

## РАЗВОЈ ПРОГРАМА ЗА АНАЛИЗУ ТРОШКОВА ЖИВОТНОГ ВЕКА КОЛОВОЗА (LIFE CYCLE COST ANALYSIS GRAPH TOOL - LCCAGT)

др Горан Младеновић, дипл. грађ. инж.

Грађевински факултет, Београд

Научни рад

**Резиме:** У раду је приказан развој програма за анализу трошкова животног века коловоза Life Cycle Cost Analysis Graph Tool - LCCAGT. Програм је развијен у окружењу MS Excel® применом програмског језика Visual Basic for Applications (VBA).

У оквиру програма дефинисани су модел промене стања коловоза, модел ефеката радова одржавања, модели трошкова редовног одржавања и модели трошкова корисника. Сви модели садрже калибрационе коефицијенте, или се могу релативно једноставно подешавати у зависности од карактеристика локалног окружења за које се програм примењује. Већина улазних података се може директно мењати на графичком листу при чему је прорачун економских параметара скоро тренутан и графичка представа резултата прорачуна се аутоматски ажурира.

Основна карактеристика програма је да је кориснички оријентисан и омогућава једноставну промену улазних параметара. Због своје једноставности посебно је погодан за анализу осетљивости резултата прорачуна у односу на неки од улазних параметара и за дефинисање оптималних алтернатива одржавања за појединачне путне деонице.

**Кључне речи:**

## DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR PAVEMENT LIFE CYCLE COST ANALYSIS (LIFE CYCLE COST ANALYSIS GRAPH TOOL - LCCAGT)

Goran Mladenović, Ph.D., M.Sc. CE

Civil-Engineering Faculty, Belgrade, Serbia

Scientific Paper

**Abstract:** Paper presents development of the software for pavement life cycle cost analysis LCCAGT. The software is developed in MS Excel environment using Visual Basic for Application (VBA).

In the program are defined models for pavement deterioration, road works effects, routine maintenance cost and road user costs. All models contain calibration coefficients, or can be easily adjusted to characteristics of local environment where program is used. Most of the

input parameters can be defined directly on the graphical screen, while the calculation of economic parameters is performed in real time and graphical presentation of results is adjusted automatically.

The basic property of the program is that it is user friendly and enables easy adjustment of input parameters. Therefore, it is very suitable for sensitivity analysis of results due to change in some of the input parameters and for development of optimal maintenance alternatives for particular road sections.

**Key words:**

### УВОД

На нивоу пројекта улога система за управљање одржавањем коловозних конструкција је да дефинише најрационалнију алтернативу одржавања, рехабилитације и реконструкције за одређену деоницу у границама расположивог буџета и у оквиру других ограничења. Рационалност третмана одржавања и рехабилитације се мења у зависности од стања коловоза, типа саобраћајнице, нивоа саобраћајног оптерећења, итд. За инфраструктурне објекте попут путева, велики део трошкова дирекција које су задужене за одржавање путне мреже се односи на период након изградње, односно током животног века коловоза. Поред тога, значајан део укупних трошкова одвијања саобраћаја носе корисници путева кроз трошкове возила, времена путовања, саобраћајних незгода, или трошкове везане за зоне одвијања радова на путевима. Сагласно томе, када се разматрају различите алтернативе одржавања и рехабилитације путева, упоређење иницијалних трошкова изградње саобраћајнице није довољно и морају се разматрати и дугорочне последице донетих одлука, што се најбоље може урадити применом анализе трошкова у оквиру животног века (Life Cycle Cost Analysis – LCCA).

LCCA се дефинише као процес за одређивање укупне економске вредности деонице пута у употреби кроз анализу трошкова изградње и дисконтованих будућих трошкова, што укључује трошкове одржавања, рехабилитације или реконструкције и трошкове корисника у току животног века деонице (FHWA 1998). За анализу трошкова у оквиру животног века коловоза потребно је применити моделе на основу којих се могу предвидети трошкови и користи различитих алтернатива одржавања и рехабилитације током времена. Користи се најчешће срачунавају као уштеде у трошковима корисника између две алтернативе одржавања услед побољшаног стања коловоза. Постоји читав низ модела/програма који се користе у управљању одржавањем путева и који могу да испуне тај задатак. Међу онима који се најчешће примењују су Road Transportation Investment Model-RTIM3 (Cundill и Withnall, 1995), Highway Development and Management Model-HDM-4 (Kerali, 2000), Highway Economic Requirement System HERS (FHWA, 2000), и Federal

Highway Administration (FHWA) LCCA Model (FHWA, 1998).

Улазни подаци за неке моделе (попут HDM-4) су кроз њихов развој постали сувише обимни и компликовани, што отежава њихову примену.

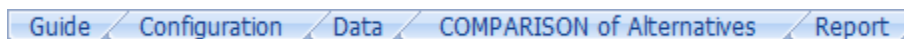
### ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРОГРАМА LCCAGT

Програм LCCAGT је развијен са циљем да омогући анализу трошкова животног века коловоза на нивоу пројекта и за упоређење стратегија одржања. Програм омогућава лако и једноставно упоређење основне и пројектне стратегије одржавања и срачунава кључне економске индикаторе пројекта током анализираниг периода који може бити до 40 година дуг.

Основна алтернатива одржавања подразумева редовно одржавање коловоза током анализираниг периода и његову реконструкцију, типично на крају анализираниг периода. Корисник може дефинисати годину и цену реконструкције, а програм подразумева да ће равност коловоза након реконструкције бити IRI = 1.0 m/km и да ће његова носивост бити одговарајућа за дато саобраћајно оптерећење.

Пројекта алтернатива обухвата до три третмана одржавања током анализираниг периода. Корисник може дефинисати годину, дебљину и цену за свако ојачање. Програм користи модел ефеката радова одржавања за процену подужне равности након третмана на бази стања коловоза пре третмана и дебљине ојачања.

Програм је развијен у окружењу MS Excel® применом програмског језика Visual Basic for Applications (VBA) и има пет радних листова (слика 1).



Слика 1. Називи радних листова у програму LCCAGT

Четири од њих садрже текстуалне податке:

- радни лист "Guide" садржи кратко упутство о коришћењу програма;
- радни лист "Configuration" садржи основне моделе примењене у програму;
- радни лист "Data" садржи улазне податке;
- радни лист "Report" садржи извештај са улазним подацима и резултатима прорачуна.

Преостали радни лист "Comparison of Alternatives" представља срж програма и садржи основне улазне параметре и резултате прорачуна. На овом радном листу постоји могућност да се кључни улазни подаци као што су дужина периода анализе, дисконтна стопа, подаци о саобраћају и основни параметри попут времена апликације, дебљине и цене за сваки третман одржавања подешавају графички.

### КОНФИГУРАЦИОНИ МОДЕЛИ

Програм LCCAGT користи следеће моделе:

- модел пропадања коловозне конструкције;
- модел ефеката радова одржавања;
- модел трошкова редовног одржавања;
- модел трошкова корисника.

Сви модели су дефинисани у оквиру радног листа "Configuration" (слика 2). На овом листу се такође може дефинисати и валута која се користи за изражавање трошкова и добити у оквиру програма.

Модел пропадања коловоза. Програм LCCAGT користи упрошћен модел пропадања коловоза, развијен од стране Archondo-Callao-a (2007).

**Road Deterioration Model**

$$dIRI = K_{DP} \cdot \alpha_v \cdot e^{-K_{DP} \cdot m \cdot t} \cdot (1 + SNC \cdot \alpha_1)^{-5} \cdot YEA + \alpha_2 \cdot t + K_{DP} \cdot m \cdot RL$$

$$SNC = \sum a_i \cdot H_i + SNSG$$

$$SNSG = 3.51 \cdot \log_{10} CBR - 0.85 \cdot (\log_{10} CBR)^2 - 1.43$$

Coefficients:

$a_0$	134	Env. coeff. m	0.06
$a_1$	0.7947	$K_{DP}$	1
$a_2$	0.0054	$K_{DPm}$	0.5

**Road Users' Cost Model** Calibration Coefficient  $K_{UC}$  1.1895

$$\text{Unit Road User Cost (Currency / veh.km)} = a_0 + a_1 \cdot IRI + a_2 \cdot IRI^2 + a_3 \cdot IRI^3$$

Coefficients:	Vehicle Category						
	Car Medium	Delivery Vehicle	BUS	Light Truck	Medium Truck	Heavy Truck	Articulated Truck
$a_0$	0.222415	0.358610	0.814970	0.422729	0.538942	0.710332	1.521268
$a_1$	-0.000609	-0.000758	0.014591	0.011992	0.010983	0.008668	0.031544
$a_2$	0.000610	0.001876	0.003645	0.001102	0.001304	0.001780	0.004590
$a_3$	-0.000011	-0.000040	-0.000073	-0.000021	-0.000024	-0.000028	-0.000082

Traffic Composition: 79.7%, 2.3%, 1.2%, 2.5%, 4.5%, 5.1%, 4.7%, 100.0%

**Road Works Effects Model**

Select Model:  Linear  Bilinear model

$$IRI_{aw} = a_0 + a_1 \cdot \max(IRI_{bw} - a_0, 0) \cdot \max(a_2 - H_{OV}, 0)$$

Coefficients:

$a_0$	1
$a_1$	0.01
$a_2$	80

**Road Routine Maintenance Cost** Currency Euro (€)

$$RMC = a_0 + a_1 \cdot AADT + a_2 \cdot IRI$$

Coefficients:

$a_0$	1700
$a_1$	0.500
$a_2$	200

**Bilinear model**

$$IRI_{aw} = IRI_{bw} - \max(0, a_0 \cdot [\max(a_1, IRI_{bw}) - a_2]) - a_3 \cdot \max(0, IRI_{bw} - a_1)$$

Coefficients:

$a_0$	0.9
$a_1 = \max(4.02 \cdot 1 \cdot e^{0.019 H_{av}}$	
$a_2 = 1 + 0.018 \cdot \max(0, 100 - H_{OV})$	
$a_3 = \min(a_0, \max(0, 0.01 \cdot H_{OV} - 0.15))$	

Слика 2. Радни лист "Configuration" програма LCCAGT

$$dIRI = K_{gp} \cdot \left( a_0 \cdot e^{K_{gm} \cdot m \cdot t} \cdot (1 + SNC \cdot a_1) \right)^{-4} \cdot YE4 + a_2 \cdot t + K_{gm} \cdot m \cdot IRI_a \quad (1)$$

где је:

dIRI - годишња промена индекса равности, (IRI, m/km)

m - коефицијент утицаја околине

t - старост коловоза од последњег ојачања, реконструкције или нове конструкције, (година)

SNC - модификован структурни број

$$SNC = \sum a_i \cdot H_i + SNSG$$

$$SNSG = 3.51 \cdot \log CBR - 0.85 \cdot (\log CBR)^2 - 1.43$$

CBR - носивост постелнице (%)

YE4 - годишњи број еквивалентних стандардних осовина (милиона ESA/траци/ години)

IRI<sub>a</sub> - подужна равност на почетку године, (IRI, m/km)

a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> - коефицијенти модела, и

K<sub>gp</sub>, K<sub>gm</sub> - калибрациони фактори.

Корисник може специфицирати коефицијенте модела, калибрационе факторе, као и вредност коефицијента утицаја околине. Подразумевана вредност коефицијента a<sub>0</sub> је 134, што је идентична вредност као и у програму HDM-4. Коефицијент a<sub>1</sub> одражава редукацију носивости услед постојања пукотина и његова подразумевана вредност је 0.7947. Коефицијент a<sub>2</sub> одражава пораст равности

$$IRI_{aw} = a_0 + a_1 \cdot \text{MAX}(0, IRI_{bw} - a_0) \cdot \text{MAX}(0, a_2 - H_{OV}) \quad (2)$$

где је:

IRI<sub>aw</sub> - подужна равност после радова одржавања (IRI, m/km)

IRI<sub>bw</sub> - подужна равност пре радова одржавања (IRI, m/km)

H<sub>OV</sub> - дебљина ојачања (mm), и

a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> - коефицијенти модела (подразумеване вредности = 2.0, 0.01, 80 респективно).

У програму LCCAGT примењена је подразумевана вредност коефицијента a<sub>0</sub> од 1.0, која је сматрана репрезентативном за стандард квалитета радова одржавања који се изводе у Србији, а такође се

$$\Delta IRI = \max(0, a_0 \cdot [\min(a_1, IRI_{bw}) - a_2]) + a_3 \cdot \max(0, IRI_{bw} - a_1) \quad (3)$$

где је:

ΔIRI – смањење равности након ојачања (m/km)

IRI<sub>aw</sub> – подужна равност након ојачања (m/km)

IRI<sub>bw</sub> – подужна равност пре ојачања (m/km)

a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub> – коефицијенти модела.

Подразумевана вредност коефицијента a<sub>0</sub> је 0.9. Други коефицијенти модела се аутоматски срачунавају као функција дебљине ојачања H<sub>OV</sub> (mm), применом следећих израза:

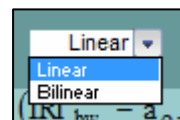
$$a_1 = \max(4.0, 2.1 \cdot e^{0.019 \cdot H_{OV}}) \quad (4)$$

$$a_2 = 1 + 0.018 \cdot \max(0, 100 - H_{OV}) \quad (5)$$

услед присуства пукотина, колотрага и ударних рупа, и његова подразумевана вредност је 0.054.

Одговарајућа вредност коефицијента утицаја околине "m" за Србију се крећу између 0.030 и 0.040 ("умерено-хладно" класификација температуре и "полу-суво" до "полу-влажно" класификација влажности). Подразумеване вредности у програму LCCAGT су 0.03 за коефицијент утицаја околине и 1.0 за фактор калибрације за утицај околине.

Модел ефеката радова одржавања. Корисник има могућност да изабере било линеарни или билинеарни модел ефеката радова одржавања. Модели могу бити изабрани кликом на ћелију која садржи име модела, када ће се појавити падајућа листа са расположивим вредностима, као што је приказано на слици 3.



Слика 3. Избор модела ефеката радова одржавања

Линеарни модел ефеката радова одржавања у програму LCCAGT је приказан једначином 2.

користи и као подразумевана вредност у програму HDM-4. Међутим, ова вредност се може променити у случају да буду познати детаљнији подаци о квалитету изведених радова. Параметар a<sub>2</sub> дефинише граничну дебљину ојачања до које важи ова линеарна зависност и са којом се постиже подужна равност специфицирана са a<sub>0</sub>. За све дебљине ојачања преко граничне, равност после интервенције је идентична равности израженој коефицијентом a<sub>0</sub>.

Билинеарни модел ефеката радова одржавања, примењен у програму LCCAGT дат је једначином 3.

$$a_3 = \min(a_0, \max(0, 0.01 \cdot H_{OV} - 0.15)) \quad (6)$$

Модел трошкова редовног одржавања. Редовно одржавање обухвата операције одржавања коловоза, хоризонталне и вертикалне сигнализације, система за одводњавање и вегетације у путном појасу. Усвојени модел је делимично заснован на моделу Neggie-a (1995), који дефинише зависност трошкова редовног одржавања у односу на обим саобраћаја. Други део модела је додат како би се укључила зависност трошкова редовног одржавања у односу на стање коловоза.

$$RMC = a_0 + a_1 \cdot AADT + a_2 \cdot IRI \quad (7)$$

где су:

RMC - трошкови редовног одржавања

AADT - просечни годишњи дневни саобраћај (ПГДС)

IRI - подужна равност коловоза (IRI, m/km), и

$a_0, a_1, a_2$  – коефицијенти модела (подразумеване вредности = 1700, 0.5, 200 респективно).

Коефицијенти модела датог једначином 7 могу бити лако промењени од стране корисника програма LCCAGT. Коректна процена ових коефицијената за одређене регионе или земље захтева додатна истраживања. Подразумеване вредности су усвојене на бази инжењерске процене.

Модел трошкова корисника. Модел јединичних трошкова корисника (URUC) имају следећи облик:

$$URUC(\text{Euro/vehicle-km}) = a_0 + a_1 \cdot IRI + a_2 \cdot IRI^2 + a_3 \cdot IRI^3 \quad (8)$$

где су:

URUC - јединични трошкови корисника (Euro/возило-km)

IRI - подужна равност коловоза (IRI, m/km), и

$a_0, a_1, a_2, a_3$  – коефицијенти модела.

Модел трошкова корисника су у оквиру рада развијени за карактеристични возни парк у Србији и вредности коефицијената ових модела су приказане у табели 1.

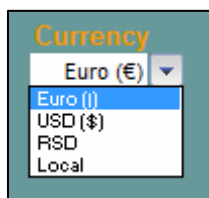
Табела 1. Коефицијенти модела трошкова корисника за Србију

Категорија возила	Коефицијенти једначине			
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
Путничко возило	0.222415	-0.000609	0.000610	-0.000011
Лако доставно возило	0.358610	-0.000758	0.001876	-0.000040
Аутобус	0.814970	0.014591	0.003645	-0.000073
Лаки камион	0.422729	0.011992	0.001102	-0.000021
Средњи камион	0.538942	0.010983	0.001304	-0.000024
Тешки камион	0.710332	0.008668	0.001780	-0.000028
Камион са (полу) приколицом	1.521268	0.031544	0.004590	-0.000082

Коефицијенти ових модела се могу релативно лако променити на радном листу „Configuration” уколико постоји потреба да се укључе неки други модели развијени за неко друго подручје или земљу, или за друге репрезентативне категорије возила.

Поред тога, структура саобраћаја за сваку анализирану деоницу се може унети директно у образац. Програм проверава да ли је сума учешћа свих категорија возила 100 %, и уколико није, ћелија са збиром учешћа се боји у црвено, уместо да буде у зеленој боји, чиме се корисник упозорава да треба кориговати структуру саобраћаја.

Поред модела, на радном листу „Configuration” се може изабрати и валута која ће се користити у анализи. Она се може изабрати из списка валута које се појављују у падајућој листи када се кликне на ћелију са именом валуте.



Слика 4. Избор валуте за прорачун на радном листу „Configuration”

Програм LCCAGT подразумева да ће корисник користити исту валуту за трошкове агенције и трошкове корисника.

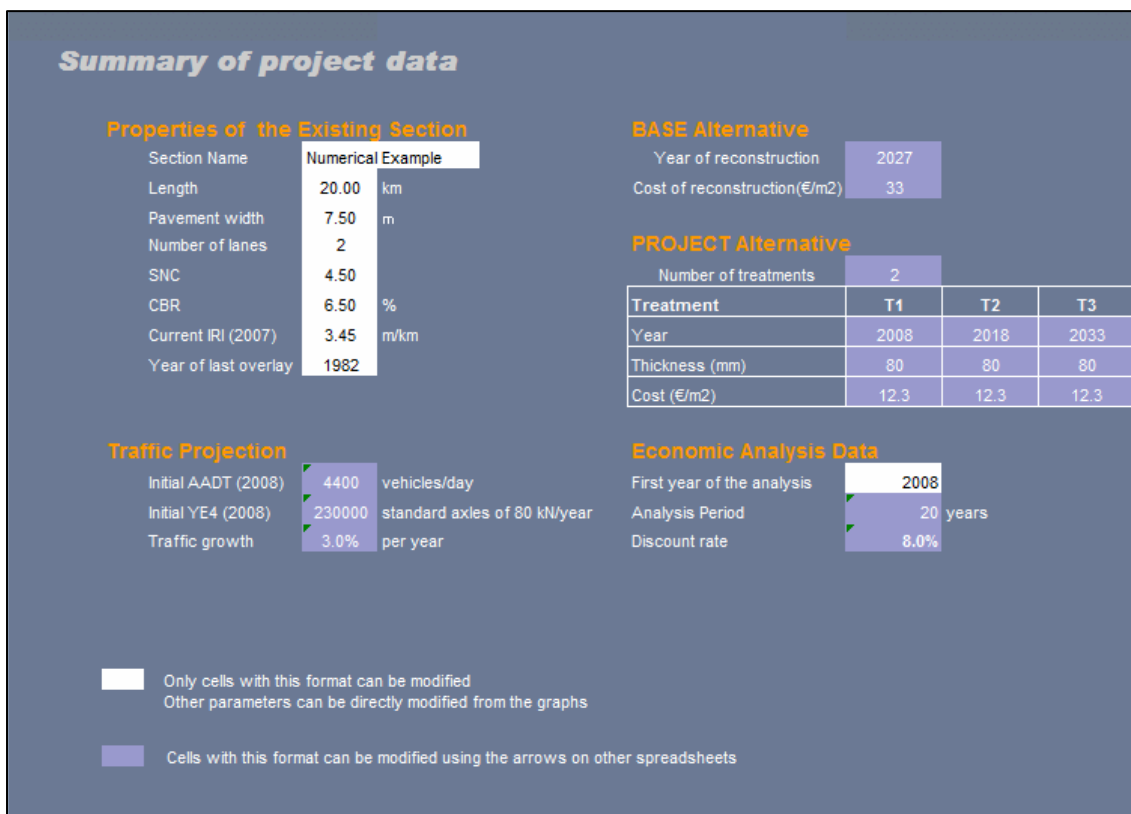
## УЛАЗНИ ПОДАЦИ

Неки од улазних параметара, попут основних карактеристика деонице и почетне године анализе могу се специфицирати на радном листу „Data” (слика 5).

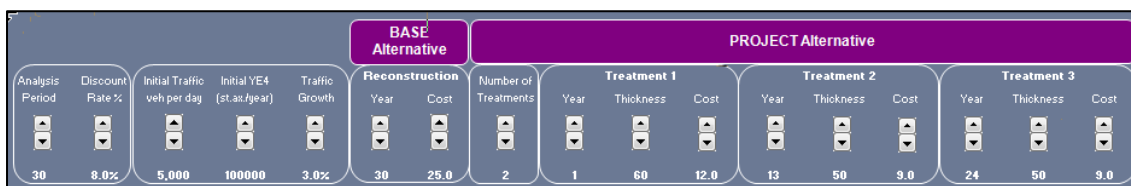
Седамнаест кључних параметара анализе могу се једноставно помоћу графичких команди променити на „графичком” листу „Comparison of Alternatives” (слика 6). За све ове параметри су дефинисани дозвољени распони вредности како би се онемогућиле грешке и осигурало да анализа има смисла.

Дужина периода анализе може бити између 10 и 40 година, а дисконтна стопа може имати вредности између 0 и 12 %.

Следећа три параметра се односе на саобраћајно оптерећење. Укупно просечно годишње дневно саобраћајно оптерећење у првој години анализе (AADT) може имати вредност између 0 и 30000 возила на дан, док почетни број стандардних осовина (YE4) може имати вредност између 20000 и 30 милиона. Сматра се да ове вредности обухватају саобраћајно оптерећење на свим деоницама магистралне путне мреже у Србији. Трећи параметар који се односи на саобраћај је годишња стопа раста саобраћаја која може имати вредности између 0 и 10%.



Слика 5. Радни лист "Data" програма LCCAGT



Слика 6. Еквилајзер који се користи за промену кључних параметара на „графичком“ радном листу

Следећа два параметра се односе на Основну алтернативу и укључују годину реконструкције (*Year of Reconstruction*) која је типично последња година периода анализе и цену реконструкције (*Cost of Reconstruction*), која може бити између 2 и 50 монетарних јединица по квадратном метру.

Коначно, Пројектна алтернатива се дефинише преко броја третмана одржавања (*Number of Treatments*), који може бити између 0 и 3 и основних параметара за сваки третман који укључују годину (*Year*), дебљину (*Thickness*), и цену (*Cost*) извођења третмана. Интервал између два узастопна третмана не може бити краћи од 3 године, а дебљина ојачања се може кретати између 30 и 150 mm.

### РАДНИ ЛИСТ „COMPARISON OF ALTERNATIVES“

Радни лист "Comparison of alternatives" садржи дијаграм са упоређењем укупних трошкова, укључујући трошкове одржавања и рехабилитација односно реконструкција и трошкове корисника, као и

упоређење равности изражене преко индекса IRI за основну и пројектну алтернативу (слика 7).

Пет кључних параметара/односа су такође приказани на овом радном листу:

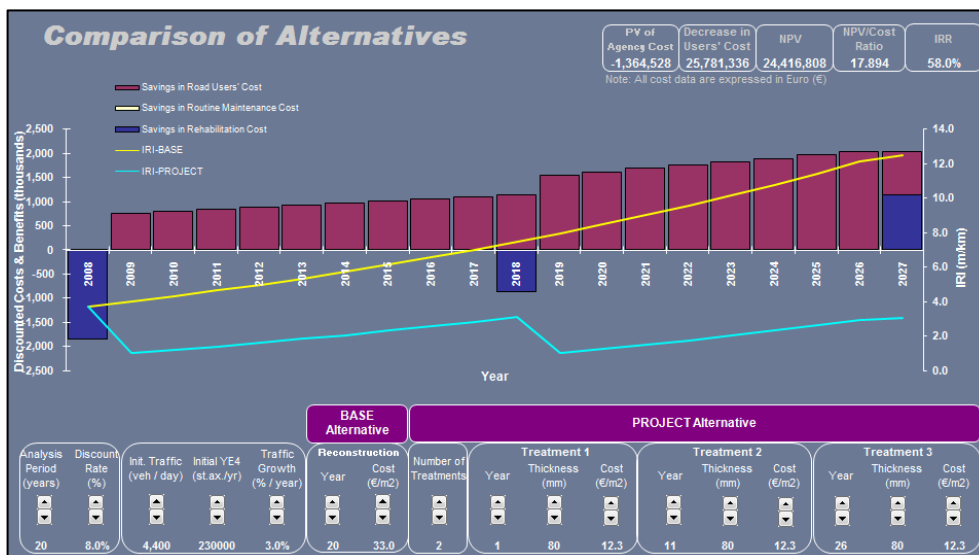
- садашња вредност трошкова агенције
- смањење трошкова корисника за Пројектну у односу на Основну алтернативу
- нето садашња вредност свих трошкова (NPV)
- однос нето садашње вредности и трошкова
- интерна стопа рентабилности (IRR)

Ових пет индикатора се аутоматски срачунавају при било којој промени улазних података, било на радном листу "data", или директно на овом „графичком“ радном листу. Ово омогућава брзо и једноставно вредновање алтернатива одржавања и анализу осетљивости с обзиром на промене кључних параметара.

### РАДНИ ЛИСТ „REPORT“

Радни лист "Report" (слика 8) садржи Извештај са свим улазним подацима и резултатима прорачуна за дату анализу.





Слика 7. Радни лист "Comparison of Alternatives" програма LCCAGT

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool ver. 1.6 3/20/2009

### LCCAGT

**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	Numerical Example
Analysis Period	20 years	Length	20.00 km
Discount rate	8 %	Width	7.50 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	4.50
Initial AADT (2008)	4400 vehicles/day	CBR	8.50 %
Initial YE4 (2008)	230000 st.ax./yr	Current IRI (2007)	3.45 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1982

Rehabilitation alternatives		Project Alternative	
Base Alternative		Project Alternative	
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	1
Cost of reconstr. (€/m2)	33.0	Treatment	T1
		Year	2008
		Thickness (mm)	80
		Cost (€/m2)	9.5

Road Deterioration Model			RWE model	
m	0.06	Linear		
Kgp	1.000			
Kqm	0.5			

**Analysis Results**

Year	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives		
	AAADT veh/day	IRI m/km	Agency Cost Euro (€)	User Cost Euro (€)	IRI m/km	Agency Cost Euro (€)	User Cost Euro (€)	Agency Cost Euro (€)	User Cost Euro (€)
2008	4,400	3.73	92,910	13,726,394	3.73	1,517,910	13,726,394	-1,425,000	0
2009	4,532	4.02	98,335	13,187,988	1.55	79,188	12,526,521	9,167	661,477
2010	4,668	4.33	84,020	12,680,209	1.75	75,175	11,985,469	9,845	694,740
2011	4,808	4.66	79,944	12,201,432	1.97	71,408	11,472,306	8,536	729,126
2012	4,952	5.00	76,093	11,750,189	2.20	67,853	10,985,611	8,240	764,577
2013	5,101	5.36	72,458	11,227,327	2.44	64,502	10,526,141	7,956	801,198
2014	5,254	5.75	69,016	10,929,060	2.70	61,333	10,090,337	7,683	838,724
2015	5,411	6.15	65,757	10,554,210	2.97	58,335	9,677,104	7,421	877,108
2016	5,574	6.57	62,679	10,205,320	3.25	55,508	9,288,753	7,170	916,567
2017	5,741	7.01	59,758	9,877,217	3.55	52,829	8,920,540	6,929	956,677
2018	5,913	7.48	56,991	9,570,542	3.86	50,293	8,573,056	6,697	997,486
2019	6,091	7.97	54,371	9,285,584	4.19	47,896	8,246,551	6,475	1,039,034
2020	6,273	8.48	51,881	9,018,038	4.54	45,619	7,937,200	6,261	1,080,838
2021	6,462	9.02	49,523	8,771,109	4.90	43,467	7,647,861	6,056	1,123,247
2022	6,655	9.58	47,279	8,539,422	5.28	41,421	7,373,855	5,859	1,165,567
2023	6,855	10.17	45,153	8,325,807	5.67	39,483	7,117,690	5,669	1,208,117
2024	7,061	10.79	43,132	8,127,712	6.09	37,644	6,877,212	5,487	1,250,500
2025	7,273	11.44	41,210	7,943,978	6.52	35,898	6,651,512	5,312	1,292,485
2026	7,491	12.12	39,383	7,773,471	6.98	34,239	6,439,736	5,144	1,333,735
2027	7,715	12.50	1,184,312	7,520,788	7.21	32,436	6,189,261	1,151,677	1,231,527
<b>TOTAL</b>			<b>2,364,204</b>	<b>201,315,803</b>		<b>2,512,418</b>	<b>182,253,111</b>	<b>-148,214</b>	<b>19,062,693</b>

**Net Present Value (NPV)** 18,914,479 Euro (€)

**Internal Rate of Return** 63.92 %

Слика 8. Радни лист "Report" програма LCCAGT

**НУМЕРИЧКИ ПРИМЕР**

Потребно је дефинисати стратегију одржавања за период од 25 година за једну саобраћајницу са две траке, у дужини од 20 km. Ширина коловоза је 7.5 m.

Коловозна конструкција је изведена 1982. године, а рехабилитована 1999. године. Структурни број коловоза је 4.5, а репрезентативна вредност

калифорнијског индекса носивости постељице CBR је 6.5 %. Снимање стања спроведено је 2007. године и вредност индекса подужне равности је била IRI = 3.45 m/km.

Тренутни ПГДС на овој деоници је 4400 возила/дан. Структура саобраћаја и осовинских оптерећења изражених преко стандардног осовинског оптерећења од 80 kN је приказана у табели 2.

Табела 2. Структура саобраћајног тока и осовинских оптерећења

Возило	Број возила	Процент возила	Број стандардних осовина од 80 kN по возилу	Укупан број стандардних осовина од 80 kN на дан
	A		B	C
Путничко возило	3506	79.7	-	-
Лако доставно возило	101	2.3	-	-
Аутобус	53	1.2	1.24	65.72
Лако теретно возило	111	2.5	0.01	1.06
Средње теретно возило	200	4.5	0.19	37.62
Тешко теретно возило	224	5.1	0.89	199.36
Тешко теретно возило са (полу)приколицом	205	4.7	1.59	335.49
<b>Укупно</b>	<b>4400</b>	<b>100</b>		<b>630.14</b>

Број стандардних осовина у првој години експлатације је:

$$UE4 = 630.14 \cdot 365 = 230001 \quad (9)$$

Подразумевана је стопа раста саобраћаја од 3 % током анализаног периода.

Сви трошкови су изражени у Еврима (€). Третмани одржавања обухватају ојачања асфалтним слојевима у укупној дебљини између 30 и 150 mm. Трошкови ојачања се могу срачунати из израза:

$$M = 0.1412 \cdot w_t + 1.05 \quad (10)$$

где је:

M – цена ојачања, €/mm<sup>2</sup>

w<sub>t</sub> – дебљина ојачања, mm.

Основна стратегија одржавања укључује редовно одржавање током анализаног периода и

реконструкцију у последњој години анализаног периода. Цена реконструкције је 33 €/m<sup>2</sup>.

Препоручена вредност дисконтне стопе за Србију је између 8 и 12 % годишње. Дисконтна стопа од 8 % је примењена у овом примеру.

Овом анализом биће обухваћене стратегије одржавања са једним или два ојачања у току анализаног периода.

У табели 3 дати су резултати анализе четири алтернативе одржавања са једним или два ојачања у току периода од 25 година. Прва алтернатива укључује ојачање од 7 cm у првој години анализаног периода (2008). Друга анализа даје резултате алтернативе која подразумева одлагање ојачања за две године. Коначно, трећа алтернатива подразумева ојачање од 7 cm у 2008. и ојачање од 4 cm у 2020. години.

Табела 3. Резултати анализе различитих алтернатива одржавања

Алтернатива одржавања	Резултати анализе			
	Садашња вредност трошкова агенције (€)	Нето садашња вредност (NPV) (€)	Однос NPV/Трошкови	Интерна стопа рентабилитета (%)
Ојачање 7 cm у 2008 @ IRI = 3.7 m/km	-344,904	20,177,968	58.50	60.7
Ојачање 7 cm у 2010 @ IRI = 4.3 m/km	-118,446	20,414,444	172.35	78.8
Ојачање 7 cm у 2008 @ IRI = 3.7 m/km и ојачање 4 cm у 2020 @ IRI = 4,1 m/km	-723,751	22,832,215	31.55	60.8
Оптимална алтернатива (max NPV): Ојачање 8 cm у 2008 @ IRI = 3.7 m/km и ојачање 8 cm у 2018 @ IRI = 3,1 m/km	-1,364,528	24.416.808	17.89	58,0

**ЗАКЉУЧАК**

У раду је приказан програм LCCAGT за анализу трошкова животног века коловоза, као и модел промене стања коловоза, модел ефеката радова одржавања, модели трошкова редовног одржавања и модели трошкова корисника који су примењени у оквиру програма. У раду су илустроване могућности програма кроз графичке приказе екрана програма и кроз нумерички пример.

Основна карактеристика програма је да је кориснички оријентисан и флексибилан и омогућава једноставну промену улазних параметара. Због своје једноставности посебно је погодан за анализу осетљивости резултата прорачуна у односу на неки од улазних параметара и за дефинисање оптималних алтернатива одржавања за појединачне путне деонице. Будући рад ће укључити аутоматизацију оптимизационих процедура што ће даље унапредити могућности програма.

**ЛИТЕРАТУРА**

- [1.] Archondo-Callao, R. (2007). Road Network Evaluation Tools (RONET), Version 1.0, User's Guide, The World Bank, Washington D.C.
- [2.] Cundill, M.A. and C.J.Withnall. (1995). "Road Transport Investment Model RTIM3", Sixth International Conference on Low-Volume Roads, Minneapolis, Minnesota 25-29 June, 1995. Transportation Research Record, Volume 1. Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council, pp. 187-190.
- [3.] FHWA (1998) Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design, In Search for Better Decision, Pavement Division Interim Technical Bulletin, Publication No. FHWA-SA-98-079, FHWA, Washington D.C.
- [4.] FHWA (2000). "Highway Economic Requirement System", Technical Report, v. 3.26, FHWA
- [5.] Heggie, I.G. (1995). Management and Financing of Roads: An Agenda for Reform. *World Bank, Technical Paper No. 275*, Washington DC: World Bank.
- [6.] Kerali, H.G.R. (2000). HDM-4 Highway Development and Management, Vol. 1 – Overview. PIARC - The World Road Association, Paris, France. and World Bank, Washington, D.C., USA
- [7.] NDLI (1995). Modeling Road Deterioration and Maintenance Effects in HDM-4. Final Report Asian Development Bank Project RETA 5549, N.D.Lea International, Vancouver, Canada
- [8.] Odoki, J.B. and Kerali, H.G.R. (2000). Highway Development and Management Series, Volume 4, Analytical Framework and model Descriptions, PIARC/AIPCR and World Bank.
- [9.] Robinson R., U.Danielson and M.Snaith (1998). Road Maintenance Management, Palgrave, UK