

Вишекритеријумска анализа технологија наплате путарине са финансијског и економског аспекта

Исидора Марковић^а, Јелица Комарица^а

^а Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Војводе Степе 305, Београд, Србија

ПОДАЦИ О РАДУ

DOI: 10.31075/PIS.70.02.07

Стручни рад

Примљен: 05.05.2024.

Прихваћен: 21.05.2024.

Кореспондент аутор:

isidoraamarkovic1503@gmail.com

ORCID ID

Исидора Марковић: N.A.

Јелица Комарица: N.A.

Кључне речи:

Технологија наплате путарине,

АНР метода,

Финансијски критеријуми,

Економски критеријуми

РЕЗИМЕ

Избор одговарајућег система за наплату путарине представља веома важну одлуку имајући у виду чињеницу да захтева велика инвестициона улагања и да лоша одлука по питању избора система за наплату путарине може довести до великих економских, еколошких и друштвених проблема како за садашње, тако и за будуће генерације. Циљ овог рада је да се на основу свеобухватне вишекритеријумске анализе предложи методолошки оквир за подршку одлучивању приликом избора система за наплату путарине. Одабир најефикаснијег система за наплату путарине вршен је са финансијског и економског аспекта, применом АНР методе. Истраживање је обухватило 9 различитих технологија наплата путарине: DSRC са баријерама, DSRC MLFF, RFID, GNSS/CN, ACM, ANPR, SmartCard, Smartphone и виџете. У складу са дефинисаним проблемом и одређеним приоритетима показало се да је GNSS/CN (0.174) најбоља технологија наплате путарине. RFID технологија наплате путарине (0.169) и DSRC MLFF технологија (0.163) су равноправно добре, док су на последњем месту аутомати за плаћање путарине (0.040). Добијени резултати могу помоћи доносиоцима одлука приликом одабира најисплатљивије технологије наплате путарине са финансијског и економског аспекта.

1. Увод

Квалитет једног саобраћајног система се највише огледа кроз његову инфраструктуру и мрежу путева. Ефикасност реализовања саобраћаја, било локалног, међуградског или регионалног зависи од саобраћајне инфраструктуре као и начина на који се саобраћај реализује на самој путној мрежи.

Путарине представљају директне накнаде за коришћење друмске инфраструктуре, као што су накнаде на ванградској мрежи аутопутева које су засноване на пређеној километражи или одређеном временском периоду и наплате загушења у централним градским зонама. Ове накнаде имају два циља. Један циљ се односи на механизам за финансирање изградње путне инфраструктуре, њену експлоатацију и одржавање, док је други циљ управљање саобраћајним захтевима [1,2].

Путарине такође представљају важан извор средстава за изградњу инфраструктуре у неким случајевима, а одређивање цене путарине обично представља компромис између минималне

путарине коју корисници могу приуштити и обезбеђивања довољног повраћаја улагања. Тако се наплата путарине на аутопутевима разликује од наплате путарине на урбаним пуетвима, која се често назива наплата загушења, наглашавајући различите циљеве политике, при чему урбани корисници такође имају различите путне преференције [3-4]. Како би се обезбедило ефикасно функционисање службе за наплату путарине са једне стране и остварио одговарајући ниво услуге корисника са друге стране неопходно је изабрати одговарајући систем за наплату путарине, оптимизовати рад наплатних станица и дефинисати адекватну тарифну политику. Једно од кључних питања у наплати путарине односи се на избор одговарајућег система за наплату путарине. Избор одговарајућег система за наплату путарине представља веома важну одлуку имајући у виду чињеницу да захтева велика инвестициона улагања и да лоша одлука по питању избора система за наплату путарине може довести до великих економских, еколошких и друштвених проблема како за садашње, тако и за будуће генерације [5,6].

Циљ овог рада је да се на основу свеобухватне вишекритеријумске анализе предложи методолошки оквир за подршку одлучивању приликом избора система за наплату путарине. Истраживање је обухватило 9 различитих технологија наплата путарине: DSRC са баријерама, DSRC MLFF, RFID, ANPR, GNSS/CN, вињете, ACM, SmartCard и Smartphones технологију наплате путарине [7,8]. Одабир најефикаснијег система за наплату путарине вршен је са финансијског и економског аспекта, применом АНР методе.

2. Методологија

Вишекритеријумско вредновање подразумева доношење одлука у случајевима када постоје вишеструки и међусобно конфликтни критеријуми [9]. Систем за подршку одлучивању који је предложен у раду заснован је на АНР¹ методи рангирања. АНР метода се базира на урођеној људској способности да ствара процене о приоритетима међусобно поређених елемената хијерархије на основу њиховог поређења по паровима. АНР метода је широко примењена у саобраћају. Једна је од најчешће коришћених вишекритеријумских метода у избору решења у планирању [10], пројектовању, одржавању [11], реконструкцији саобраћајне инфраструктуре [12] и безбедности саобраћаја [13,14].

Први корак АНР методе јесте хијерархијска структура. АНР декомпоује проблем на низ потпроблема и агрегира решења сваког од потпроблема у коначно решење. Елементи једне хијерархијске структуре су: на врху циљ (нулти ниво), на првом следећем нижем нивоу налазе се критеријуми као репрезенти постављеног циља, потом неколико нивоа поткритеријума (ако постоје) и на последњем хијерархијском нивоу су алтернативе [15].

Други корак је поређење по паровима и фундаментална скала. Након формирања хијерархијске структуре, следи процес поређења критеријума/ поткритеријума/ алтернатива у односу на њихов надређени елемент. За поређење два хомогена (блиска) елемента хијерархије користи се фундаментална скала апсолутних бројева – Сатијева скала (Табела 1).

Након што је спроведен поступак поређења по паровима на свим нивоима хијерархије потребно је прорачунати векторе релативних тежина односно приоритета. Вектори релативних тежина, у раду другачије названи као приоритети, могу се одредити на више начина.

Табела 1. Сатијева скала

Квантитативна вредност	Лингвистички исказ	Објашњење
1	Иста важност	Два елемента су идентичне важности у односу на елемент на вишем нивоу
3	Умерена доминантност	Мало фаворизовање једног елемента у поређењу са другим
5	Јака доминантност	Знатно фаворизовање једног елемента у поређењу са другим
7	Врло јака или демонстрирана доминантност	Доминантно висока важност једног елемента у поређењу са другим
9	Екстремна доминантност	Доминантност највишег степена
2,4,6,8	Искази између два суседна исказа	

Један од њих је применом апроксимативне методе за одређивање релативних тежина. Ова метода се базира на стандардном прорачуну вектора релативних тежина који се примењује код потпуно конзистентних матрица ($w_i, i = 1, \dots, n$), након чега се за свако $j, j = 1, \dots, n$ нађе аритметичка средина свих n вредности. Изразом (1) приказана је обједињена формула за прорачун вектора релативних тежина.

$$w_i = \frac{1}{n} \left(\frac{e_{ij}}{\sum_{k=1}^n e_{kj}} \right), \forall i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Где је:

w_i – вектор релативних тежина;

n – број разматраних критеријума/поткритеријума/ алтернатива;

e_{ij} – вредности параметра e конзистентне матрице за свако $i, i = 1, \dots, n$, и $j, j = 1, \dots, n$,

$\sum_{k=1}^n e_{kj}$ – сума вредности e конзистентне матрице по $k, k = 1, \dots, n$, за свако $j, j = 1, \dots, n$.

Након што је спроведен поступак поређења по паровима на свим нивоима хијерархије и прорачунати вектори релативних тежина треба извршити синтезу (агрегацију) свих вредновања, како би се добио коначни, укупни (агрегирани, композитни) вектор релативних тежина (приоритета) алтернатива и на основу тога одредио ранг алтернатива. Укупна релативна тежина алтернативе $A_i \in A$ израчунава се помоћу формуле (2):

$$w_{A_i} = \sum_j w_{K_j} \sum_r w_{K_{jr}}^{K_j} w_{A_i}^{K_{jr}} \quad \forall A_i \in A \quad (2)$$

Где је:

w_{A_i} – укупна релативна тежина алтернативе A_i ;

¹ eng. Analytic Hierarchy Process

$w_{A_i}^{K_j}$ – релативна тежина сваке алтернативе A_i у односу на r – ти поткритеријум који одговара критеријуму K_j ;

$w_{K_j}^{K_j}$ – релативна тежина r – тог поткритеријума одређена у односу на надређени критеријум K_j ;

w_{K_j} – релативна тежина сваког критеријума K_j у односу на постављени циљ.

На основу вредности w_{A_i} одређује се коначни ранг алтернатива, у складу са опадајућим вредностима низа w_{A_i} .

Последњи корак АНР методе је анализа осетљивости. Вршење анализе осетљивости се углавном примењује код рачунаром подржаног одлучивања. Као подршка процесу доношења одлуке засноване на АНР методи коришћен је софтвер SuperDecisions. Ручним прорачуном је дат увид и приказ на који начин поређење и рангирање врши софтвер, на основу којег је касније било могуће урадити анализу осетљивости.

3. Критеријуми за одабир технологије наплате путарине

Узимајући у обзир мноштво конфликтних критеријума са аспекта управљача пута и корисника, као и низ предности и недостатака које карактеришу сваку технологију, доношење одлуке по питању избора одговарајућег система представља изузетно сложен задатак. Након SWOT анализе² [16], дефинисани су критеријуми за одабир технологије наплате путарине:

1. Финансијски критеријуми:

- Процењен укупан приход од наплате путарине;
- Просечан трошак за корисника;
- Однос приход/трошкови;
- Инвестициони трошкови наплатног система;
- Експлоатациони трошкови наплатног система;
- Трошкови одржавања.

2. Економски критеријуми:

- Трошкови времена путовања;
- Трошкови експлоатације;
- Трошкови смањења емисије штетних гасова;
- Трошкови смањења броја саобраћајних незгода.

Одабир технологије за наплату путарине треба темељити на целокупној анализи свих наведених критеријума како би се постигао оптималан баланс између ефикасности, рентабилности, задовољства корисника и одрживости система. Такође, сам одабир технологије доприноси смањењу ових фактора што може имати дугорочне економске, еколошке и друштвене користи за заједницу.

4. Резултати и дискусије

Ради јаснијег приказа примене методе, тј. спровођења вишекритеријумске анализе добијени резултати су у наредним потпоглављима приказани по корацима, по угледу на алгоритамску форму АНР методе.

4.1. Структурирање проблема одлучивања у хијерархију

На нултом нивоу се налази циљ односно одабир најбоље технологије наплате путарине, затим на нивоу 1 налазе се критеријуми – финансијски и економски, на нивоу 2 се налазе поткритеријуми. Финансијски критеријум рашчлањен је на шест поткритеријума: процењен укупан приход од наплате путарине; просечан трошак за корисника; однос приход/трошкови; инвестициони трошкови наплатног система (капитални трошкови); експлоатациони трошкови наплатног система (оперативни трошкови); трошкови одржавања. Економски критеријум рашчлањен је на четири поткритеријума: трошкови времена путовања; трошкови експлоатације; трошкови смањења емисије штетних гасова и трошкови смањења броја саобраћајних незгода. На нивоу 3 се налазе алтернативе, у овом случају то су следеће технологије наплате путарине: DSRC са баријерама, DSRC MLFF, RFID, ANPR, GNSS/CN, вињета, ACM, SmartCard и Smartphones технологија наплате путарине.

Водећи се Сатијевом скалом и људском способношћу у вези са бројем елемената који је могуће истовремено сагледавати у процесу поређења по паровима, реда величине 7 ± 2 , у анализу нису укључене 4 технологије: мануелна технологија, Ваг – код технологије, инфраред технологија и тахограф технологија наплате путарине.

4.2. Поређење и прорачун релативних тежина елемената хијерархије

Избор одговарајућег система за наплату путарине се врши на основу финансијског и економског критеријума. У Табели 2 приказан је приоритет критеријума – финансијског и економског у односу на циљ – одабир одговарајуће технологије наплате путарине. Приоритет критеријума у односу на циљ процењен је директно. С обзиром да у збиру приоритет мора бити једнак јединици, процењено је да су финансијски и економски критеријуми подједнако важни у односу на циљ, одабир одговарајуће технологије наплате путарине, због чега су им додељене вредности 0.5.

² Strengths-Weakness-Opportunities-Threat analysis

Табела 2. Приоритет критеријума у односу на циљ

Критеријуми	Приоритет
Финансијски	0.5
Економски	0.5

4.2.1. Прорачун релативних тежина финансијских поткритеријума

Прорачун вектора релативних тежина вршен је помоћу формуле (1). Прорачунате вредности приказане су у наредној табели (Табела 3) у колони „Ручни прорачун“. Поред колоне где је приказан ручни прорачун, дате су вредности добијене прорачуном софтвера Super Decisions, ради њиховог поређења.

У Табели 3 приказан је приоритет поткритеријума: процењен укупан приход од наплате путарине, просечан трошак за корисника, однос приход/трошкови, инвестициони трошкови наплатног система (капитални трошкови), експлоатациони трошкови наплатног система (оперативни трошкови), трошкови одржавања, у односу на финансијски критеријум. Поређење наведених поткритеријума у односу на финансијски критеријум извршено је субјективно, на основу Сатијеве скале – нумеричким оцењивањем на скали од 1 до 9.

Табела 3. Приказ вредности релативних тежина финансијских поткритеријума

Поткритеријум	Приоритет (релативна тежина)	
	Прорачун софтвера	Ручни прорачун
Процењен укупан приход од наплате путарине	0.39	0.39
Просечан трошак за корисника	0.03	0.03
Однос приход/трошкови	0.28	0.27
Капитални трошкови	0.14	0.14
Оперативни трошкови	0.14	0.14
Трошкови одржавања	0.04	0.04
Σ	1.00	1.00
CI = 0.08661		

На основу Табеле 3 може се закључити да су вредности релативних тежина (приоритета) које су добијене ручним прорачуном и прорачуном софтвера Super Decisions једнаке. Највећу вредност релативне тежине (0.39) има поткритеријум „Процењен укупан приход од наплате путарине“ што указује на то да у поређењу са осталим поткритеријумима он има највећу важност, док са друге стране, најмању вредност релативне тежине (0.04) има поткритеријум „Просечан трошак за корисника“ што указује на то да је његова важност најмања у поређењу са осталим поткритеријумима. Вредности релативних тежина поткритеријума „Капитални трошкови“ и поткритеријума „Оперативни трошкови“ су једнаке (0.14) што их чини

подједнако важним (приоритетним). Софтвер Super Decisions даје могућност прорачуна индекса конзистентности. Индекс конзистентности $CI = 0.08661 \approx 0.1$ што представља горњу границу неконзистентности која је прихватљива.

4.2.2. Прорачун релативних тежина економских поткритеријума

Релативне тежине за сваки поткритеријум прорачунате су коришћењем формуле (1). Прорачунате вредности приказане су у Табели 4 у колони „Ручни прорачун“. Поред колоне где је приказан ручни прорачун, дате су вредности добијене прорачуном софтвера Super Decisions, ради њиховог поређења.

У Табели 4 приказан је приоритет поткритеријума: трошкови времена путовања, трошкови експлоатације, трошкови смањења емисије штетних гасова и трошкови смањења броја саобраћајних незгода у односу на економски критеријум. Поређење наведених поткритеријума у односу на економски критеријум извршено је такође субјективно, на основу Сатијеве скале – нумеричким оцењивањем на скали од 1 до 9.

Табела 4. Приказ вредности релативних тежина економских поткритеријума

Поткритеријум	Приоритет (релативна тежина)	
	Прорачун софтвера	Ручни прорачун
Трошкови времена путовања	0.29	0.29
Трошкови експлоатације	0.17	0.18
Трошкови смањења емисије штетних гасова	0.08	0.08
Трошкови смањења броја саобраћајних незгода	0.46	0.46
Σ	1.00	1.00
CI = 0.03276		

На основу Табеле 4 може се закључити да су вредности релативних тежина (приоритета) које су добијене ручним прорачуном и прорачуном софтвера Super Decisions једнаке.

Највећу вредност релативне тежине (0.46) има поткритеријум „Трошкови смањења броја саобраћајних незгода“ што указује на то да у поређењу са осталим поткритеријумима он има највећу важност, док са друге стране, најмању вредност релативне тежине (0.08) има поткритеријум „Трошкови смањења емисије штетних гасова“ што указује на то да је његова важност најмања у поређењу са осталим поткритеријумима. Индекс конзистентности $CI = 0.03276 < 0.1$ чиме је потврђена валидност унетих оцена.

4.2.3. Прорачун релативних тежина алтернатива (технологија наплате путарине) са финансијског аспекта

Релативне тежине за сваку алтернативу прорачунате су коришћењем формуле (1). Прорачунате вредности приказане су у Табели 5 у колони „Ручно“. Поред колоне где је приказан ручни прорачун, дате су вредности добијене прорачуном софтвера Super Decisions, ради њиховог поређења.

Табела 5. Приказ вредности релативних тежина у односу на процењен укупан приход од наплате путарине

Алтернатива	Приоритет (релативна тежина)	
	Софтвер	Ручно
DSRC са баријерама	0.11	0.11
DSRC MLFF	0.17	0.16
RFID	0.17	0.16
ANPR	0.11	0.11
GNSS/CN	0.25	0.25
Vinjeta	0.04	0.04
ACM	0.03	0.03
Smartcard	0.04	0.04
Smartphone	0.09	0.09
Σ	1.00	1.00
CI = 0.03479		

У Табели 5. приказан је приоритет алтернатива (технологија наплате путарине) у односу на процењен укупан приход од наплате путарине. Поређење алтернатива у односу на процењен укупан приход од наплате путарине извршено је субјективно, на основу Сатијеве скале – нумеричким оцењивањем на скали од 1 до 9. На основу Табеле 5. може се закључити да су вредности релативних тежина (приоритета) које су добијене ручним прорачуном и прорачуном софтвера Super Decisions једнаке.

Највећу вредност релативне тежине (0.25) има GNSS/CN технологија наплате путарине што указује на то да у поређењу са осталим технологијама она има највећи процењен приход од наплате путарине, док са друге стране, најмању вредност релативне тежине (0.03) имају аутомати за плаћање путарине, а одмах затим вињете као и SmartCard технологија наплате путарине, чија је вредност релативних тежина 0.04 што указује на то да у поређењу са осталим технологијама оне имају најмањи процењен приход од наплате путарине. DSRC MLFF и RFID технологије наплате путарине, имају исте вредности релативних тежина (0.17), као и DSRC са баријерама и ANPR технологије наплате путарине (0.11) на основу чега се може закључити да је процењен приход од наплате путарине код ових технологија приближно једнак. Индекс конзистентности $CI = 0.03479 < 0.1$ чиме је потврђена валидност унетих оцена.

4.2.4. Прорачун релативних тежина алтернатива (технологија наплате путарине) са економског аспекта

Релативне тежине за сваку алтернативу прорачунате су коришћењем формуле (1). Прорачунате вредности приказане су у Табели 6. у колони „Ручно“. Поред колоне где је приказан ручни прорачун, дате су вредности добијене прорачуном софтвера Super Decisions, ради њиховог поређења.

Табела 6. Приказ вредности релативних тежина у односу на трошкове смањења броја саобраћајних незгода

Алтернатива	Приоритет (релативна тежина)	
	Софтвер	Ручно
DSRC са баријерама	0.07	0.07
DSRC MLFF	0.15	0.15
RFID	0.15	0.15
ANPR	0.24	0.23
GNSS/CN	0.24	0.23
Vinjeta	0.07	0.07
ACM	0.02	0.02
Smartcard	0.02	0.02
Smartphone	0.04	0.04
Σ	1.00	1.00
CI = 0.02790		

У Табели 6 приказан је приоритет алтернатива (технологија наплате путарине) у односу на трошкове смањења броја саобраћајних незгода. Поређење алтернатива у односу на трошкове смањења броја саобраћајних незгода извршено је субјективно, на основу Сатијеве скале – нумеричким оцењивањем на скали од 1 до 9.

На основу Табеле 6 може се закључити да су вредности релативних тежина (приоритета) које су добијене ручним прорачуном и прорачуном софтвера Super Decisions једнаке. Највећу вредност релативне тежине (0.24) имају ANPR и GNSS/CN технологије наплате путарине што указује на то да су у поређењу са осталим технологијама, трошкови смањења броја саобраћајних незгода код ове две технологије најмањи. Најмању вредност релативне тежине (0.02) имају аутомти за плаћање путарине и SmartCard технологија наплате путарине што указује на то да су у поређењу са осталим технологијама, код ових технологија за наплату путарине, трошкови смањења броја саобраћајних незгода највећи. Индекс конзистентности $CI = 0.02850 < 0.1$ чиме је потврђена валидност унетих оцена.

4.3. Налажење решења и рангирање алтернатива

Након што је спроведен поступак поређења по паровима на свим нивоима хијерархије и прорачунате вредности релативних тежина, потребно је извршити синтезу свих вредновања, како би се добио коначни, укупни вектор релативних

тежина алтернатива и тиме ранг алтернатива. Формулом (2) прорачунат је коначни, укупни вектор релативних тежина за сваку алтернативу.

У Табели 7 приказан је укупни вектор релативних тежина свих алтернатива, односно технологија наплате путарине међу којима се врши избор, добијен ручним прорачуном, као и прорачуном у SuperDecisions софтверу.

Табела 7. Укупни приоритети алтернатива

Алтернатива	Прорачун софтвера	Ранг	Ручни прорачун	Ранг
DSRC са баријерама	0.093	6	0.093	6
DSRC MLFF	0.163	3	0.161	3
RFID	0.169	2	0.167	2
ANPR	0.137	4	0.136	4
GNSS/CN	0.174	1	0.173	1
Vinjeta	0.062	7	0.064	7
ACM	0.040	9	0.040	9
Smartcard	0.051	8	0.052	8
Smartphone	0.113	5	0.113	5

На основу података из Табеле 7 као и у складу са дефинисаним проблемом и одређеним приоритетима показује се да је GNSS/CN (0.174) најбоље рангирана технологија наплате путарине. RFID технологија наплате путарине (0.169) и DSRC MLFF технологија (0.163) су равноправно добре, док су на последњем месту аутомати за плаћање путарине (0.040).

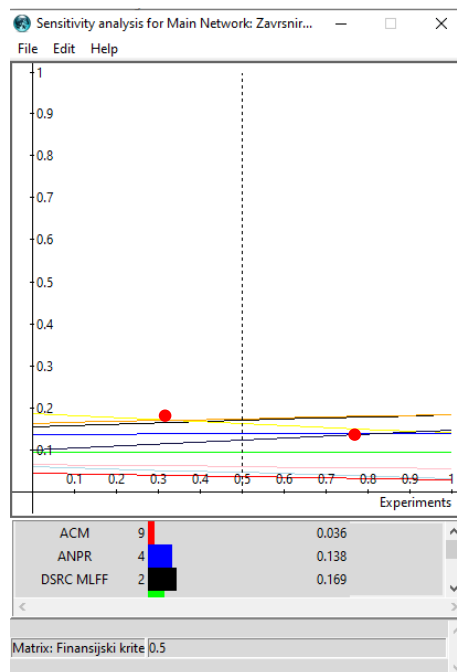
4.4. Анализа осетљивости решења

Анализа осетљивости се спроводи након дефинисања иницијалних одлука (са добијеним тежинама критеријума) да би се идентификовао утицај промене у приоритетима критеријума на одабир технологије наплате путарине. Задатак анализе осетљивости је да прикаже реакцију постојећег рангирања алтернатива на промене у релативним тежинама сваког примарног критеријума. Тежина одређеног критеријума је приказана на x – оси, а укупни приоритети технологија наплате путарине на y – оси. Графикон показује да ли се приоритет одређене технологије за наплату путарине повећава или смањује са променом тежине датог критеријума. Тачке где се линије алтернатива пресецају се називају „тачке уступања“ и показују при којој тежини критеријума ће доћи до промене приоритета.

На Слици 1 приказана је анализа осетљивости за поткритеријум „однос приход/трошкови“, а на Слици 2 анализа осетљивости за поткритеријум „трошкови смањења броја саобраћајних незгода“. Црвеном бојом приказани су аутомати за плаћање путарине, плавом ANPR технологија за наплату путарине,

црном бојом DSRC MLFF технологија за наплату путарине, зеленом бојом DSRC са баријерама, жутом бојом GNSS/CN технологија за наплату путарине, наранџастом бојом RFID технологија, светлоплавом бојом SmartCard технологија, тамноплавом бојом Smartphone технологија и розе бојом вињете.

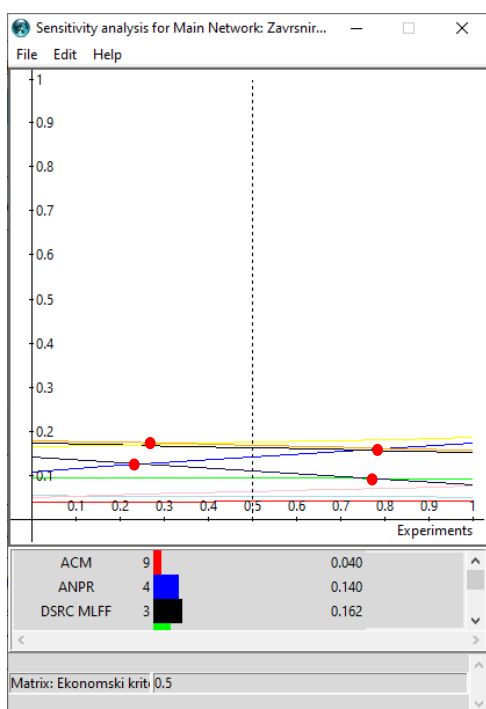
На Слици 1 се прво уочава пресецање три технологије за наплату путарине, GNSS/CN, RFID и DSRC MLFF технологије за наплату путарине, а затим и пресецање ANPR и Smartphone технологија за наплату путарине. Давањем већег значаја поткритеријуму „однос приход/трошкови“ би утицало на то да се укупни приоритет RFID и DSRC MLFF технологије за наплату путарине, као и Smartphone технологије за наплату путарине повећа и обрнуто, смањење значаја поткритеријума „однос приход/трошкови“ би утицало на то да се укупни приоритет GNSS/CN технологије за наплату путарине и ANPR технологије за наплату путарине повећа. Са друге стране, технологије за наплату путарине које су у континуитету, DSRC са баријерама, вињете, Smartphone и ACM технологија, су стабилне, па повећањем или смањењем значаја поткритеријума „однос приход/трошкови“ се не утиче на промену њиховог приоритета.



Слика 1. Анализа осетљивости решења на промену тежине поткритеријума „однос приход/трошкови“

На Слици 2 се прво уочава пресецање две технологије за наплату путарине ANPR и Smartphones технологије, након тога долази до пресецања три технологије за наплату путарине, GNSS/CN, RFID и DSRC MLFF технологија за наплату путарине, до пресецања ANPR, RFID и

DSRC MLFF технологија за наплату путарине, као и до пресецања Smartphones и DSRC са баријерама технологија за наплату путарине. Давање већег значаја поткритеријуму „трошкови смањења броја саобраћајних незгода“ би утицало на то да се укупни приоритет GNSS/CN, ANPR и DSRC са баријерама технологија за наплату путарине повећа и обрнуто, смањење значаја поткритеријума „трошкови смањења броја саобраћајних незгода“ би утицало на то да се укупни приоритет RFID, DSRC MLFF и Smartphones технологије за наплату путарине повећа. Са друге стране, технологије за наплату путарине које су у континуитету, вињете, SmartCard и ACM технологија, су стабилне, па повећањем или смањењем значаја поткритеријума „трошкови смањења броја саобраћајних незгода“ се не утиче на промену њиховог приоритета.



Слика 2. Анализа осетљивости решења на промену тежине критеријума "трошкови смањења броја саобраћајних незгода"

5. Закључак

Посматрајући добијене вредности релативних тежина уочава се да:

- Поткритеријум „Процењен укупан приход од наплате путарине“ чији је приоритет 0.39, у поређењу са осталим финансијским поткритеријумима има највећу важност.
- Поткритеријум „Просечан трошак за корисника“ чији је приоритет 0.04, у поређењу са осталим финансијским поткритеријумима има најмању важност.

- Поткритеријум „Трошкови смањења броја саобраћајних незгода“ чији је приоритет 0.46, у поређењу са осталим економским поткритеријумима има највећу важност.
- Поткритеријум „Трошкови смањења емисије штетних гасова“ чији је приоритет 0.08, у поређењу са осталим економским поткритеријумима има најмању важност.
- GNSS/CN технологија наплате путарине, чија је вредност релативне тежине 0.25, има највећи процењен приход од наплате путарине, док аутомати за плаћање путарине, чија је вредност релативне тежине 0.03, имају најмањи процењен приход од наплате путарине, у поређењу са осталим технологијама за наплату путарине.
- ANPR и GNSS/CN технологије за наплату путарине, чије су вредности релативних тежина 0.24, имају најмање трошкове смањења броја саобраћајних незгода, док аутомати за плаћање путарине и SmartCard технологија за наплату путарине, чије су вредности релативних тежина 0.02, имају највеће трошкове смањења броја саобраћајних незгода, у поређењу са осталим технологијама за наплату путарине.

На основу спроведеног истраживања могу се донети следећи закључци:

- Најбоље рангирана технологија наплате путарине је GNSS/CN чија је вредност укупног вектора релативне тежине 0.174.
- RFID технологија наплате путарине и DSRC MLFF технологија су равноправно добре, и имају вредност укупног вектора релативне тежине 0.169 и 0.163 редом.
- Најлошије рангирана технологија наплате путарине су аутомати за плаћање путарине, чија је вредност укупног вектора релативне тежине 0.040.

Литература

- [1] Milenković, M., Glavić, D., & Mladenović, M. N. (2018). Decision-support framework for selecting the optimal road toll collection system. *Journal of Advanced transportation*, 2018.
- [2] Glavić, D., & Milenković, M. (2016). Comparative analysis of road tolling technologies. In *Proceedings of the II Serbian Road Congress* (pp. 562-568).
- [3] Glavić, D., Mladenović, M. N., Milenković, M., & Malenkovska Todorova, M. (2021). User perspectives on distance-and time-based road tolling schemes: European case study. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 147(9), 05021005.
- [4] Mladenović, M., Jolović, D., & Glavić, D. (2016, June). Policy implications for congestion pricing in the city of Belgrade. In *Proceedings of the II Serbian Road Congress, Belgrade, Serbia*.
- [5] Glavić, D., Milenković, M., & Mladenovic, M. (2020). Promethee R rating instead of ranking - Case study of the road toll collection system selection. *ResearchGate*.
- [6] Milenković, M., Stepanović, N., Glavić, D., Tubić, V., Ivković, I., & Trifunović, A. (2020a). Methodology for determining ecological benefits of advanced tolling systems. *Journal of Environmental Management*, 258, Article ID 110007.
- [7] Glavić, D., Milenković, M., (2021). Komerцијална експлоатација саобраћајне инфраструктуре, Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет.
- [8] Glavić, D. (2016). Komerцијална експлоатација autoputeva: tehnologije naplate putarine. *Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет*.
- [9] Kuzović, L. T., Aleksić, B. L., & Glavić, D. N. (2015). The application of the multi-criteria analysis in evaluating of the road designs. *Tehnika*, 70(1), 143-150.
- [10] Pogarcic, I., Pogarčić, I., Frančić, M., & Davidović, V. (2008). Application of AHP Method in Traffic Planning Vlatka Davidovic Polytechnic of Rijeka APPLICATION OF AHP METHOD IN TRAFFIC PLANNING. <https://www.researchgate.net/publication/228772433>
- [11] Kadkhodaei, M., & Shad, R. (2018). Analysis and Evaluation of Traffic Congestion Control Methods in Touristic Metropolis Using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Civil Engineering Journal*, 4(3), 602–608. <https://doi.org/10.28991/CEJ-0309119>.
- [12] Šurdonja, S., Kišić, I., Deluka-Tibljaš, A., & Karleuša, B. (2019). Use of AHP method in the traffic planning-Example of selecting an optimal intersection type. *Pubs.Aip.Org*. <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2186/1/160002/667221>
- [13] Albert, G., Musicant, O., & Oppenheim, I. (2016). Which smartphone's apps may contribute to road safety? An AHP model to evaluate experts' opinions. *Elsevier*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X16303195>
- [14] Jakimavičius, M. (2018). Analysis and assessment of Lithuanian road accidents by AHP method. *Bjrbe-Journals.Rtu.LvM JakimavičiusThe Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 2018•bjrbe-Journals.Rtu.Lv. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2018-13.414>
- [15] Dimitrijević, B. (2023). *Višeatributivno odlučivanje – primene u saobraćaju i transportu* (1st ed., pp. 99-127). *Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет*.
- [16] Glavić, D. (2013). SWOT analiza sistema naplate putarine u Evropi, *Put i saobraćaj*, 59(4), 21-30.

Multi – criteria analysis of toll collection technologies from a financial and economic aspect

Isidora Marković

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering

Jelica Komarica

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering

Abstract: The choice of the appropriate toll collection system is a very important decision because it requires significant investment and a poor decision regarding the choice of toll collection system can lead to major economic, environmental, and social problems for both present and future generations. This study aims to propose a methodological framework for decision support in selecting toll collection systems based on comprehensive multi-criteria analysis. The selection of the most effective toll collection system was performed from financial and economic aspects, using the AHP method. The study included 9 different toll collection technologies: DSRC with barriers, DSRC MLFF, RFID, GNSS/CN, ACM, ANPR, SmartCard, Smartphone, and vignettes. By the defined problem and specific priorities, it was found that GNSS/CN (0.174) is the best toll-collection technology. RFID toll collection technology (0.169) and DSRC MLFF technology (0.163) are equally good, while automated toll payment booths (0.040) are at the bottom. The obtained results can help decision-makers when choosing the most profitable toll-collection technology from the financial and economic aspects.

Keywords: toll-collection technology, AHP method, financial criteria, economic criteria.