

## ПРОЦЕНА ТРОШКОВА РЕХАБИЛИТАЦИЈЕ И РЕКОНСТРУКЦИЈЕ У СИСТЕМИМА ЗА УПРАВЉАЊЕ ОДРЖАВАЊЕМ ПУТЕВА

**Јелена Ћириловић<sup>1</sup>**, дипл.инж.грађ.

[jelena.cirilovic@institutims.rs](mailto:jelena.cirilovic@institutims.rs) Институт ИМС, Београд, Србија

**Мр Невена Вајдић<sup>2</sup>**, дипл.инж.грађ.

[nevena.vajdic@gmail.com](mailto:nevena.vajdic@gmail.com) ЈП Аеродром „Никола Тесла“, Београд

**Др Горан Младеновић<sup>3</sup>**, дипл.инж.грађ.

[gmlad2003@yahoo.com](mailto:gmlad2003@yahoo.com)

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Србија

**Др Cesar Queiroz<sup>3</sup>**, дипл.инж.

[queiroz.cesar@gmail.com](mailto:queiroz.cesar@gmail.com) World Bank, Washington, DC, USA

Оригинални научни рад

**Резиме:** Просечни јединични трошкови радова у пројектима реконструкције и рехабилитације (PuP) путева се значајно разликују међу државама, али и у оквиру различитих пројеката у истој држави, и то услед многобројних фактора. У оквиру овог рада, формиран је модел којим би било могуће предвидети трошкове радова PuP у различитим државама и који би могао да се примени у анализама у системима за управљање одржавањем путева на стратешком нивоу и на нивоу програмирања радова одржавања. Дефинисан модел је формиран од променљивих које значајно доприносе регресији. Изабране су оне променљиве којима је могуће што боље описати зависну величину тј. јединичне трошкове PuP путева. Добијена регресиона зависност би могла да буде корисна на нивоу стратешких анализа мрежа и оптимизација планираних радова PuP.

**Кључне речи:** процена трошкова, рехабилитација и реконструкције путева, системи за управљање одржавањем, сложена регресиона анализа

## MODEL DEVELOPMENT FOR THE PRELIMINARY COST ESTIMATES OF ROAD REHABILITATION AND RECONSTRUCTION WORKS

**Jelena Ćirilović<sup>1</sup>**, B.Sc., C.Eng.

[jelena.cirilovic@institutims.rs](mailto:jelena.cirilovic@institutims.rs) Institut IMS, Belgrade, Serbia

**Nevena Vajdić<sup>2</sup>**, M.Sc., C.Eng.

[nevena.vajdic@gmail.com](mailto:nevena.vajdic@gmail.com) Airport "Nikola Tesla", Belgrade, Serbia

**Goran Mladenović<sup>3</sup>**, PhD, C.Eng.

[gmlad2003@yahoo.com](mailto:gmlad2003@yahoo.com) Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Serbia

**Cesar Queiroz<sup>3</sup>**, PhD, C.Eng.

[queiroz.cesar@gmail.com](mailto:queiroz.cesar@gmail.com) World Bank, Washington, DC, USA

Original scientific paper

**Abstract:** The average unit project cost for road rehabilitation and reconstruction (RRR) works vary substantially across countries and over time, but variation also exists within the country in the same year due to a number of reasons. In this paper an effort is made to develop a prediction model that could be applied for a wide range of conditions in different countries and that could be applied in road maintenance management systems at strategic level and development of road works programs. The resulting model is made of the variables that contribute significantly to the regression. The variables included in the analyses were chosen in view of their potential explanatory power. The resulting regression model is expected to be useful in the strategic analysis of road networks, including the optimization of road maintenance alternatives.

**Key words:** cost estimations, road rehabilitation and reconstruction, road maintenance management systems, multiple regression analysis

## УВОД

Анализе и дефинисање оптималних стратегија одржавања у системима за управљање одржавањем путева (Road maintenance management systems) се типично спроводе на три основна нивоа:

- стратешка анализа на нивоу мреже,
- дефинисање програма радова на нивоу мреже, и
- анализа на нивоу пројекта.

Резултати ових анализа у значајној мери зависе од квалитета улазних података, а једну од основних група података чине трошкови различитих позиција радова одржавања, при чему највећи утицај на резултате имају најобимније и најскупље позиције радова, као што су рехабилитација и реконструкција. Недовољно добре процене трошкова ових радова, веће или мање од реалних, могу имати значајан утицај на формирање буџета за одржавање и финансирање самих радова (1).

На **стратешком и програмском нивоу**, као и у почетним фазама израде пројекта рехабилитације или реконструкције пута, типично се располаже са врло ограниченим сетом података, па су у тим фазама анализе или израде пројектне документације посебно значајни модели који предвиђају трошкове на основу минимума улазних података. Како пројекат одмиче са реализацијом, односно током разраде Идејног пројекта и израде Студије изводљивости, долази се до прецизнијих процена услед прикупљања података веће детаљности и прецизности (2).

Модел развијени до данас нису коначни нити једнозначни и најчешће се одлука о томе који од модела применити базира и на расположивости података у конкретном случају (конкретном пројекту планирања одржавања).

Међутим, током процеса процене трошкова се јавља доста потешкоћа. Један од највећих проблема је недостатак података, нпр. непостојање историјских података о трошковима у претходном периоду, недостатак појединачних података, велико расипање постојећих података, као и примена неадекватног модела за процену трошкова.

Вишеструка линеарна регресиона анализа (ВЛРА) је поступак који се широко примењује у решавању овог проблема од седамдесетих година прошлог века. ВЛРА се сматра изузетно моћном статистичком алатком која је у исто време и аналитичка и предиктивна, а посебно је значајна при тестирању нових променљивих које би могле да дају значајан допринос моделу. Оно што је недостатак ВЛРА је да није применљива за описивање нелинеарних и вишедимензионалних проблема (3).

## ЦИЉ РАДА

Циљ овог рада је да се истраже параметри који утичу на трошкове радова реконструкције и рехабилитације путева, а који су расположиви у **раним фазама пројекта**, тј. када је познато врло мало података о пројекту који ће се реализовати.

Иако се при решавању овог и сличних проблема већ годинама уназад примењују системи попут неуронских мрежа, експертских система и слично, ВЛРА је изабрана управо због одлике да омогућава истраживање доприноса појединих величина моделу, те је било могуће издвојити величине које су значајне за процену трошкова радова РИР.

## ОСНОВНИ ИЗГЛЕД МОДЕЛА

Регресиона анализа је поступак израде модела којим се поставља математичка зависност између једне величине, која се означава као зависна променљива,  $Y$ , и скупа независних променљивих  $X$ . Приликом успостављања модела и избора променљивих пожељно је познавање процеса који се описује моделом, иако са математичке тачке гледишта то није неопходно. Упркос томе што је физика процеса начелно позната, модел који се добија је пробабилистички, а не детерминистички.

ВЛРА је метода која се користи за моделирање линеарне зависности између зависне променљиве и скупа независних променљивих.

Класичан приступ у регресионој анализи се заснива на методи најмањих квадрата: решење се добија када је сума квадрата разлика података осматрања и моделираних вредности минимална.

Основни изглед модела вишеструке линеарне регресије је следећи:

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_m * x_m + \varepsilon \quad (1)$$

при чему је  
 $y$ -зависна променљива  
 $x$ - независне променљиве  
 $m$ - број независних променљивих  
 $\varepsilon$ - грешка (резидуал)  
 $\beta$ - регресиони коефицијенти  
 $\beta_0$ - константа

Резултујући модел добијен методом најмањих квадрата је следећи:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 * x_1 + \hat{\beta}_2 * x_2 + \dots + \hat{\beta}_m * x_m \quad (2)$$

при чему сви елементи који имају ознаку  $\wedge$  представљају оцене тј. процењене вредности из података осматрања.

Вредност грешке  $\varepsilon$  у једначини 1 није позната јер није познат апсолутно тачан модел; међутим када се одреди оцена зависне променљиве, могуће је израчунати и оцену резидуала:

$$\hat{\varepsilon}_i = y_i - \hat{y}_i \quad (3)$$

Индекс  $i$  се односи на податке из посматраног узорка ( $i = 1, 2, \dots, n$ , где је  $n$  обим узорка). Резидуали показују успешност модела, односно што је варијанса резидуала мања, то је модел одређен на основу узорка ближи тачном.

## УЛАЗНИ ПОДАЦИ

У оквиру студије Светске банке (4), формирана је специјализована база података о пројектима који су финансирани од стране Светске банке, и то у 14 земаља Европе и Централне Азије (ЕЦА, слика 1): Албанија, Азербејџан, Босна и Херцеговина, Бугарска, Грузија, Естонија, Јерменија, Казахстан, Македонија, Пољска, Румунија, Србија, Украјина и Хрватска. Узорак података обухвата 200 реализованих и текућих пројеката уговорених у периоду од 2000. до 2010. године.

Поменутом студијом је заправо остварена могућност за упоредну анализу трошкова у земљама ЕЦА, и дата идеја за стварање модела који би био применљив на глобалном нивоу.



Слика 1. Државе ЕЦА

У анализи су коришћени подаци за пројекте који имају укупну вредност већу од милион америчких долара (изузетак су два пројекта у Јерменији, који имају вредност од око 950 хиљада америчких долара).

Вредност уговора у локалној валути је преведена у америчке доларе (US\$) по званичном курсу у време отварања понуда, тако да су трошкови радова изражени у US\$ у години отварања понуда (4, 5, 6). Цене објеката нису урачунате у цену пројекта (цене мостова и других објеката су одузете од укупне цене радова).

Анализом поменутог скупа података установљено је да се цене радова РиР значајно разликују од државе до државе, као и да су уговорене цене радова генерално нешто ниже од пројектантских цена, али зато је у току извођења пројеката код половине држава ЕЦА долазило до прекорачења буџета и до 40%.

У поменутом скупу података су анализирани следећи показатељи:

1. WGI (Worldwide Governance Index)
2. Број понуђача (укупан број, број локалних и број иностраних)
3. Цена сирове нафте
4. Податак да ли је земља извозник нафте
5. Бруто национални доходак
6. Раст бруто домаћег производа
7. Климатски услови.

У оквиру овог рада је постојећа база података проширена новим подацима који ће се као независне променљиве тестирати у моделу, а за које се претпоставља да би могли да значајно допринесу регресионом моделу. Променљиве које су тестиране у моделу могу се поделити у три групе, и то:

- I) Променљиве које су везане за цену нафте :
  - Цена сирове нафте
  - Цена бензина
  - Цена дизел горива
  - Податак да ли је држава извозник или увозник нафте

II) Променљиве које су везане за државу:

- Бруто национални доходак
- Клима
- Инфлација
- Међународни индекс корупције Transparency International Corruption Perception Index - TI CPI)
- WGI индекс
- Потрошња бензина на нивоу путне мреже
- Процент асфалтираних путева на нивоу путне мреже.

III) Променљиве које су везане за конкретан пројекат који се реализује:

- Број понуђача/фирми које су учествовале на тендеру за извођење радова
- Процент локалних понуђача (од укупног броја понуђача)
- Цена асфалта
- Очекивано трајање пројекта
- Дужина деонице
- Топографија терена.

#### ПОЛАЗНЕ ИНЖЕЊЕРСКЕ ПРЕТПОСТАВКЕ ЗА ФОРМИРАЊЕ МОДЕЛА

Постојећа база података је допуњена ценама бензина и дизел горива за сваку државу, у години отварања понуде (7, 8, 9). На основу прелиминарне анализе сирових података уочен је тренд пораста трошкова радова РиР са порастом цене нафте и нафтних деривата.

Такође, предвиђено је да се у оквиру модела тестира и значајност бинарне променљиве, која узима вредности 0 и 1, и то 0 ако је земља извозник нафте, а вредност 1 ако је земља увозник нафте (земљи увознику се приписује вредност 1 јер се очекује да су цене нафте и деривата нафте веће пошто је то увозна сировина, те да ће веће цене нафте утицати на пораст трошкова РиР). Податак о томе која држава је увозник, а која извозник нафте је узет из глобалне базе података Светске банке WDI-World Development Indicators (10).

Полазна претпоставка при развоју модела била је да глобалне одлике економије државе у којој се пројекат реализује такође утичу на цену радова одржавања. У постојећим регресионим моделима (4) постоји индикација да променљиве попут бруто националног дохотка и годишње процентуалне промене у бруто домаћем производу могу бити значајне за модел. Зато су у модел укључени бруто национални доходак (узет за годину отварања тендера, изражен у локалној валути, и затим преведен у америчке доларе по методи Атлас Светске банке (10), којом се узимају у обзир и флукуације цена и курса локалне валуте у односу на долар) и инфлација (која представља процентуалну промену цене потрошачке корпе и одређених услуга, на годишњем нивоу).

Неповољни климатски услови утичу на покупљење радова РиР, те је у моделу тестирана бинарна променљива која узима вредност 0 ако су климатски услови повољни и вредност 1 ако су климатски услови неповољни. Ова променљива је преузета из базе података формиране током израде студије Светске Банке (4).

Индекс Transparency International CPI (Corruption Perception Index) узима вредности између 1 и 10 (где је 1 низак ниво, а 10 висок ниво) и представља оцену транспарентности, одговорности и корумпираности јавног сектора (12). Три основне одлике које се вреднују овим индексом су одговорност одговарајућих органа да надзиру рад државних институција и државних службеника, затим процена информисаности цивилног друштва о пословима од јавног значаја и злоупотребе државне имовине ради постизања личних циљева (10).

Индексом WGI се мери ниво злоупотребе државних/јавних институција за остваривање личне користи (кроз „ситне“ и „крупне“ видове корупције), као и државна имовина која је „заробљена“ у поседу одређене елите ради остваривања личних интереса (10). Променљиве које изражавају потрошњу бензина на нивоу путне мреже и проценат асфалтираних путева на нивоу путне мреже због недостатка појединачних података у бази података (за поједине године и поједине државе) су искључене из анализе.

Број фирми које су учествовале на тендеру за извођење пројекта је коришћен у моделу као променљива која указује на утицај обима конкуренције на цену извођења радова. Уведена је и променљива која представља процентуално учешће домаћих фирми на тендеру. Ова променљива илуструје развијеност домаће грађевинске индустрије. Претпоставка је да се са порастом броја фирми које учествују на тендеру, односно са порастом конкуренције, смањује цена радова РиР, као и да ће цене бити ниже у државама са развијеном грађевинском индустријом и где су већински понуђачи локалне извођачке фирме.

Такође, може се претпоставити да неповољна топографија терена покупљује цену извођења радова, тако да је анализирана и бинарна променљива која би узимала вредност 1 за планински и брдовит терен, а вредност 0 за равничарски и благо заталасан терен. Међутим, анализом постојећих података утврђено је да би увођење ове променљиве довело до значајног смањења анализираних узорака због података који недостају за поједине пројекте, те је и ова променљива одбачена пре формирања модела.

## ТРАНСФОРМАЦИЈА ЗАВИСНЕ ПРОМЕНЉИВЕ

У регресионој анализи је пожељно да променљива  $Y$  прати нормалну расподелу, што би могло допринети квалитету модела. Уколико зависна променљива  $Y$  не прати нормалну расподелу, то се најчешће може постићи одређеним трансформацијама.

За потребе анализе тестирана је зависна променљива  $Y$  која није трансформисана и две трансформисане променљиве, природни логаритам вредности  $Y$  и трећи корен из  $Y$ . Испитивање сагласности са нормалном расподелом је вршено применом тестова Крамер фон Мизеса и Колмогоров-Смирнова и провером **PPCC** статистике (Probability Plot Correlation Coefficient). Тестирање се састоји у поређењу емпиријске и теоријске расподеле.

Коришћена је емпиријска расподела по Вејбулу, дата следећом формулом:

$$P\{X \leq x_i\} = \frac{i}{N+1} \quad (4)$$

Тест Коломогоров-Смирнов се састоји у срачунавању статистике  $D_{max}$ , према формули:

$$D_{max} = \max|F_t(x) - F_e(x)| \quad (5)$$

Критеријум је следећи:

- ако је  $D_{max} < D_{kr}$ , расподеле су сагласне, и
- ако је  $D_{max} > D_{kr}$ , расподеле нису сагласне.

Критичне вредности Колмогоров-Смирнов статистике се читавају из одговарајућих статистичких табела, а у складу са величином узорака и потребним прагом значајности. Тестом Крамер-фон Мизеса се срачунава статистика  $Nw^2$ , и то према формули:

$$Nw^2 \approx \frac{1}{12 \times N} + \sum_{i=1}^N [F_t(x_i) - F_e(x_i)]^2 \quad (6)$$

а критеријум је следећи:

- ако је  $Nw^2 < Nw_{кр}^2$ , расподеле су сагласне, и
- ако је  $Nw^2 > Nw_{кр}^2$ , расподеле нису сагласне.

Критичне вредности Крамер-фон Мизес статистике се такође читавају из одговарајућих статистичких табела, а у складу са величином узорака и потребним прагом значајности.

PPCC тест се састоји у утврђивању степена корелације између емпиријске и теоријске расподеле.

Емпиријска расподела се добија на основу формуле:

$$F_{e_i} = \begin{cases} \frac{i-0.3175}{n.3965}, & i = 2,3, \dots, n-1 \\ 1 - 0.5^{\frac{1}{n}}, & i = 1 \\ 0.5^{\frac{1}{n}}, & i = n \end{cases} \quad (7)$$

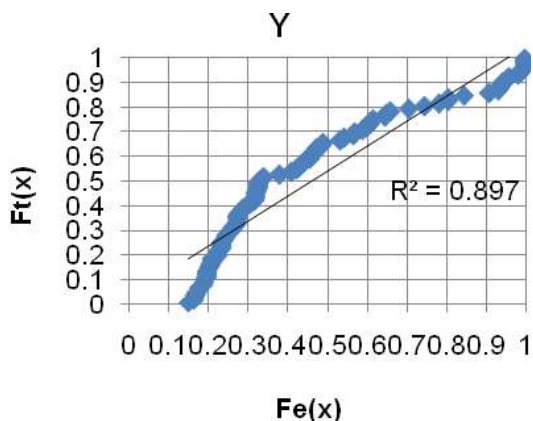
Критична вредност **PPCC** теста се такође читава из одговарајућих статистичких табела, а у складу са величином узорка и потребним прагом значајности.

Резултати испитивања сагласности са нормалном расподелом су приказани у табели 1.

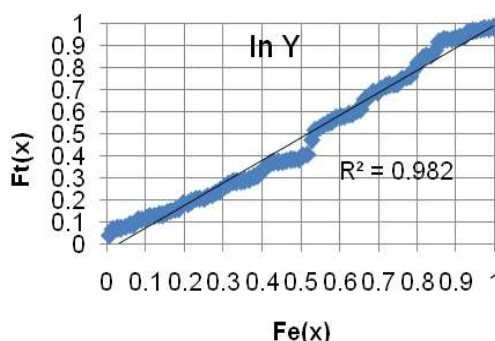
Табела 1. Резултати тестова нормалности расподеле

		Y	log Y	Y^(1/3)	критична вредност за праг значајности 5%
Метода момената	X <sub>sr</sub>	303504.2	5.39865	64.3481	таблица
	st.dev.	206274.9	0.26289	13.5696	
Тест Крамер фон Мизес	Nw <sup>2</sup>	0.96344	0.17574	0.34692	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$
Тест Колмогоров-Смирнов	D <sub>max</sub>	0.176873	0.10729	0.13671	F(n)
PPCC тест	ГРСС	0.9473	0.9912	0.9820	

Графичке методе су методе које се широко користе при анализама нормалности низа. Једна од њих је P-P дијаграм нормалне вероватноће (слике 2 и 3), који је врло индикативан јер представља однос теоријске и емпиријске расподеле. Представљен је тачкасто, при чему свака тачка одговара конкретној вредности анализираних променљиве. Одступање тачака од праве линије је у ствари одступање низа од нормалне расподеле. На сликама 2 и 3 представљени су резултати графичке анализе дијаграма нормалне вероватноће нетрансформисане променљиве Y и променљиве Y трансформисане природним логаритмом. На апсциси се налазе емпиријске вредности функције расподеле Fe(x), док ордината представља теоријске вредности Ft(x).



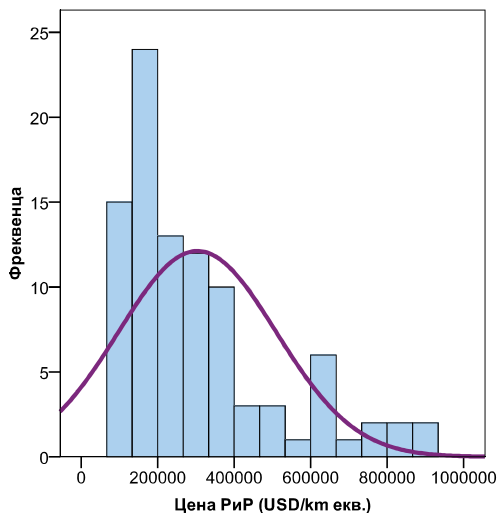
Слика 2. P-P дијаграм, нетрансформисана Y



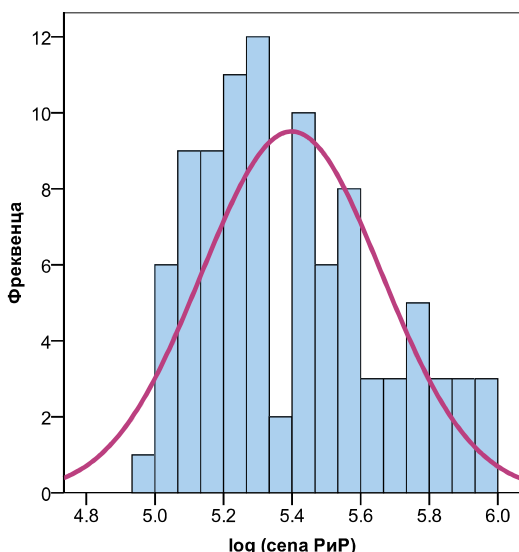
Слика 3. P-P дијаграм, трансформисана Y

Поређење емпиријског хистограма са густином нормалне расподеле се такође често користи. Хистограм се формира као однос фреквенце (учесталости) јављања одређене вредности променљиве (ордината) и саме вредности променљиве (апсциса). Површина испод криве нормалне расподеле даје вероватноћу да ће вредност променљиве бити у анализираним опсегу. На сликама 4 и 5 су приказани резултати за нетрансформисану променљиву Y и променљиву Y трансформисану природним логаритмом.

Анализом трансформисаних вредности Y и нетрансформисаних вредности Y, како на основу спровођења статистичких тестова, тако и графичком анализом, изведен је исти закључак, а то је да променљива која је срачуната као природни логаритам зависне променљиве Y задовољава све спроведене статистичке тестове и најближе прати нормалну расподелу. На основу тога је донета одлука да се приликом прављења модела користи трансформисана зависна променљива, односно њен природни логаритам.



**Слика 4.** Хистограм и крива нормалне расподеле нетрансформисане зависне променљиве  $Y$



**Слика 5.** Хистограм и крива нормалне расподеле трансформисане зависне променљиве  $Y$

## РАЗВОЈ МОДЕЛА

У првом кораку је формиран модел од наведених променљивих које при том нису трансформисане и анализиран је њихов предзнак на основу кога је провераван инжењерски/физички смисао укључивања посматране независне променљиве у модел. На пример, наведена је претпоставка да се са порастом броја фирми које учествују на тендеру, односно са порастом конкуренције, смањује цена радова РиП, тј. претпоставка је да је предзнак испред ове променљиве негативан.

Да би модел био успешан, он мора да се састоји искључиво од променљивих које су значајне за модел, тј. вредност коефицијента значајности регресионог коефицијента  $p$  за све променљиве у моделу треба да је мања од усвојене граничне вредности, зависно од жељене тачности:  $p \leq 0.01$ ,  $p \leq 0.05$  или  $p \leq 0.1$ . У овој анализи, усвојено је да вредност коефицијента  $p$  треба да има вредност мању од 0.05. Циљ анализе је задржати све променљиве у моделу које су значајне.

Метод који је изабран за тестирање и избор променљивих је “анализа уназад” (backward analysis). Основа ове методе је да се у почетном моделу издвоји променљива која има највећу вредност коефицијента  $p$  и елиминише из модела. У овој анализи је коришћена комбинација анализе уназад и тестирања погодности одређене променљиве за модел у смислу логичког и инжењерског расуђивања.

Уколико приликом елиминације неке променљиве из модела друга променљива из модела промени предзнак, могуће је да та променљива није релевантна за модел и дати узорак података.

Такође је било неопходно задовољити све унапред изнете инжењерске и физичке претпоставке у смислу предзнака променљивих.

На пример, у складу са претпоставкама је да коефицијенти испред бинарних променљивих имају позитиван предзнак, а како то није био случај са бинарном променљивом која описује да ли је одређена држава увозник или извозник нафте, поменута променљива је елиминисана из модела још у почетним фазама развоја модела.

Елиминацијом једне по једне променљиве из модела на основу описаних критеријума, добијен је коначни модел који се састоји од шест променљивих које имају предзнаке у сагласности са претпоставкама, као и коефицијент значајности  $p$  који је мањи од 0.05. То значи да се модел састоји од променљивих које су и инжењерски и статистички значајне за процену трошкова РиП путева.

Поменуте променљиве су везане за ниво/степен корумпираности државног сектора, климатске одлике, развијеност грађевинске индустрије у држави у којој се реализује пројекат, процењено трајање пројекта, дужину деонице и цену асфалта.

## ТЕСТИРАЊЕ ПОСТОЈАЊА УСАМЉЕНИХ ВРЕДНОСТИ

У ВЛРА посебну пажњу треба обратити на тзв. изузетке тј. усамљене вредности, чије уклањање из сета података може довести до значајне промене, како у резултатима статистичких тестова, тако и у изгледу регресионог модела.

Методe којима се утврђује да је одређени улазни податак усамљена вредност су многобројне, а у овој анализи су коришћене четири дијагностичке методе:

- Анализа (квадрата) резидуала
- Стандардизовани резидуали
- Куково растојање
- Матрица утицаја (Leverage Matrix).

Матрица утицаја представља тест изузетака и базира се на одређивању статистике  $h_i$  која је мера утицаја сваке вредности  $y_i$  на своју очекивану вредност  $\hat{y}_i$ . То значи да тачка у којој  $h_i$  има високу вредност има ниску варијансу. Статистика  $h_i$  узима вредности између 0 и 1.

За вредност која се сматра изузетком важи (9):

$$h_i \geq \frac{2.5 \times m}{n} \quad (8)$$

где је  $m$  број независних променљивих, а  $n$  број података.

Статистика Кукове удаљености се рачуна по формули:

$$C_i = \frac{r_i^2 \times h_i}{m \times (1 - h_i)} \quad (9)$$

где је :

- $h_i$ - статистика, једначина 8,
- $m$ - број независних променљивих,
- $r_i^2$ - квадрат резидуала,

где се у обзир узима и **Студентов резидуал** (резидуал подељен са стандардном девијацијом). Разлика између Студентовог резидуала и **стандардизованог резидуала** је што се Студентов резидуал добија дељењем резидуала са стандардном девијацијом без  $i$ -тог податка. Критична вредност Кукове удаљености се прописује на више начина, али основно правило је посматрати осмотрене вредности које су значајно веће од осталих. Критична вредност је 1.

Када се посматра стандардизовани резидуал, изузетком се сматрају подаци са вредношћу изван појаса од  $\pm 3$  стандардне девијације.

У посматраном узорку података нису уочени изузеци тј. усамљене вредности ни по једном од спроведених тестова.

## ПРИКАЗ КОНАЧНОГ МОДЕЛА

Усвојени модел има следећи облик:

$$Y = e^{(\beta_0 + \sum_{i=1}^m (\beta_i \times X_i) + \epsilon)} \quad (10)$$

Независна променљива је трансформисана природним логаритмом, а у модел је укључена и регресиона константа. Вредности регресионих коефицијента и регресионе константе су дате у табели 2.

Табела 2. Регресиони коефицијенти и регресиона константа модела

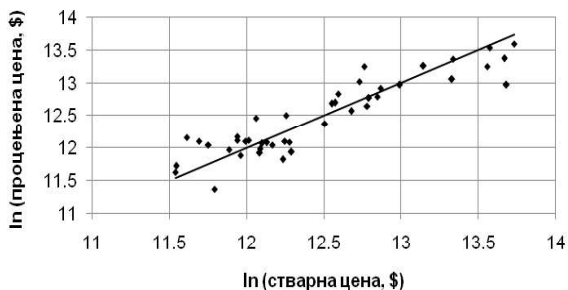
	Независна променљива	Коефицијент	Вредност коефицијента
	константа	$\beta_0$	9.912009
Променљиве везане за одлике државе у којој се реализује пројекат РиР	TI CPI	$\beta_{TICPI}$	0.2555876
	Клима	$\beta_C$	0.6063567
Променљиве везане за одлике пројекта РиР	% локалних понуђача	$\beta_{LB}$	$-7.814582 \times 10^{-3}$
	трајање	$\beta_{DUR}$	0.06392160
	Ln (екв.дужина деонице)	$\beta_{RL}$	-0.3673852
	Цена асфалта	$\beta_{ASPH}$	0.4254832

Променљиве које фигуришу у коначно усвојеном моделу су:

1. **РиР** - цена радова рехабилитације и реконструкције путева, изражена у локалној валути у тренутку отварања понуда, и по средњем курсу конвертована у US\$;
2. **ТИ СРП** - индекс корупције државе у којој се реализује пројекат у години отварања понуда на тендеру;
3. **КЛИМА** - бинарна променљива која одражава климатске карактеристике државе у којој се реализује пројекат;
4. **%локалних понуђача** - проценат локалних извођачких фирми у односу на укупан број извођачких фирми које су конкурисале на тендеру, изражено у процентима;
5. **Трајање** - процењена дужина трајања извођења радова РиР, изражено у месецима;
6. **Еквивалентна дужина деонице** је дужина деонице у километрима, која је прерачуната у еквивалентну дужину двотрачног пута ширине 7m;
7. **Цена асфалта**, дата у америчким доларима по кубном метру.

Регресиони коефицијенти испред независних променљивих су у складу са претпоставкама анализе. Конкретно, види се да уколико цена асфалта и трајање радова РиР расту, расту и трошкови РиР, да лоше климатске одлике и корумпираност јавног сектора доводе до поскупљења пројектата, док јака конкуренција домаћих извођачких фирми и велика дужина деонице доводе до смањења цене РиР путева.

На слици 6 је приказан однос стварне и процењене вредности цена радова РиР добијених применом усвојеног модела.



Слика 6. Однос стварне и процењене цене радова РиР

Модел се састоји од шест независних променљивих и развијен је на узорку од 43 податка. Сматра се статистички значајним на основу високе вредности коефицијента детерминације која износи 0.831 и коригованог коефицијента детерминације који износи 0.803, а у који је урачунат и број променљивих и обим узорка.

Стандардна грешка процењене вредности резидуала износи 0.2782. Срачуната је вредност и F статистике, која је индикативнија у односу на коефицијент детерминације, јер је на основу ње могуће проценити прецизност процене и са аспекта броја степени слободе, који се рачунају на основу величине узорка, и са аспекта броја променљивих. Вредност F статистике за приказани модел је 29.506.

## ЗАКЉУЧАК

У оквиру овог рада су истражени параметри на основу којих је могуће проценити трошкове радова реконструкције и рехабилитације на глобалном нивоу у раној фази планирања, када је познато врло мало података о пројекту који ће се реализовати.

Дефинисан је модел за процену трошкова радова РиР који је формиран од променљивих које значајно доприносе регресији, а то су цена асфалта, дужина деонице, процењено трајање радова РиР, климатске одлике државе у којој се пројекат изводи, развијеност локалне грађевинске индустрије и индекс којим се процењује степен корумпираности јавног сектора.

За усвојени модел, који се састоји од шест променљивих, величина узорка је 43 пројекта и коефицијент детерминације  $R^2$  износи 0.831, кориговани коефицијент детерминације износи 0.803,  $p$  вредност износи 0.05 и F статистика износи 29.51. Модел је, због расположивих података, развијен за уговоре који су реализовани у периоду од 2000. до 2010. године у 14 држава ЕЦА.

Добијена регресиона зависност би могла да буде корисна на нивоу стратешких анализа мрежа и оптимизација планираних радова РиР у системима за управљање одржавањем коловозних конструкција.



У наредним фазама истраживања биће проверена применљивост модела на проширеном узорку података, на пример укључујући:

1. податке које се односе на 2011. годину
2. податке о уговорима у земљама ЕЦА које нису биле обухваћене анализом (Белорусија, Чешка, Мађарска, Литванија, Летонија, Молдавија, Црна Гора)
3. инвестиционе пројекте РиР у поменути државама и у поменути годинама, али који нису реализовани под покровитељством Светске банке.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Младеновић Г. (2009). Развој програма за анализу трошкова животног века коловоза - *Life Cycle Cost Analysis Graph Tool (LCCAGT)*. *Пут и саобраћај*, 56(1), 10-17.
- [2] Jui-Sheng Chou. (2009). *Generalized linear model-based expert system for estimating the cost of transportation projects*, *Expert Systems with Applications*, 36 (3/1), 4253-4267
- [3] Gwang-Hee Kim, Sung-Hoon An , Kyung-In Kang. (2004). *Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning*. *Building and Environment*, 39 (10), 1235-1242.
- [4] Alexeeva V., Queiroz C. and Ishihara S.. (2011). *Monitoring Road Works Contracts and Unit Costs for Enhanced Governance in Europe and Central Asia*. Transport Papers TP-33, Washington D.C., USA : The World Bank Group.
- [5] OANDA (2012), *Historical Exchange Rates* (on-line). Доступно преко: [www.oanda.com/currency/historical-rates/](http://www.oanda.com/currency/historical-rates/) (23.04.2012.)
- [6] Bank of Canada, *10-year currency converter* (on-line). Доступно преко: [www.bankofcanada.ca/rates/exchange/10-year-converter/](http://www.bankofcanada.ca/rates/exchange/10-year-converter/) (23.04.2012.)
- [7] GIZ (2011), *International Fuel Prices 2010 / 2011, Data Preview – January 2011* (on-line). Доступно преко: [www.gtz.de/fuelprices](http://www.gtz.de/fuelprices) (23.04.2012.)
- [8] GIZ (2009), *International Fuel Prices 2009, 6th Edition* (on-line). Доступно преко: [www.gtz.de/fuelprices](http://www.gtz.de/fuelprices) (23.04.2012.)
- [9] GIZ (2007), *International Fuel Prices 2007, 5th Edition* (on-line). Доступно преко: [www.gtz.de/fuelprices](http://www.gtz.de/fuelprices) (23.04.2012.)
- [10] World Bank (2012), *WDI-database (World Development Indicators)* (on-line). Доступно преко: <http://data.worldbank.org/indicator> , (23.04.2012.)
- [11] Transparency International (2010), *Corruption Perceptions index 2010* (on-line). Доступно преко: [www.transparency.org](http://www.transparency.org), (23.04.2012.)