – Matrica odluke R3.2. - Rang lista prema prioritetu za održavanje	M3.1. – Prikupljanje podataka i ocjenjivanje M3.2. - PROMETHEE II.
	A4. - Definiranje financijskih ograničenja	
E4. Zaključni Procesi	R4. - Plan održavanja	M4. - PROMETHEE V.

Hijerarhijska struktura pritom ima oblik obrnutog stabla kod kojeg je deblje glavni cilj, glavni podciljevi su glavne grane, a podržavajući ciljevi i na kraju kriteriji su manje grane odnosno listovi slikovito opisujući (slika 1.).

Tablica 2. Ciljevi i kriteriji za podršku planiranju održavanja CIPM s opisom tehnika ocjenjiva i izabranim funkcijama preferencije svih 12 kriterija – tablični prikaz R2.2.

Table 2 Objectives and criteria for CIPM maintenance planning support with a description of evaluation techniques and selected preference functions of all 12 criteria - tabular representation R2.2

Glavni cilj	Gl. podciljevi	Ciljevi/ Kriteriji	Tehnika vrednovanja
			Funkcija preferencije
Održavanje elemenata CIPM na održiv način (GC)	Tehnički (GPC T)	C1 Signalizacija - horizontalna	Zadovoljavajuća 2 Djelomično zad. 1 Nezadovoljavajuća 0 Linearna
		C2 – Signalizacija - vertikalna	Zadovoljavajuća 1 Nezadovoljavajuća 0 Uobičajena
		C3 Gornji ustroj – pukotine i kolotrazi	Ekspertna procjena loše – izvrsno (0-10) Linearna
		C4 Gornji ustroj - hrapavost	Ekspertna procjena loše – izvrsno (0-10) Linearna
		C5 Donji ustroj	Nosivost – ugrožena 0, uredna 1 Uobičajena
		C6 Odvodnja	Zadovoljavajuća 2 Djelomično zad. 1 Nezadovoljavajuća 0 Linearna
		C7 Oprema – regulacija prometa i naplate	Zadovoljavajuća 1 Nezadovoljavajuća 0 Uobičajena
		C8 Oprema – ograde, odbojnici	Zadovoljavajuća 2 Djelomično zad. 1 Nezadovoljavajuća 0 Linearna
	Ekonomski GPC E	C9 Vrijednost radova	Iznos u 1000 Eura Linearna
		C10 Vrijeme trajanja radova	Dani Linearna
	Društveni GPC D	C11 Kapacitet	Broj parkirnih mjesta Linearna
		C12 Važnost za korisnike	Ekspertna ocjena s obzirom na blizinu značajnim sadržajima tj. atrakcijama putovanja daleko – blizu (0-10) Linearna



Slika 1. Hijerarhijska struktura ciljeva R2.2. – stablo ciljeva

Figure 1 Hierarchical structure of objectives R2.2. – goal tree

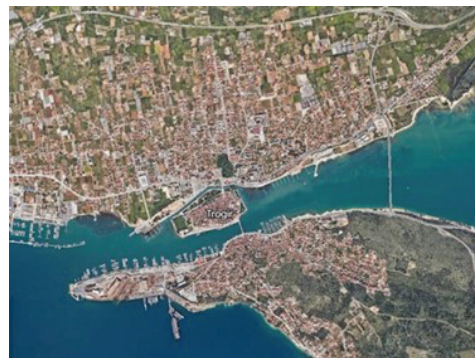
Korištenjem pojednostavljene AHP metode na postavljenu hijerarhijsku strukturu ciljeva od strane definiranih skupina dionika dobivaju se relativni odnosi između ciljeva iste hijerarhijske razine u smislu njihove važnosti za ostvarenje izravno nadređenog im cilja više razine. Naime vrši se uspoređivanje po parovima svakog sa svakim ciljem spram njima izravno nadređenog cilja na način da se svaki izravno nadređeni cilj dijeli u njegove dijelove koji predstavljaju težine podciljeva. U nastavku primjene ove pojednostavljene AHP metode prethodno utvrđene težine podciljeva smatraju se težinama nadređenih ciljeva naredne hijerarhijske razine (podpodciljeva). Dakle na relativan način se promatra pojam nadređenog cilja i podcilja tj. svi ciljevi osim glavnog cilja i ciljeva koji predstavljaju kriterije u nekom trenutku su nadređeni ciljevi, a u drugom su podciljevi. Dakle, osnovni princip koji se primjenjuje je razdjeljivanje težine nadređenog cilja na podciljeve uz uvažavanje relativne važnosti pojedinog podcilja prema drugim podciljevima spram izravno ima nadređenog cilja. Tako suma težina izravnih podciljeva odgovara težini nadređenog cilja čijim razlaganjem su nastali ti podciljevi. Numerički iskazani relativni odnosi između ciljeva posljednje razine (koje zbog njihove dovoljne mjerljivosti više nije potrebno razlagati na podržavajuće), a koje nazivamo kriterijima predstavljaju važnosti upravo tih kriterija koje nazivamo težinama, a što je R2.3. Osim smislom, svaki kriterij definiran je opsegom i težinom i s tehnikom vrednovanja varijantnih rješenja po tom kriteriju (sastavni dio definiranja kriterije tj. sadržane su u R2.2.). Osim toga važno je istaknuti kako se svi kriteriji osim ekonomskih (C9 i C10) svrstavaju u problem maksimuma (bolja je veća ocjena) dok samo spomenuta dva spadaju u problem minimuma jer je kod njih bolje što je cijena manja. Svi rezultati prethodnog 2. elementa modela predstavljaju ulaz u

aktivnosti 3. elementa modela.

Temeljem utvrđenih tehnika za svaki od kriterija vrši se vrednovanje svih varijantnih rješenja po svim kriterijima što je matrica odluke (R3.1.) dok se temeljem težina (R2.3.) utvrđuje drugi važan input za uspoređivanje korištenjem metode PROMETHEE II. Uspoređivanjem svih sa svim varijantnim rješenjima po svim kriterijima uz uvažavanje težina i načina definiranja preferencija (funkcija preferencija za svaki kriterij posebno koje su sastavni dio definiranja kriterija tj. sadržane su u R2.2. i od kojih svaka definira način formiranja odluke kod uspoređivanja svakog sa svakim varijantnim rješenjem po jednom kriteriju; zastupljena su dva tipa uobičajena – koristi se za kriterije kod kojih je odgovor da ili ne dakle s punom preferencijom jednog nad drugim varijantnim rješenjem neovisno o utvrđenoj razlici ocjena i linearna - koja preferenciju formira linearno prema razlici ocjena između dvaju varijantnih rješenja koja se uspoređuje) svih kriterija dobiva se rangiranje varijantnih rješenja prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti održavanja što je R3.2. Rangiranje je iskazanofunkcijomcilja, aonazajednosograničenjima iskazanim skupom lineranih jednadžbi i nejednadžbi (korištenjem cjelobrojnog linearnog programiranja) predstavlja input za PROMETHEE V. metodu kojom se definira skup elemenata na koji će se primijeniti aktivnosti održavanja u prvom narednom ciklusu održavanja. Ponavljanjem postupka do iscrpljivanja svih elemenata CIPM unutar dobiva se R4. plan održavanja. Nakon objašnjenja predloženog modela kako bi se istom provjerila funkcionalnost i korisnost izvršeno je testiranje na realnom primjeru. Testiranje na elementima CIMP Grada Trogira, RH, EU je prikazano u narednom poglavlju ovog rada.

3. Testiranje KPPO CIPM

Ovim poglavljem iskazat će se funkcionalnost predloženog KPPO CIPM na primjeru planiranja održavanja za dio CIPM grada Trogira (područje obuhvata sastoji se od ukupno 24 parkirališta s ukupno 2030 parkirnih mjesta slika 2.) kojim upravlja gradska komunalna tvrtka (jedan dionik - donositelj odluka) čime je definiran predmet istraživanja tj. R.1.1. kao i jedan od dionika dok su za preostala dva izabrani ekspert s FGAG Split koji se bavi upravljanjem cestovnom infrastrukturom (prof. dr.sc.) i predstavnici korisnika (anketirani građani – 5 građana) čime je ostvaren R1.2.



Slika 2. Područje obuhvata testiranja – preuzeto s Google Earth 2023.

Figure 2. Test coverage area - taken from Google Earth 2023.

Tablica 3. koja predstavlja R2.1. u nastavku daje svojim prvim stupcem redni br. tj. oznaku parkirališta, drugim stupcem naziv, a u trećem iskazuje broj parkirnih mjesta tog parkirališta tj. njegov kapacitet. Najveće je Škver ACI s 250 parkirnih mjesta, a najmanje Pošta s 20 parkirnih mjesta. Šest parkirališta P1, P4, P5, P6, P13 i P18 čine polovinu ukupnih kapaciteta što ukazuje na raznolikost prostorne komponente ovih elemenata CIPM uglavnom uvjetovane neplaniranim nastankom nakon urbanizacije područja po principu „koliko najviše može stati“ jer se radi o starom mediteranskom gradu koji je ta područja urbanizirao prije korištenja automobila. Veća parkirališta prometno su planirana i novijeg su datuma uspostave.

Tablica 3. Varijantna rješenja R.2.1. – analizirana parkirališta

Table 3 Variant solutions R.2.1. – analyzed parking lots

R.br.	Naziv	Broj parkirnih mjesta
P1.	Balančane	90
P2.	Motel	50
P3.	Dom zdravlja	60
P4.	Stara INA	100
P5.	Travarica	150
P6.	Soline	150
P7.	Miratov	80
P8.	Pošta	20
P9.	Mosor	80
P10.	Dvorana	40
P11.	Ribola	50
P12.	Groblje	50
P13.	Brigi	200
P14.	Lokvice	120
P15.	Kino	30
P16.	Barbika	80
P17.	Naselje	70
P18.	Škver-ACI	250
P19.	Škver	150
P20.	Balan	60
P21.	Madiracin mul	30
P22.	PŠU-Banj	30
P23.	Mali mul	50
P24.	Vojarna	40
Ukupan broj parkirnih mjesta		2030

Prilikom određivanja težina kriterija veličina anketnog uzorka ovdje nije presudna jer se testiranjem želi pokazati funkcionalnost modela, a broj anketiranih osoba isključivo doprinosi usmjeravanju stavova ove skupine dionika spram planerskog problema. Anketiranjem većeg broja ljudi bolje bi se definirao željeni smjer planiranja održavanja tj. što dionici smatraju važnijim što bi bilo od posebne važnosti kad bi se izrađivao stvarni plan održavanja dok to nije od presudne važnosti kad se radi o testiranju funkcionalnosti predloženog koncepta. Anketni upitnik pritom nije formiran u klasičnom smislu upitnika ni za jednu skupinu dionika već je svaki anketirani dionik pristupio uspoređivanju težina kriterija po pojednostavljenoj AHP metodi, a konačna težina kriterija po pojedinoj skupini dionika određena

je kao srednja vrijednost utvrđenih vrijednosti svakog kriterija po svakom od anketiranih dionika. Isti princip primijenjen je i za određivanje kompromisnog scenarija težina kod kojeg su ulazni podaci bile vrijednosti kriterija po spomenutim scenarijima. Svi ovi scenariji iskazani su niže u tablici 4. dok samo posljednji stupac koji iskazuje kompromisni scenarij predstavlja rezultat R2.3.

Tablica 4. Težine kriterija – R2.3.

Table 4 Criterion weights – R2.3.

Oznaka kriterija	Korisnici	Eksperti	Donosite-lji odluke	Kompromisni scenarij
C1	2	5	4	3.67
C2	3	5	3	3.67
C3	5	5	4	4.67
C4	2	5	1	2.67
C5	3	5	4	4.00
C6	5	5	5	5.00
C7	5	5	6	5.33
C8	5	5	3	4.33
C9	10	10	30	16.67
C10	20	20	20	20.00
C11	10	10	15	11.67
C12	30	20	5	18.33
Suma	100	100	100	100

Prvi stupac iskazuje oznake kriterija sukladno tablici 2. Stupci od drugog do četvrtog iskazuju težine kriterija i to drugi po korisnicima, treći po ekspertima i četvrti po donositeljima odluke - upravitelju. Posljednji peti stupac rezerviran je za kompromisni scenarij koji jednoliko uvažava sva tri prethodno spomenuta scenarija i predstavlja onaj s kojim se ide u postupak uspoređivanja varijantnih rješenja tj. R2.3.

Prikupljanje podataka vizualnim pregledom za potrebe ovog istraživanja izvršio je autor ovog rada u suradnji s kolegicama iz svoje istraživačke skupine s FGAG Split tijekom protekle godine te je sukladno nalazima izvršeno ocjenjivanje svih varijantnih rješenja po svim kriterijima koristeći prethodno definirane tehnike ocjenjivanja što predstavlja R3.1.

Tablica 5. Matrica odluke – R3.1.

Table 5 Decision matrix – R3.1.

P/C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P1	1	1	5	3	1	1	1	1	10	7	90	2
P2	1	1	6	4	1	1	1	1	11	5	50	7
P3	1	0	7	4	1	1	1	1	26	14	60	10
P4	1	1	6	5	1	1	1	1	12	3	100	10
P5	2	1	8	6	1	1	1	1	1	0	150	10
P6	1	0	4	5	1	0	1	1	12	7	150	10
P7	1	1	6	4	1	1	1	1	1	0	80	10
P8	1	1	8	3	1	1	1	0	1	0	20	10
P9	1	1	9	4	1	1	1	1	13	1	80	10
P10	1	1	5	5	1	1	1	1	27	30	40	5
P11	2	1	4	6	1	1	1	1	1	0	50	5
P12	1	1	6	6	1	2	0	1	1	0	50	3
P13	1	1	7	5	1	1	1	1	2	0	200	8
P14	2	1	8	6	1	1	1	1	1	0	120	10
P15	1	1	4	5	1	1	1	1	14	5	30	9
P16	1	1	5	5	1	1	0	1	2	0	80	9
P17	1	1	6	5	0	0	1	2	21	5	70	4
P18	2	1	7	6	1	1	1	2	3	0	250	10
P19	2	1	10	9	1	1	1	1	21	14	150	4
P20	1	1	7	6	1	1	1	1	2	0	60	4
P21	1	1	6	6	1	1	1	1	13	2	30	10
P22	0	0	3	2	0	1	1	1	24	14	30	10
P23	1	1	7	6	1	0	1	1	8	7	50	9
P24	1	1	8	6	1	1	1	1	10	7	40	2

Stupci matrice iskazane tablicom 5. predstavljaju ocjene varijantnih rješenja po nekom od 12 kriterija dok redovi predstavljaju skup svih ocjena jednog varijantnog rješenja po svim kriterijima – njegov opis. Uzevši u obzir također prethodno definirane funkcije preferencije, tip problema i kompromisne težine formiran je input za rangiranje metodom PROMETHEE II koje je iskazano rang listom u nastavku u tablici 6. što je R3.2. te slikom 3.

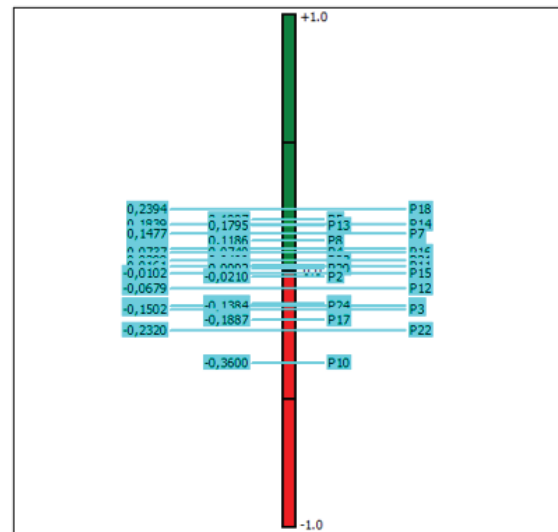
Tablica 6. Tablični prikaz rangiranja prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti održavanja R3.2.

Table 6 Tabular presentation of ranking according to priority for undertaking maintenance activities R3.2.

Rb.	Parkiralište	Phi	Phi+	Phi-
1	P18	0,2394	0,2426	0,0031
2	P5	0,1997	0,2037	0,0040
3	P14	0,1839	0,1911	0,0073
4	P13	0,1795	0,1947	0,0152
5	P7	0,1477	0,1657	0,0180
6	P8	0,1186	0,1623	0,0437
7	P9	0,0843	0,1323	0,0480
8	P4	0,0740	0,1221	0,0481
9	P16	0,0737	0,1445	0,0708
10	P23	0,0400	0,1025	0,0625
11	P21	0,0398	0,1081	0,0683
12	P6	0,0233	0,1269	0,1035
13	P11	0,0161	0,1132	0,0972
14	P20	0,0092	0,1101	0,1008
15	P15	-0,0102	0,0832	0,0934
16	P2	-0,0210	0,0726	0,0935
17	P12	-0,0679	0,1095	0,1774
18	P19	-0,1266	0,0979	0,2245
19	P1	-0,1344	0,0598	0,1942
20	P24	-0,1384	0,0577	0,1960
21	P3	-0,1502	0,0737	0,2239
22	P17	-0,1887	0,0419	0,2306
23	P22	-0,2320	0,0626	0,2946
24	P10	-0,3600	0,0207	0,3807

Prethodna tablica 6. pokazuje kao prvorangirani i najbolji element CIPM oznake P18, a kao posljednje rangiran odnosno najlošiji element (onaj koji najviše zahtjeva održavanje) oznake P10. Pritom P18 ima neto Phi tok – tok funkcije cilja 0,2394 dok P10 ima -0.3600. Slika 3. pokazuje isto međutim daje pregledniji prikaz grupiranja iz kojeg je vidljivo formiranje tri skupine te izdvajanje P10 kao uvjerljivo najlošijeg elementa iz čega se može razmišljati o planiranju održavanja kroz tri intervala ako se želi djelovati na elementima CIMP sličnih karakteristika ali najčešće to nije pristup koji se koristi.

Pristup je to koji zanemaruje financijsko ograničenje koje je posljedica raspoloživih sredstava upravitelja i najčešće ograničenje koje se nameće. Kako bi se navedeno izbjeglo aktivnostima posljednjeg elementom predloženog modela i korištenjem metode PROMETHEE V spomenuto ograničenje od raspoloživih 100.000 eura (proizvoljna vrijednost uvedena radi testiranja E4) se uvodi. Uvođenjem navedenog ograničenja definiran je skup elemenata CIPM na kojima se u narednom planskom razdoblju treba poduzeti aktivnosti održavanja tj. plan održavanja R4.



Slika 3. Grafički prikaz rangiranja prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti održavanja R3.2. – Visual PROMETHEE ispis [20]

Figure 3. Graphic representation of ranking according to priority for undertaking maintenance activities R3.2. – Visual PROMETHEE printing [20]

Poduzimanjem održavanja na elementima CIPM koji su popisani u planu (P10, P22, P17, P3, P12 i P11), neovisno o redoslijedu navođenja postiže se najveći utjecaj na kvalitetu cijelog analiziranog skupa elemenata CIPM poduzimanjem aktivnosti održavanja. Naredni plan održavanja izrađuje se ponavljanjem realizacije cijelog modela uz isključenje ovim elemenata CIPM koji su uređeni ovim planom.

Tablica 7. Tablični prikaz rangiranja prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti održavanja R3.2.

Table 7. Tabular presentation of ranking according to priority for undertaking maintenance activities R3.2.

Element CIPM	Naziv elementa	Vrijednost radova
P10	Dvorana	27.000
P22	PŠU-Banj	24.000
P17	Naselje	21.000
P3	Dom zdravlja	26.000
P12	Groblje	1.000
P11	Ribola	1.000
Ukupno 4 elementa CIPM vrijednosti radova:		100.000

4. Testiranje KPPO CIPM

Predstavljeni model koji u obzir uzima pristupe kao što su integralni i inkluzivni, a koji se također temelji na logici sustav za podršku odlučivanju i višekriterijske analize pokazao se provediv što je potvrđeno testiranjem istog na realnom problemu. Njime su identificirani ključni procesi tijekom planiranja tj. ključne aktivnosti koje treba provesti tijekom planiranja održavanja kojima su pridružene kako se pokazalo adekvatne metode za podršku

donošenja odluka u tim aktivnostima. Također su uspješno definirani i rezultati svake od aktivnosti te je ispravno pretpostavljena njihova korisnost u smislu inputa za narednu aktivnost. Konačni rezultat jasan je i nedvosmislen plan održavanja elemenata CIPM analiziranog područja što ukazuje i na korisnost predloženog koncepta. Konkretni aplikativni rezultat je mogućnost primjene ovog koncepta na bilo koji skup elemenata CIPM i to od strane svakog upravitelja koji je za to voljan. Specifičnost predstavljenog koncepta je njegova prilagodljivost svakom upravitelju i skupu elemenata CIPM jer je moguće koristiti predložene opće kriterije ili primjenom objašnjenog pristupa formirati novu hijerarhijsku strukturu ciljeva koja upravitelju odgovara (dodavanjem ili oduzimanjem nekih od kriterija). Također je moguće prilagođavati i težine kriterija provedbom anketiranja svih skupina dionika kao i ograničenja koja ne moraju biti isključivo financijske prirode. Tako je moguće uvesti primjerice ograničenja koja uvode jednoliku prostornu zastupljenosti održavanja elemenata CIPM što može biti jedan od daljnjih smjerova istraživanja ove problematike.

Literatura

- [1] Bielli, M. (1992). A DSS approach to urban traffic management. *European Journal of Operational Research* 61 (1-2), 106-113.
- [2] Guisseppi, A., Forgionne, G.A. (2002). Selecting rail grade crossing investments with a decision support system. *Information Sciences*, Volume 144, Issues 1-4, 75-90.
- [3] Rouse P. and Chiu T., 2009. Towards optimal life cycle management in a road maintenance setting using DEA. *European Journal of Operational Research*, Volume 196, Issue 2, 672-681.
- [4] Huang Y., Bird R. and Heidrich O. (2009). Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements. *Journal of Cleaner Production* Volume 17, Issue 2, 283-296.
- [5] Sustainable Approach to Nonurban Road Network Maintenance Management: Herzegovina-Neretva County, B&H Case Study / Jajac, N and Bosnjak, A/ Feb 2023 | *Applied Sciences* 13 (4).
- [6] Maintenance Management Model for Nonurban Road Network /Majstorovic, A and Jajac, N / Jun 2022 | *Infrastructures* 7 (6).
- [7] Huang Y., Bird R. And Bell M. (2009). A comparative study of the emissions by road maintenance works and the disrupted traffic using life cycle assessment and micro-simulation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* Volume 14, Issue 3, 197-204.
- [8] Leclerc, G., Hmiya, S., Aïmeur, E., Quintero, A., Pierre, S., Ochoa, G. (2001). An intelligent decision support system (IDSS) for an urban infrastructure complaint management module. *World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, ISAS/SCI 2001*, Orlando, Florida, vol. XVIII, 143–147.
- [9] Pamukovic, JK; Rogulj, K; (...); Jajac, N (2021). A Sustainable Approach for the Maintenance of Asphalt Pavement Construction, *Sustainability* 13 (1).
- [10] Coutinho-Rodrigues, J., Simao, A., Antunes, C.H. (2011). A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures, *Decision Support System* 51(3), 720-726.
- [11] Quintero, A., Konare, D., Pierre, S. (2005). Prototyping an intelligent decision support system for improving urban infrastructure management. *European Journal of Operational Research* 162 (3), pp. 654-672.
- [12] Jajac N., Knezic, S., Mladineo, N. (2008). DSS for Urban Infrastructure Management, Parking Garages Case Study. *Proceedings of 8th International Conference Organization, Technology and Management in Construction*, ed. Radujkovic, M., Mlinarić, V., Umag.
- [13] Jajac, N., Knezić, S., Babić, Z. (2010). Integration of Multicriteria Analysis into Decision Support Concept for Urban Road Infrastructure Management. *Croatian Operational Research Review* 2 (1), pp. 74-83.
- [14] Ivic, M; Kilic, J; Rogulj, K; Jajac, N (2020). Decision Support to Sustainable Parking Management-Investment Planning through Parking Fines to Improve Pedestrian Flows, *Sustainability* 12 (22).
- [15] Rogulj, K; Pamukovic, JK and Jajac, N (2021). Knowledge-Based Fuzzy Expert System to the Condition Assessment of Historic Road Bridges, *Applied Sciences* 11 (3).
- [16] Churchman, C., Ackoff, R. and Arnoff, E. (1957) *Introduction to Operations Research*. John Wiley and Sons Inc., New York.
- [17] Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill.
- [18] Brans, J.P., Mareschal, B., Vincke, P.H. (1984). Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decisions Making). *Centrum voor Statistiek en Operationeel Onderzoek, Vrije Universiteit, Brussel*.
- [19] Brans, J.P., Mareschal, B. (1990). PROMETHEE V: MCDM problems with segmentations constraints. *Centrum voor Statistiek en Operationeel Onderzoek, Vrije Universiteit, Brussel*.
- [20] Visual PROMETHEE, <http://visualpromethee.com/> (Accessed 15/08/14).