

## Cost-Effectiveness analiza putno meteorološkog informacionog sistema (PMIS)

Marijana Mošić<sup>a</sup>, Draženko Glavić<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

### PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.65.02.07

Stručni rad

Primljen: 10.04.2019

Prihvaćen: 17.06.2019

Korespondent autor:

*marijanamosic7@gmail.com*

*Ključne reči:*

PMIS

Održavanje puteva

Zimsko održavanje

ITS

### REZIME

Poznavanje aktuelnih atmosferskih uslova na putevima od velikog je značaja – kako za upravljače puta tako i za korisnike. PMIS stanice beleže sve relevantne lokalne atmosferske uslove u realnom vremenu i prenose te informacije u upravljačke centre. Ove informacije imaju dominantnu primenu u planiranju aktivnosti vezanih za održavanje puteva u zimskim uslovima. Analizom literature koja se odnosi na troškove i koristi PMIS stanica uočava se da je njihovo implementiranje u saobraćajnu infrastrukturu ne samo ekonomski isplativo, već donosi i brojne koristi kao što je efikasnije održavanje puteva i olakšanu organizaciju raspoloživih sredstava u cilju zimskog održavanja puteva. Implementacija ovakvog sistema doprinosi bezbednosti korisnika na mreži javnih puteva, kao i smanjenju broja saobraćajnih nezgoda u kojima je kao uzrok prepoznat put i stanje kolovoza. Na putnoj mreži Republike Srbije postavljeno je 28 meteoroloških stanica. Na osnovu istorijskih podataka o stanju na putevima sa pomenutih stanica u prethodnom periodu zimskog održavanja i cene implementiranja pojedinačne stanice izvršena je Cost-Effectiveness analiza PMIS u Republici Srbiji.

### 1. Uvod

U cilju prilagođavanja sve većim transportnim zahtevima korisnika putne infrastrukture, upravljači puteva pokušavaju da sa konvencionalnih pređu na savremena rešenja koja će omogućiti pouzdaniju realizaciju saobraćajnog procesa u svim vremenskim uslovima. Jedna od savremenih tehnologija koja može doneti značajna poboljšanja u upravljanju putevima jeste putno meteorološki informacioni sistem (PMIS). PMIS čini više povezanih uređaja za predikciju atmosferskih uslova i merenje svih relevantnih atmosferskih uslova u realnom vremenu. Kako bi se obezbedila prohodnost na putevima neophodno je na vreme sprovesti upravljačke akcije održavanja. Podaci sa putnih meteoroloških stanica, osim što se koriste za operativne centre, prenose se i učesnicima u saobraćaju u cilju njihovog informisanja o trenutnim spoljnim temperaturama, postojanju leda ili snežnih nanosa na putevima.

Parametri koji se mere na stanicama su sledeći:

- temperatura vazduha, temperatura površine puta, temperatura podloge na dubini od 30 cm;
- površinski uslovi (suvo, vlažno, sneg, led);

- dubina vode;
- vrsta, intenzitet i količina padavina;
- brzina, pravac i smer vetra;
- vlažnost vazduha;
- vidljivost;
- tačka rose (izračunata) i
- koncentracija hemikalija za odleđivanje.

Osim informacija o navedenim parametrima, na svakoj stanici postoje i kamere za video nadzor puta, koje emituju sliku upravljačkom centru u realnom vremenu.

PMIS stanice očitavaju i u realnom vremenu šalju informacije o prethodno navedenim parametrima. Stanice sa detektorima se instaliraju pored puta, kao i na samom kolovozu (Slika 1).

Uređaji koji se postavljaju pored puta mere temperaturu i vlažnost vazduha, vidljivost i temperaturu podloge. Na vrhu svake stanice postavljene su kamere koje konstantno snimaju deonicu na kojoj se nalaze i na osnovu vizuelnog prenosa slike upravljači puta mogu proveriti podatke koji su dobili sa uređaja i bolje proceniti koje mere treba preduzeti s kojim stepenom hitnosti.

На путу су постављени детектори који мере температуру површине пута, дубину воде на коловозу и остале површинске услове.

Параметри који се мере нису једнозначно дефинисани за сваку станицу већ зависе од захтева институције која је надлежна за одржавање.



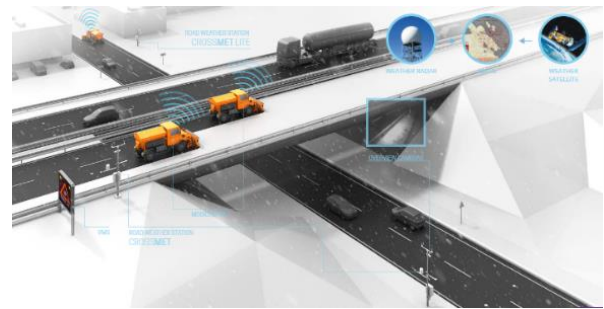
**Slika 1.** Станица PMIS

Izvor: <https://www.campbellsci.com/>

Подаци се могу преносити преко *field bus* технологије, GSM/GPRS/EDGE или оптичког кабла у складу са TLS. Имплементацијом PMIS станица, организација одржавања пута захваљујући свим наведеним параметрима који се могу мерити и транспарентности о реалним условима на путу доводи до користи од којих се могу издвојити:

- смањење броја саобраћајних незгода изазваних атмосферским условима као што су лед на путу, смог или влажан коловоз;
- смањење броја нerealizovanih putovanja
- ефикасније одвијање саобраћаја и
- постојање доказа у случају незгода чији су узрок временске непогоде.

Управљачи путева suočavaju се са све већим захтевима и ожекиванјима корисника у веzi са мобилношћу, поузданошћу и безбедношћу током непогодних атмосферских услова. Међутим, истовремено се suočavaju и са ограничењима буџета. Увођење PMIS станица svakako би знатно olakšalo одржавање путева, али пре donošenja investicione odluke мора се извршити анализа користи и трошкова, како би та одлука била оправдана са финансијског аспекта.



**Slika 2.** Наћин функционисања система

Izvor: [www.cross.cz](http://www.cross.cz)

## 2. Pregled literature

Planiranje i ugradnja PMIS ranije je predstavljala komplikovan i izazovan proces. Tradicionalno planiranje одржавања највише се oslanjalo на iskustvu из prethodnih godina u одржавању и znanju и veštinama zaposlenih. Један од segmenata истраживања u dostupnoj literaturi jeste kako izabrati optimalnu lokaciju stanica i postupak razvijanja potrebnih modela za izbor. U ovom radu, pregled literature fokusiran je na Cost - Benefit analizu PMIS, odnosno utvrđivanje ekonomske isplativosti implementacije ovog sistema. PMIS je један од najrasprostranjenijih sistema koje Ministarstvo transporta SAD (*eng. Department of Transportation*) koristi u formiranju odluka vezanih za одржавање tokom zimskih nepogoda. Као што се и očekivalo за тако rasprostranjenu aplikaciju, трошкови, користи и ефективност PMIS су испитивани širom sveta.

Studijom o ekonomskom uticaju zimskog одржавања на кориснике puteva (Hanibali, R. 1994) u Milvokiju u američkoj saveznoj држави Viskonsin, ocenjena je ефикасност operacija одржавања zimskih puteva i ekonomskog uticaja на кориснике. Studija je обухватила analizu трошкова и користи operacija zimskog одржавања puteva tokom uslova snega и leda и pokazala uštedu трошкова po pređenom putnom kilometru. Параметри који су razmatrani u analizi су redukcija броја саобраћајних незгода, redukcija трошкова eksploatacije motornih vozila и smanjenje vremena putovanja. Истраживање је pokazalo да је dominantna ušteda ostvarena u smanjenju броја саобраћајних незгода чиме је dokazano да се увођењем PMIS трошкови саобраћајних незгода tokom nepovoljnih uslova могу smanjiti до 88%, а njihova težina до 10%. Истраживањем је такође utvrđeno да је tokom прва 4 часа korišćenja PMIS odnos користи и трошкова zimskog одржавања iznosio 6,5 prema 1.

Како би utvrdili ekonomsku opravdanost implementiranja PMIS sistema naučnici су razvili model Cost-Benefit analize. Истраживање (McKeever et al. 1998) је sprovedeno u gradu Abilin u američkoj saveznoj држави Teksas. Nakon sumiranja трошкова и користи povezanih са implementacijom sistema, modelom је procenjeno да će ekonomske користи dobijene ugradnjom PMIS, tokom celog životnog veka једне stanice од 50 godina biti преко \$923,000.

Scenariju u kom se ne preduzimaju nikakve akcije, dodeljena je vrednost 0. Kako je vrednost implementacije PMIS-a veća od 0, izveden je zaključak da je implementacija ovog sistema bolja alternativa od postojećeg stanja bez investicije.

Pregled radova na ovu temu autora Bossely S.E. (2001) i Lasky et al. (2006) pokazuje da se PMSI pokazao kao efikasna tehnologija u zimskom održavanju puteva od koje se očekuje ušteda tokom celog životnog veka stanice. U radovima navedenih autora odnos troškova i koristi se kretao od 1.1 do 11.

U istraživanju Veneziano et al. (2013), korišćena su dva pristupa za odabir diskontne stope. Prvi je bio da se uzme u obzir Indeks potrošačkih cena (CPI) koji američka Kancelarija za upravljanje budžetom (OMB) preporučuje na osnovu vladinih stopa zaduživanja od 7 procenata. Drugi pristup je zapošljavanje američke Kancelarije za upravljanje budžetom.

Studija slučaja ispituje potencijalnu implementaciju PMIS stanica na celokupnoj putnoj mreži savezne države Ajova gde je ovaj sistem već u upotrebi. Kao parametri za procenu PMIS-a bili su korišćeni potencijalni životni vek stanice od 10 godina i kamatna stopa od 7%. U ovom izveštaju nisu razmatrani društveni ili korisnički troškovi povezani sa PMIS.

Odnos koristi i troškova ukazuje da za svaki \$1 potrošen na PMIS, država ostvaruje uštede (prvenstveno u upotrebi materijala) od \$3,80. Ovi rezultati su povoljniji od onih u ranijoj literaturi gde je PMIS proizveo odnose koristi i troškova između 1.1 i 11.0.

Razlog zbog kojeg se rezultati analize Veneziano et al. (2013) razlikuju od ostalih autora jeste činjenica da je za proračun troškova i koristi u obzir uzeto više parametara nego u prethodnim istraživanjima gde je fokus bio na dva ili tri dominantna.

### 3. Cost-effectiveness analiza

Cost-Effectiveness Analiza (CEA) je oblik ekonomsko-inženjerske analize u kojoj se porede troškovi (u ovom slučaju zimskog održavanja) i ishodi ili efekti (u ovom slučaju smanjen utrošak materijala ili smanjen broj SN i dr.) za jedan ili više standarda održavanja (Glavić, D. et al. 2014).

Cost-Effectiveness analiza se razlikuje od Cost-Benefit analize, jer ne dodeljuje novčanu vrednost već meri efekat neke mere, odluke, projekta, politike ili u ovom slučaju efekte standarda zimskog održavanja.

Cost Benefit Analiza (CBA) se može koristiti za odabir ekonomski najisplativijeg standarda održavanja dok se CEA analiza može koristiti za odabir najefektivnijeg standarda održavanja, što značajno može pomoći donosiocima odluka pri odabiru optimalnog standarda održavanja.

U CEA porede se troškovi u novčanoj vrednosti i postignuti efekti razmatrane opcije u smislu fizičkih jedinica. Kako se troškovi i očekivani, odnosno postignuti efekti ne mogu svesti na istu jedinicu, može se izračunati samo odnos troškova i efekata mera na sledeće načine:

$$CE = C1/E1$$

$$EC = E1/C1 \text{ gde:}$$

$C1$  = cena opcije 1 (u novčanim jedinicama) i

$E1$  = efektivnost opcije 1 (u fizičkim jedinicama).

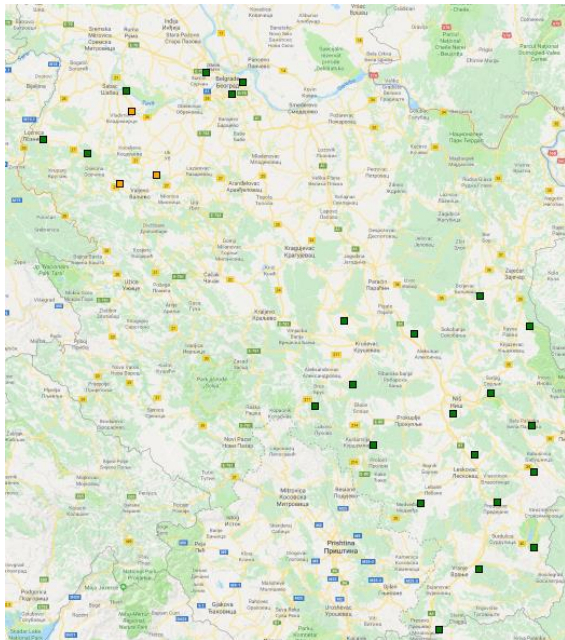
Prva jednačina predstavlja trošak po jedinici efektivnosti. Projekti mogu biti rangirani prema CE odnosu od najnižeg do najvišeg. Najisplativiji projekat ima najmanji CE odnos. Druga jednačina je efektivnost po jedinici troškova. Projekti bi trebali biti rangirani od najvećih do najnižih odnosa CEA. Kao i kod CBA, nivo detalja za analizu obično će zavisiti od konkretnog problema koje se rešava, ali bi bilo poželjno imati širok pregled troškova i koristi kako bi se obuhvatile sve zainteresovane strane.

### 4. CEA putno-meteorološkog sistema u Srbiji

Održavanje puteva u zimskom periodu, i u ostalim periodima pri ekstremnim vremenskim prilikama (kiša, magla, nakupljanje vode) sprečavanje pojave poledice, uklanjanje snega i vode je veoma delikatan, skup i odgovoran posao koji podrazumeva angažovanje ogromnih resursa: materijala, radne snage, specijalizovane opreme, građevinske mehanizacije i smeštajnih kapaciteta. Izdaci mogu biti veliki i kada nema intenzivnih snežnih padavina ili poledice jer je neophodno konstantno dežurstvo osoblja i mehanizacije. Iz tih razloga određuju prioritete i nivo održavanja po deonicama.

Primenom CEA zimskog održavanja, tačnije korišćenja PMIS-a u okviru zimskog održavanja, mogla bi analizirati isplativost ulaganja u takav sistem u odnosu na efekte koji će biti postignuti primenom razmatrane varijante. Troškovi implementacije PMIS se generalno mogu podeliti na direktne i indirektno. Direktne troškove obuhvataju: troškove instalacije pojedinačne stanice PMIS, stanice, pripreme lokacije, instalacije komunikacionih uređaja po jedinici i centralne procesorske jedinice. Indirektni troškovi primene PMIS su godišnji troškovi telekomunikacionog saobraćaja, održavanja i obuke.

Ostvareni efekti primene PMIS sistema mogu biti smanjenje utrošenog materijala, promena trenda broja saobraćajnih nezgoda, optimalnija organizacija voznog parka upravljača puta, smanjenje broja ukupnog transportnog rada, broja dana kojima su vozila bila angažovana i slično.



**Slika 3.** Položaj stanica duž putne mreže Republike Srbije  
Izvor: JP Putevi Srbije

U Republici Srbiji postavljeno je 28 putno-meteoroloških stanica (Slika 3). Na osnovu podataka dobijenih od državnih institucija pod čiju nadležnost spada zimsko održavanje puteva, u sledećoj tabeli prikazani su ulazni podaci troškova primene PMIS-a i efekata postignutih primenom istih.

**Tabela 1.** Ulazni podaci troškova i efekata PMIS-a

Angažovanje radnika i mehanizacije	Vrednost
Angažovanje radnika	653 din/čas
Kamion kiper preko 15 t nosivosti	7,608 din/čas
Kamion kiper do 15 t nosivosti	5,526 din/čas
Kamion kiper do 10 t nosivosti	4,410 din/čas
Kamion kiper do 8 t nosivosti	3,796 din/čas
Specijalno vozilo sa frezom za sneg	5,857 din/čas
Početni troškovi sistema	Vrednost
Cena PMIS stanice	2,832,000 din
Troškovi instalacije	295,000 din
Priprema lokacije	0 din
Instalacija komunikacionih uređaja po stanici	4,720 din
Godišnji troškovi	Vrednost
Godišnji troškovi komunikacije	23,600 din
Godišnji troškovi održavanja	N/A
Godišnji troškovi obuke	N/A
Godišnje beneficije upravljača	Vrednost
Smanjena upotreba materijala	15%
Smanjen broj saobraćajnih nezgoda	14%
Smanjeni troškovi eksploatacije vozila	10%

Troškovi angažovanja radnika i mehanizacije preuzeti su iz Cenovnika zimskog održavanja JP „Putevi Srbije“, odakle je dobijena i informacija o prosečnoj ceni PMIS stanice.

Početni troškovi sistema preuzeti su iz modela koji su primenili Veneziano et al. (2014) usled nemogućnosti dobijanja potrebnih podataka u Republici Srbiji. Procentualno izražena godišnja korist upravljača preuzeta je iz strane literature u poglavlju 2.

Kako je PMIS implementiran u Republici Srbiji tokom 2005. i 2006. godine, efekti dobijeni primenom ovog sistema mogu se dobiti analiziranjem podataka iz godina pre pomenutih i podataka iz tekuće godine.

Za primer ovog rada uzeta je deonica državnog puta 24 I-B reda, Pojate-Kruševac-Trstenik, dužine 56,17km. Kao optimalna PMIS stanica izabrana je stanica Trstenik.

Zimsko održavanje obuhvata period od 01.11. do 01.04. Dešava se da do pojave snega dođe i pre zakonskog početka zimskog održavanja, međutim u ovom radu obuhvaćen je samo zakonski okvir rada službe za zimsko održavanje puteva.

U slučaju kada je temperatura ispod nule preventivno se baca 5 g soli po m<sup>2</sup>, dok se u slučaju pojave snega preventivno baca 15 g soli po m<sup>2</sup>. Puntkovi sa mehanizacijom se postavljaju na 40 km. Mehanizaciju za jedan punkt čine četiri kamiona, dok se u zavisnosti od stepena padavina na teren šalje:

I stepen – 25 % mehanizacije,

II stepen – 50% mehanizacije,

III stepen – 75% mehanizacije i

IV stepen – 100% mehanizacije.

Na osnovu podataka sa putno-meteoroloških stanica utvrđeno je da su za pet meseci u Trsteniku 7 dana bile snežne padavine, dok je 37 dana temperatura bila ispod nule.

Važno je napomenuti da stanica 15 dana nije bila u funkciji zbog oluje i da postoji mogućnost da je ovaj broj veći sa pozitivnim standardnim odstupanjem od maksimum 15 dana. Nakon svega navedenog, zaključeno je da je mehanizacija bila angažovana 44 dana.

Na osnovu pređašnjeg iskustva putara, sneg pada u proseku 20 do 30 dana tokom zimskog održavanja, dok je temperatura ispod nule oko 30 dana.

Takođe, pre implementacije PMIS, tokom celog perioda zimskog održavanja tri puta dnevno po 2 časa zaposleni su išli u obilazak terena kako bi se utvrdili meteorološki uslovi što je dovelo do povećanog broja pređenih kilometara i potrošnje goriva. Sve navedeno čini ukupan broj od oko 60 dana angažovanja mehanizacije. Kada ovaj rezultat uporedimo sa rezultatom sa PMSI, primećuje se razlika od 16 dana.

## 5. Diskusija i zaključak

Zimski uslovi prouzrokuju sneg, led i tzv. bljuzgavicu na putevima i ulicama stvarajući otežane uslove vožnje i probleme za korisnike puteva, ekstremno i prekide u saobraćaju. Da bi se ovi problemi sveli na minimum, službe koje su zadužene za održavanje puteva preduzimaju odgovarajuće operativne mere (čišćenje puta i posipanje soli, rizle i drugih agensa). Navedene aktivnosti zimskog održavanja direktno utiču na, povećanu mobilnost, smanjenje eksploatacionih troškova vozila, smanjenje vremena putovanja i povećanje bezbednosti (Glavić, D. et al. 2014).

CEA analiza može se koristiti za odabir najefektivnijeg standarda održavanja. Primenom CEA zimskog održavanja, tačnije korišćenja PMIS-a u okviru zimskog održavanja, mogla bi se analizirati isplativost ulaganja u takav sistem u odnosu na efekte koji će biti dostignuti primenom razmatrane varijante. Troškovi i efekti koji se mogu kvantifikovati su mnogobrojni, a najvažnije je utvrditi merodavne i, uz direktne, razmotriti i indirektno troškove.

Stanje kolovoza utiče na troškove eksploatacije vozila i troškove bezbednosti saobraćaja. Prepoznavanjem lošeg eksploatacionog stanja kolovoza u realnom vremenu i brzim otklanjenjem uzroka lošeg stanja (sneg, led, bljuzgavica i dr) dolazi do smanjenja navedenih troškova. Odnosno efikasnije održavanje kolovozne konstrukcije, utiče pozitivno na smanjenje troškova eksploatacije i troškova bezbednosti (Glavić, D. et al. 2018).

Prema Borojević, Z., (2018) u zimskoj sezoni 2004/2005 procenjeno je da su ostvarene uštede od 40% jedinične cene zimskog održavanja (na Pilot teritoriji) čime se investiranje u implementaciju PMIS-a može opravdati za jednu zimsku sezonu.

PMIS se dominantno primenjuje u zapadnoj Evropi i Sjedinjenim Američkim Državama. Implementacija stanica PMIS-a doprinosi kvalitetnijem i efikasnijem održavanju puteva. Korišćenje CEA analize može strukturirati i olakšati proces izbora optimalnog rešenja pri odabiru optimalnog standarda održavanja. Analizom literature koja se odnosi na troškove i koristi PMIS stanica uočava se da bi Republika Srbija njihovim implementiranjem u saobraćajnu infrastrukturu osim ekonomske isplativosti ubrala i brojne koristi kao što su:

- smanjenje broja saobraćajnih nezgoda izazvanih atmosferskim uslovima kao što su led na putu, smog ili vlažan kolovoz;
- smanjenje broja nerealizovanih putovanja;
- uštede u troškovima vremena putovanja;
- uštede u troškovima eksploatacije vozila;
- efikasnije odvijanje saobraćaja i
- postojanje dokaza u slučaju nezgoda čiji su uzrok vremenske nepogode.

### Cost- effectiveness analysis of the road-weather information system (RWIS)

Marijana Mošić, student  
Draženko Glavić, PhD.TE

**Abstract:** Knowing the current atmospheric conditions of the roads is of great importance, both for road managers and for road users. RWIS stations record all relevant local atmospheric conditions in real time and transmit this information to control centers. This information has a dominant application in planning activities related to road maintenance in winter conditions. An analysis of the literature relating to the costs and benefits of RWIS stations indicates that their implementation in the transport infrastructure is not only economically profitable, but also offers a number of benefits such as more efficient road maintenance and facilitated organization of available funds, all for the purpose of winter road maintenance. Implementation of this system contributes to the safety of users on the public road network, as well as to the reduction of the number of traffic accidents in which the road and its condition are recognized as the cause. Twenty-eight meteorological stations were installed on the road network of the Republic of Serbia. On the basis of the historical data on the state of the roads from the mentioned stations in the previous period of winter maintenance and an individual implementation cost, the cost-effectiveness analysis of RWIS in the Republic of Serbia was performed.

**Key words:** RWIS, road maintenance, winter maintenance ITS

## Literatura

- [1] Glavić, D., Milenković, M., Nikolić, M., & Mladenović, M. N. (2018). Determining the number and location of winter road maintenance depots—a case study of the district road network in Serbia. *Transportation planning and technology*, 41(2), 138-153.
- [2] Glavic, D., Mladenovic, M. N., & Stevanovic, A. (2016). Policy Improvements for Winter Road Maintenance in South-East Europe: Case Study of Serbia. *Public Works Management & Policy*, 21(2), 173-195.
- [3] Glavic, D., Tadic, K., & Damjanović, O. (2018). Uticaj stanja kolovoza na troškove eksploatacije i bezbednosti. *Put i saobraćaj*, 64(1), 53-59.
- [4] Glavić, D., Milenković, M., Trifunović, A. (2014). Cost-Benefit i Cost-Effectiveness analiza zimskog održavanja puteva, Prvi srpski kongres o putevima, Srpsko društvo za puteve "VIA-VITA", -1, vol. 1, no. 1, pp. 462 - 470, issn: , udc: 625.7/.8(082)(0.034.4), isbn: 978-86-88541-02-2,
- [5] Veneziano, D., Shi, X., Asce, M., Ballard, L., Ye, Z. & Fay, L. (2014) A Benefit-Cost Analysis Toolkit for Road Weather Management Technologies, Kansas State
- [6] McKeever, B., Haas, C., Weissmann, J. and Greer, R. (1998). A life cycle cost-benefit model for road weather information systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1627: 41-48.
- [7] Boselly, S.E. (2001). Benefit/cost study of RWIS and anti-icing technologies. Research Report, National Cooperative Highway Research Program, Washington, D.C. 37 p.
- [8] Lasky, T.A., Yen, K.S., Darter, M.T., Nguyen, H. and Ravani, B. (2006). Development and field-operational testing of a mobile real-time information system for snow fighter supervisors. Research Report, California Department of Transportation, Sacramento, CA. 90 p.
- [9] Hanbali, R. The Economic Impact of Winter Road Maintenance on Road Users. In *Transportation Research Record 1442*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1994, pp. 151–161.
- [10] Borojević, Z. (2018). Uпотреба putno meteorološkog informacionog sistema za unapređenje zimskog održavanja mreže državnih puteva Republike Srbije. TESI, 293-302.
- [11] <https://www.betterevaluation.org/en/evaluation-options/CostEffectivenessAnalysis>
- [12] Cenovnik zimskog održavanja 2019. JP Putevi Srbije ([www.putevi-srbije.rs](http://www.putevi-srbije.rs))