

Универзитет у Београду
Грађевински факултет

мр Горан Младеновић, дипл. грађ. инж.

ОПТИМИЗАЦИЈА ОДРЖАВАЊА
КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Докторска дисертација

Београд
2008

РД 20192

№ 51303842
UNIVERZITET U BEOGRADU
FACULTET GRAĐEVINARSTVA I ARHITEKTURE
BEOGRAD

Универзитет у Београду
Грађевински факултет

мр Горан Младеновић, дипл. грађ. инж.

ОПТИМИЗАЦИЈА ОДРЖАВАЊА КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА



Докторска дисертација

Београд
2008

УНИВЕРЗИТЕТСКА БИБЛИОТЕКА
"СВЕТОЗАР МАРКОВИЋ" БЕОГРАД
91 и. Бр. 15025



Ментор:

др Александар Цветановић, дипл.грађ.инж.

Редовни професор
Грађевинског факултета
Универзитета у Београду

Чланови Комисије:

Cesar Queiroz, Ph.D

Professor

George Washington University, USA
гостујући професор Универзитета у Београду

др Аца Милићевић, дипл.грађ.инж.

Редовни професор
Грађевинско-архитектонског факултета
Универзитета у Нишу

Датум одбране докторске дисертације:

Оптимизација одржавања коловозних конструкција

Резиме

Путна инфраструктура представља једно од најзначајнијих добара сваке земље. Она игра кључну улогу у развоју продуктивније и ефикасније националне економије. Како ова инфраструктура непрекидно пропада услед комбинованог дејства саобраћајног оптерећења и околине, велики део буџета је потребан како би се квалитет путне мреже одржао у прихватљивим границама. Путне управе покушавају да изаберу оне алтернативе које минимизирају трошкове управе или укупне трошкове одвијања саобраћаја. Основни циљ је да се мрежа доведе у одрживо, тзв. "steady-state" стање које захтева минимална улагања за њено одржавање.

Приказано истраживање укључује развој модела за анализу трошкова у оквиру животног циклуса пута (Life Cycle Cost Analysis Graph Tool - LCCAGT) који се може користити за брзу и ефикасну анализу пројеката рехабилитација коловозних конструкција и развој оптималне стратегије одржавања и рехабилитације на нивоу пројекта. Поред тога, приказана је и методологија за хармонизацију управљања одржавањем коловозних конструкција на нивоу мреже и на нивоу пројекта кроз употребу LCCAGT.

Преглед различитих поступака оптимизације примењених у управљању одржавањем коловозних конструкција на нивоу мреже и на нивоу пројекта показао је да се већина њих односи на поједине делове процеса управљања одржавањем. Међутим, алгоритам претраге у правцу највећег градијента SDGSA превазилази то ограничење кроз развој оптималне стратегије одржавања и рехабилитације од почетног до коначно одрживог (тзв. steady-state) стања. Стога је SDGSA алгоритам изабран у овој дисертацији да у комбинацији са LCCAGT покаже употребљивост овог другог на реалној студији случаја за Србију.

Методологија за хармонизацију анализе на нивоу пројекта и на стратешком нивоу анализе модела HDM-4 са циљем да се развије оптимална стратегија рехабилитације за путну мрежу у условима различитих буџетских ограничења је примењена у овој дисертацији као покушај валидације модела LCCAGT. У ту сврху спроведена је анализа на нивоу пројекта са оба модела, HDM-4 и LCCAGT, заједно са применом SDGSA алгоритма, за развој оптималних стратегија рехабилитације за репрезентативне путне деонице на нивоу мреже. Упоређење резултата показује да у већини LCCAGT даје сличне резултате у односу на исту анализу програмом HDM-4. Мање разлике између LCCAGT и HDM-4 су објашњене у тези у светлу различитих приступа моделирању ефеката интервенција. Штавише, примена LCCAGT, поред тога што је сама апликација кориснички оријентисана, омогућава значајне уштеде у времену.

Истраживање је такође показало да се резултати анализе помоћу LCCAGT применом SDGSA алгоритма могу користити у комбинацији са Expenditure Budgeting Model (EBM) који је саставни део програма HDM-4, за генерисање оптималне стратегије одржавања на нивоу мреже у оквиру буџетских ограничења.

Кључне речи: Управљање одржавањем коловозних конструкција, анализа трошкова века трајања, рехабилитација коловоза, ојачање, LCCAGT

Optimization of Pavement Maintenance

Abstract

Road infrastructure is one of the most valuable assets of any country. It plays a vital role in encouraging a more productive and competitive national economy. As this infrastructure continuously deteriorates through the combined effects of traffic loading and the environment, a large amount of budget resources is needed for maintaining the quality of roads within acceptable limits. Road agencies strive to select those maintenance alternatives that minimize agency cost as well as total transport costs. The basic aim is to provide a sustainable steady state condition of road network that requires minimal uniform annual investment.

The research presented herein involves the development of a Life Cycle Cost Analysis Graph Tool (LCCAGT) that can be used for fast and efficient analysis of pavement rehabilitation projects and development of optimal maintenance and rehabilitation (M&R) strategy at project level. In addition, a methodology for the harmonization of project and network level pavement management is also demonstrated with the use of LCCAGT.

The review of different optimization approaches used on network and project level pavement management showed that most of them are developed for certain parts of the pavement management process. However, the steepest descent gradient search algorithm (SDGSA) overcomes this limitation by providing the optimum M&R strategy that covers pavement improvement from initial to steady-state condition and maintenance of steady-state condition. Consequently, the SDGSA was selected for use in this dissertation in combination with the LCCAGT to show an application of the latter to a real case situation in Serbia.

The methodology for harmonizing project level and strategic level analyses of HDM-4 with the aim of developing optimal rehabilitation strategies for a road network under different budget constraints is used in this thesis as an attempt to validate the LCCAGT model. For this purpose, both the HDM-4 project level analyses and the LCCAGT model are used, together with the SDGSA to develop optimal rehabilitation strategies for representative sections of a road network. A comparison of the two sets of results shows that, for many practical purposes, the LCCAGT provides similar outcome to HDM-4. Minor differences between LCCAGT and HDM-4 are explained in the thesis in view of the different approaches in modeling road work effects. Furthermore, the LCCAGT approach, in addition to being user friendly, involves significant savings in time and effort.

The dissertation also shows how the outcome of the LCCAGT and SDGSA analysis can be used, in combination with the Expenditure Budgeting Model (EBM) of HDM-4, to generate an optimum rehabilitation strategy on the network level under budgetary constraints.

Key words: Pavement management, Life Cycle Cost Analysis, Pavement Rehabilitation, Overlay, LCCA Graph Tool, LCCAGT

Захвалност

Желео бих да се захвалим свом ментору, проф. др Александру Цветановићу на континуираној помоћи и подршци да завршим ову дисертацију. Такође желим да изразим своју искрену захвалност проф. др Cesar Queiroz-у, за његову велику помоћ и несебичну подршку кроз све фазе овог истраживања, без којих не бих био у стању да завршим овај рад. Захвалност дугујем и проф. др Вери Мијушковић, за вредне сугестије и дискусије кроз све фазе рада на изради ове дисертације.

Коначно бих желео да се захвалим и својој породици за њихову континуалну подршку и разумевање без којих овај рад не би могао бити окончан.

Садржај

Резиме	i
Abstract	ii
Захвалност.....	iii
Списак табела.....	vi
Списак слика.....	vii
Поглавље 1	
Увод и циљеви истраживања.....	1
1.1 Увод	1
1.2 Циљеви истраживања.....	4
1.3 Приступ истраживању.....	6
1.4 Организација дисертације.....	7
Литература за 1. поглавље	8
Поглавље 2	
Преглед постојећих оптимизационих модела примењених у управљању одржавањем коловозних конструкција	9
2.1 Увод	9
2.2 Преглед литературе о примени поступака оптимизације у системима за управљање одржавањем коловозних конструкција.....	10
2.2.1 Линеарно програмирање	10
2.2.2 Целобројно програмирање.....	11
2.2.3 Динамичко програмирање	12
2.2.4 Хеуристичке технике и генетски алгоритми.....	12
Литература за 2. поглавље	14
Поглавље 3	
Оптимизација управљања одржавањем коловозних конструкција на нивоу мреже и на нивоу пројекта	17
3.1 Увод	17
3.2 Оптимизација на нивоу пројекта.....	17
3.2.1 Примена теорије оптималног управљања.....	18
3.2.2 Имплементација градијентне методе.....	24
3.2.2.1 Одређивање оптималних времена и интензитета третмана	25
3.2.2.2 Одређивање оптималног броја третмана.....	26
3.3 Хармонизација одлучивања на нивоу пројекта и на нивоу мреже	28
Литература за 3. поглавље	31
Поглавље 4	
Модели промене стања коловозних конструкција	33
4.1 Увод	33
4.2 Модели пропадања коловоза у програму HDM-4	34
4.3 Модели пропадања у новом AASHTO аналитичко-емпиријском поступку за пројектовање коловозних конструкција	38
4.3.1 Модели за предвиђање неравности.....	38
4.3.2 Предвиђање развоја отећања са расположивим преносним функцијама	41
4.3.3 Предвиђање оштећења која се користе у једначинама за IRI	41
4.4 Упрошћен модел развоја неравности базиран на HDM - III.....	45
4.5 Упрошћен модел развоја неравности базиран на HDM-4.....	46
4.6 Prozzi-јев модел пропадања коловоза.....	49
4.7 Избор модела пропадања коловоза.....	49
4.8 Модели ефеката радова одржавања (RWE)	49
Литература за 4. поглавље	54

Поглавље 5	
Анализа модела трошкова корисника.....	55
5.1 Увод	55
5.2 Кратак опис модела трошкова корисника у НДМ-4	55
5.3 Дефинисање репрезентативног возног парка у Србији	59
5.4 Карактеристике возила и одговарајући трошкови	60
5.5 Развој модела трошкова корисника за возни парк у Србији	60
5.6 Анализа утицаја цене горива	62
Литература за 5. поглавље	64
Поглавље 6	
Развој програма за анализу трошкова животног века коловоза (Life Cycle Cost Analysis Graph Tool - LCCAGT)	65
6.1 Увод	65
6.2 Конфигурациони модели	66
6.3 Улазни подаци	69
6.4 Радни лист „Comparison of Alternatives“	71
6.5 Радни лист „Report“	72
6.6 Нумерички пример	73
Литература за 6. поглавље	75
Поглавље 7	
Студија случаја за путну мрежу Србије.....	76
7.1 Опис анализираних путних мрежа	76
7.2 Возни парк и трошкови корисника	77
7.3 Алтернативе одржавања	78
7.4 Резултати анализе применом програма НДМ-4	79
7.5 Резултати анализе применом програма LCCAGT	83
Литература за 7. поглавље	89
Поглавље 8	
Закључна разматрања и препоруке за даљи рад.....	90
8.1 Закључна разматрања	90
8.2 Препоруке за даљи рад.....	91
Прилог I	
Програмски код програма LCCAGT	
Прилог II	
Резултати анализе програмом LCCAGT	

Списак табела

Табела 4.1	Основни типови модела пропадања коловоза (Lytton 1987)	34
Табела 4.2	Климатске карактеристике Србије	38
Табела 4.3	Вредности DP за блок пукотине за флексибилне коловозе	42
Табела 4.4	Вредности DP за блок пукотине за флексибилне коловозе са цементом стабилизиваном подлогом	43
Табела 4.5	Вредности DP за модел са заливеним подужним пукотинама ван колотрага	43
Табела 4.6	Вредности DP за подужне пукотине средњег и високог интензитета ван колотрага	43
Табела 4.7	Вредности DP за модел са заливеним подужним пукотинама у колотразима	44
Табела 4.8	Вредности DP за закрпе високог интензитета	44
Табела 4.9	Вредности DP за закрпе средњег и високог интензитета	44
Табела 4.10	Вредности DP за ударне рупе	45
Табела 4.11	Препоручене вредности за коефицијент утицаја околине “m” у моделу развоја неравности (Paterson, 1987)	46
Табела 4.12	Препоручене вредности за коефицијент утицаја околине “m” у моделу развоја неравности у HDM-4 (Morosiuk и остали, 2004)	47
Табела 5.1	Класе осетљивости модела трошкова корисника у HDM-4, (Bennett и Paterson 2000)	57
Табела 5.2	Осетљивост укупних трошкова корисника (Извор: World Bank 2007)	57
Табела 5.3	Осетљивост уштеда у трошковима корисника (при промени равности са IRI = 4 m/km на IRI = 2 m/km), World Bank, 2007	58
Табела 5.4	Репрезентативне категорије возила у Студији трошкова корисника за Црну Гору	59
Табела 5.5	Категорије возила у студији обилазнице Сарајева	59
Табела 5.6	Репрезентативни возни парк у Србији	60
Табела 5.7	Карактеристике возног парка	60
Табела 5.8	Карактеристике терена примењене у развоју модела трошкова корисника	61
Табела 5.9	Карактеристике типичне путне деонице коришћене у анализи трошкова корисника	61
Табела 5.10	Коефицијенти модела трошкова корисника за Србију	61
Табела 5.11	Коефицијента модела трошкова корисника за повећање цене горива за 20 %	62
Табела 5.12	Коефицијенти модела трошкова корисника за пад цене горива од 20 %	63
Табела 5.13	Утицај промене цене горива на трошкове корисника за типични ниво неравности од IRI = 3 m/km	63
Табела 6.1	Структура саобраћајног тока и осовинских оптерећења	73
Табела 6.2	Резултати анализе различитих алтернатива одржавања	74
Табела 7.1	Матрица путне мреже Србије	76
Табела 7.2	Основне карактеристике репрезентативних деоница	77
Табела 7.3	Карактеристике возног парка	78
Табела 7.4	Цена, критеријуми за примену и ефекти радова редовног одржавања	78
Табела 7.5	Цена ојачања	79
Табела 7.6	Цена припремних радова	79
Табела 7.7	Оптимални третмани одржавања на нивоу пројекта	80
Табела 7.8	Алтернативе одржавања за стратешки ниво анализе	81
Табела 7.9	Коефицијенти калибрације за равност примењени у програму LCCAGT	83
Табела 7.10	Оптималне алтернативе одржавања на нивоу пројекта добијене програмом LCCAGT са два ојачања током анализираног периода	85
Табела 7.11	Оптималне алтернативе одржавања на нивоу пројекта добијене програмом LCCAGT са три ојачања током анализираног периода	86
Табела 7.12	Алтернативе одржавања за стратешки ниво анализе	87

Списак слика

Слика 1.1	Шематски приказ оптималне стратегије одржавања у односу на укупне трошкове одвијања саобраћаја	2
Слика 1.2	Илустрација оптимизације и претраживање глобалног оптимума	5
Слика 3.1	Модел пропадања коловоза, примењен у раду Tsunokawa-е и Schofer-a, 1994	18
Слика 3.2	Моделирање понашања система након прве рехабилитације у тренутку времена t_1 (Li и Madanat, 2002)	22
Слика 3.3.	Методологија хармонизације оптималних решења одржавања коловоза на нивоу пројекта и на нивоу мреже (део 1)	29
Слика 3.3.	Методологија хармонизације оптималних решења одржавања коловоза на нивоу пројекта и на нивоу мреже (део 2)	30
Слика 4.1	Упоредбе вредности равности срачунатих помоћу модела HDM-4 и помоћу модела RNET (Archondo-Callao, 2007)	48
Слика 4.2	Апроксимација Archondo-Callao-овог модела експоненцијалном функцијом	48
Слика 4.3	Шематски приказ линеарног RWE модела	50
Слика 4.4	Равност после ојачања срачуната применом линеарног модела	51
Слика 4.5	Шематски приказ билинеарног RWE модела примењеног у HDM-4	52
Слика 4.6	Равност после ојачања срачуната применом билинеарног модела	53
Слика 5.1	Структура модела ефеката по кориснике (RUE model) у HDM-4 (Bennett и Greenwood, 2004)	56
Слика 5.2	Трошкови корисника за различите категорије возила у функцији стања пута	62
Слика 6.1	Називи радних листова у програму LCCAGT	65
Слика 6.2	Радни лист “Configuration” програма LCCAGT	66
Слика 6.3	Избор модела ефеката радова одржавања	67
Слика 6.4	Избор валуте за прорачун на радном листу “Configuration”	69
Слика 6.5	Радни лист “Data” програма LCCAGT	70
Слика 6.6	Еквилајзер који се користи за промену кључних параметара на „графичком“ радном листу	70
Слика 6.7	Радни лист “Comparison of Alternatives” програма LCCAGT	71
Слика 6.8	Радни лист “Report” програма LCCAGT	72
Слика 7.1	Упоредбе годишњих трошкова за одржавање у слушају неограниченог и ограничених буџета за одржавање	82
Слика 7.2	Упоредбе вредности индекса равности IRI на путној мрежи за различите сценарије буџета	82
Слика 7.3	Промена нето садашње вредности у функцији од дебљине ојачања за деоницу IRI2-T1 (једно ојачање током периода анализе, изведено у 2008)	84
Слика 7.4	Упоредбе годишњих трошкова за одржавање у слушају неограниченог и ограничених буџета за одржавање	88
Слика 7.5	Упоредбе вредности индекса равности IRI на путној мрежи за различите сценарије буџета	88

Поглавље 1

Увод и циљеви истраживања

1.1 Увод

Путна инфраструктура представља једно од најзначајнијих добара сваке земље. Она игра кључну улогу у развоју продуктивније и ефикасније националне економије. Како ова инфраструктура непрекидно пропада услед комбинованог дејства саобраћајног оптерећења и околине, велики део буџета је потребан како би се квалитет путне мреже одржао у прихватљивим границама. Путне управе покушавају да изаберу оне алтернативе одржавања које минимизирају трошкове управе или укупне трошкове одвијања саобраћаја. При томе је основни циљ је да се мрежа доведе у одрживо, тзв. “steady-state” стање које захтева дугорочно минимална улагања у њено одржавање.

Пракса управљања одржавањем коловозних конструкција дефинише рационални приступ у налажењу најефикасније комбинације третмана одржавања како би се обезбедио захтевани ниво услуге. Системи за управљање одржавањем коловоза (PMS) који служе за вредновање различитих стратегија одржавања користе процењени ефекат третмана одржавања и рехабилитације на понашање коловозне конструкције у будућности како би се одредиле деонице које је потребно третирати и за које треба применити превентивно одржавање, рехабилитацију или реконструкцију, како би се обезбедило захтевано опште стање у оквирима ограничења (AASHTO 2001).

OECD (1987) дефинише управљање одржавањем коловоза као процес координације и управљања свеобухватним сетом активности на одржавању коловоза, како би се расположиви ресурси искористили на најбољи начин, тј. максимизовале користи по друштво у целини.

Системи управљања одржавањем коловозних конструкција су у општем случају дефинисани, развијени и примењени на два нивоа – нивоу мреже и нивоу пројекта (AASHTO 1990). Ова два нивоа се разликују у погледу врсте и прецизности података који се прикупљају, као и у погледу њихове примене у систему управљања. Најважније разлике између ова два основна нивоа састоје се у (AASHTO 2001):

- циљевима или сврси доношења одлука
- групи или нивоу у оквиру организације на коме се доноси одлука
- броју група или појединаца који морају дефинисати и ревидовати препоруке пре него што се оне дају на усвајање
- броју деоница путне мреже које се користе у анализи, и
- детаљности података и информација потребних како би се подржале одлуке

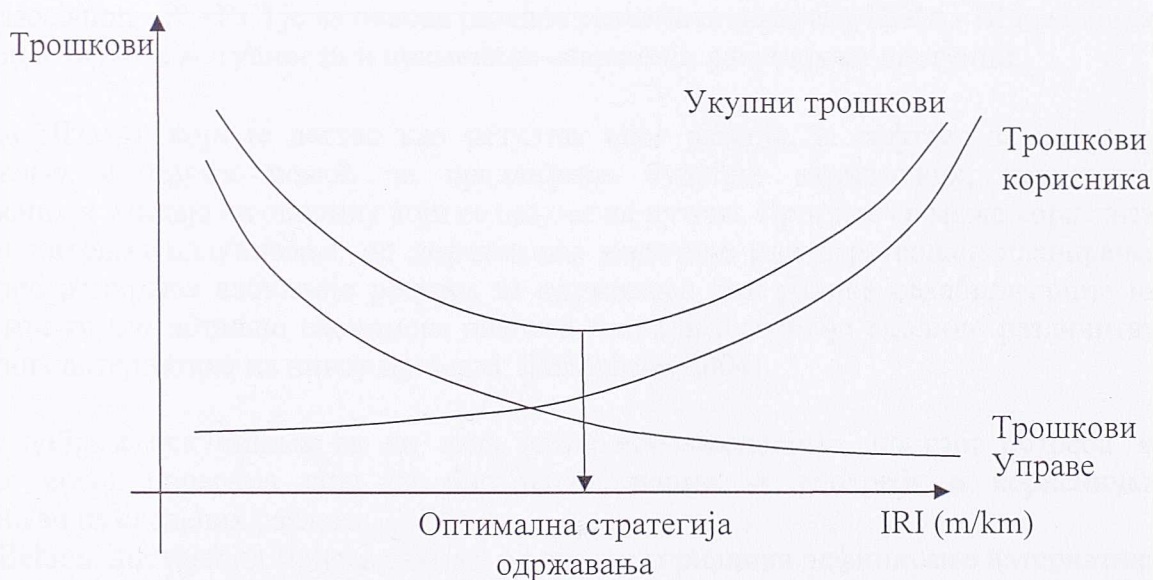
Основни циљеви система за управљање одржавањем коловозних конструкција на нивоу мреже су да се идентификују потребе за одржавањем, рехабилитацијом и реконструкцијом за путну мрежу у целини, да се одреде средства потребна за испуњење тих потреба, испитају могуће опције и стратегије одржавања, одреди утицај различитих сценарија финансирања на стање путне мреже у целини, и развије програм радова који

укључује изабране деонице и одговарајуће активности одржавања за изабрани сценарио финансирања.

На нивоу пројекта улога PMS-а 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.

Постоји читав низ техника оптимизације које се примењују на оба нивоа управљања одржавањем коловозних конструкција. Оне укључују математичко програмирање како би се одредио „истински“ оптимум, или употребу хеуристичких техника како би се добило решење блиско оптималном у случајевима када одређивање истинског оптимума није погодно.

За инфраструктурне објекте попут путева, велики део трошкова агенција које се баве одржавањем се односи на период након изградње, односно током животног века коловоза. Поред тога, значајан део укупни 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. То се може најбоље урадити применом анализе трошкова у оквиру животног века (Life Cycle Cost Analysis – LCCA).



Слика 1.1. Шематски приказ оптималне стратегије одржавања у односу на укупне трошкове одвијања саобраћаја

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 2001).

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. Најчешће се примењују 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, 1998b).

Модел HDM-4 је један од програма који се користи у Србији на нивоу мреже како би се дефинисали вишегодишњи програми радова и на нивоу пројекта како би се вредновале различите алтернативе одржавања у процесу пројектовања. Развој модела започео је 1968. године када је Светска банка започела развој модела вредновања пројекта у области путева. Резултат тога је да је на Институту за технологију државе Масачусетс (Massachusetts Institute of Technology - MIT) направљен модел трошкова за путеве (Highway Cost Model). Овај рад је настављен да би 1979. године настала прва верзија Система за пројектовање путева и стандарда одржавања (Highway Design and Maintenance Standards model - HDM) и развој модела за инвестирање у путеве у земљама у развоју 1977. године. Током неколико наредних година HDM је побољшан и унапређен у верзију HDM-III. Почевши од 1995. године, Међународна студија за развој модела за развој и управљање путевима (International Study of Highway Development and Management Tools - ISOHDM), која је спонзорисана од стране Светске банке, Азијске банке за развој, Британског одељења за међународни развој (Department for International Development-DFID), Шведске администрације за путеве (Swedish Road Administration - SRA) и других, под окриљем Светске асоцијације за путеве (World Road Association - PIARC) је из основа развила различите моделе у HDM - III како би се прошириле њихове могућности и применили савремени рачунарски поступци.

Програм HDM-4, који је настао као резултат овог развоја, је софтвер за подршку одлучивању и пружа помоћ за предвиђање будућих економских, техничких, друштвених и утицаја на околину који се односе на путеве. Програм се може користити на свим нивоима одлучивања, од дефинисања политике или стратешког планирања, преко програмирања алокације ресурса за одржавање или радове рехабилитације на путној мрежи, до детаљне економске анализе и анализе утицаја околине различитих пројектних алтернатива на нивоу пројекта (Humphries 2004).

Упркос добрим искуствима са до сада развијеним моделима, постоји потреба за развојем новог програма који би био једноставнији за употребу и кориснички оријентисан из следећих разлога:

1. Већина постојећих модела захтева од стране корисника дефинисање алтернатива одржавања које ће бити анализирани. Стога, када се врши „оптимизација“ одржавања, то није оптимизација у правом смислу, већ се у суштини тражи најбоља од спецификованих алтернатива. Како се ове алтернативе најчешће дефинишу на бази „инжењерског искуства“, оптимална алтернатива не мора уопште бити дефинисана и у том случају се долази до инфериорних решења. Стога постоји потреба да се дефинише систематичан и ефикасан алгоритам за претраживање како би се дошло до истинског оптимума, уз поштовање дефинисаних алтернатива (Tsunokawa, 2006). Оптимизирањем стратегија одржавања, агенције које се баве одржавањем путева могу доћи до значајних уштеда и до унапређења стања путне мреже у границама расположивих буџета.

2. Улазни подаци за неке моделе (попут НДМ-4) су кроз њихов развој постали сувише обимни и компликовани, поготово када се ради о анализи једне деонице и развој одговарајућег кориснички оријентисаног софтвера је неопходан.

У неким земљама, попут Сједињених Држава, у анализи се врло ретко користе трошкови корисника, а и ако се користе, онда се најчешће односе на трошкове узроковане радовима на путевима, као што су додатно време путовања или додатни трошкови корисника услед радова на путевима (Parragianakis, 2001). Сходно томе, један побошљан приступ анализи може убедити те кориснике у предности увођења укупних трошкова корисника у анализу.

Један такође важан и недовољно истражен аспект управљања одржавањем коловозних конструкција односи се на хармонизацију одлука између два основна нивоа одлучивања. Анализом трошкова животног века коловоза може се добити оптимална алтернатива одржавања на нивоу пројекта и она се може користити за анализу репрезентативних деоница путне мреже, или за анализу стварних, негруписаних деоница. Међутим, ове оптималне стратегије су оствариве на нивоу мреже само у случају неограниченог буџета и није могуће анализирати утицај буџетских ограничења применом само анализе трошкова животног века коловоза. Стога оптималне стратегије одржавања на нивоу пројекта и на нивоу мреже могу бити различите и постоји потреба за развојем конзистентне методологије и хармонизацију решања на два основна нивоа. Стварно оптимална стратегија на нивоу мреже представља прости збир оптималних стратегија на нивоу пројекта у случају неограниченог буџета. Међутим, резултат су изузетно велики трошкови у појединим годинама анализе и неравномерно распоређени трошкови током планског периода што није погодно за било коју агенцију за одржавање. Стога је потребно истражити стратегије које су оптималне у условима одређених буџетских ограничења.

1.2 Циљеви истраживања

Фокус овог истраживања је на техникама рехабилитације коловоза и посебно на стратегијама одржавања, као и на хармонизацији одлучивања на нивоу пројекта и на нивоу мреже.

Одређивање оптималне стратегије одржавања је био предмет истраживања већег броја истраживача у прошлости. Проблем се најчешће формулише на следећи начин: ако су дати модел пропадања и модел ефеката радова одржавања, потребно је одредити фреквенцију и интензитет третмана одржавања који минимизирају укупне трошкове одвијања саобраћаја током планског периода.

Основна хипотеза истраживања је да се оптимална стратегија одржавања на нивоу пројекта састоји из две фазе:

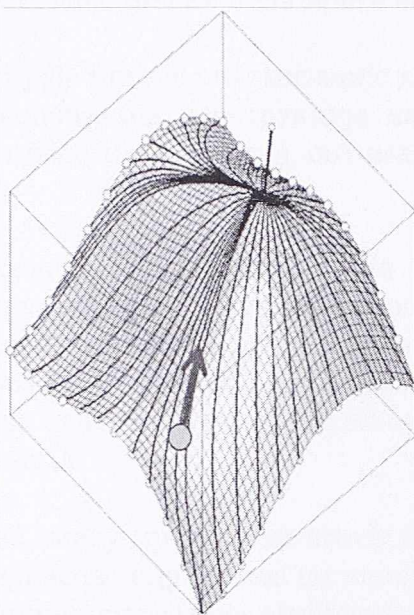
1. превођење из тренутног у оптимално одрживо, тзв. „steady-state“ стање
2. одржавање коловоза у „steady-state“ стању

Анализа се најчешће спроводи тако да се прво одреди оптимално одрживо стање коловоза и одговарајућа стратегија одржавања, а затим се одреди оптимална прелазна стратегија.

У развијеним земљама путне мреже су типично у много бољем стању, ближем дугорочно одрживом оптималном стању, док су у земљама у развоју, попут Србије, оне

у знатно лошијем стању и циљ за постизањем дугорочно одрживог оптималног стања се најчешће своди на одређивање оптималне стратегије одржавања за превођење из постојећег у оптимално стање. Стога је ова фаза много значајнија за земље у развоју.

Постојећа решења су развијена или само за једну фазу (Li и Madanat, 2002), или имају проблема са постизањем глобалног оптимума. Стога постоји потреба за развојем процедуре оптимизације која би обухватила обе фазе и била довољно робуствна да током претраживања избегне локалне оптимуме. На слици 1.2 је дат приказ претраживања глобалног оптимума у вишедимензионом простору.



Слика 1.2. Илустрација оптимизације и претраживање глобалног оптимума

Специфични циљеви истраживања су:

- Да се развије поједностављени и кориснички оријентисан програмски алат за анализу трошкова животног века коловоза на нивоу пројекта који би се могао користити за:
 - анализу трошкова изградње и одржавања за нове коловозне конструкције
 - анализу оптималних стратегија одржавања за постојеће коловозе
 - анализу оптималних стратегија одржавања на нивоу мреже за репрезентативне деонице на путној мрежи
 - као алат у образовном процесу за визуелизацију последица појединих одлука у процесу управљања одржавањем коловозних конструкција
- да се развије оптимизациони поступак на нивоу пројекта који се може користити за одређивање оптималних стратегија одржавања на нивоу мреже, било на основу анализе репрезентативних или стварних путних деоница
- да се развије методологија за хармонизацију оптималних решења одржавања на нивоу пројекта и на нивоу мреже

1.3 Приступ истраживању

Истраживање ће укључити детаљан преглед литературе у погледу постојећих модела пропадања коловоза и трошкова корисника, као и модела трошкова третмана одржавања. На основу овога биће извршен избор одговарајућих модела пропадања коловозне конструкције за програм LCCAGT који ће бити развијен у оквиру истраживања. Постоји такође потреба за прилагођавањем модела трошкова корисника на услове који владају у Србији, како би они били примењени у програму LCCAGT.

Такође ће бити обрађене постојеће методе оптимизације које се примењују у системима за управљање одржавањем коловозних конструкција на нивоу пројекта и на нивоу мреже и биће развијена методологија за развој оптималне стратегије одржавања на нивоу пројекта.

У окружењу MS Excel применом програмског језика Basic for Applications (VBA) планира се развој оптимизационог модела за анализу трошкова животног века коловоза. Циљ је да се развије кориснички оријентисан програм са графичким интерфејсом који ће омогућити корисницима релативно једноставну анализу осетљивости решења услед промене појединих параметара анализе. Овај модел ће затим бити коришћен за развој оптималних стратегија одржавања.

Хармонизација одлучивања на нивоу мреже и на нивоу пројекта биће спроведена тако да се одреде оптималне алтернативе одржавања на нивоу пројекта за репрезентативне деонице путне мреже и дефинише оптимална стратегија одржавања применом модела HDM-4 и његовог модула за стратешку анализу.

Имплементација предложене процедуре биће илустрована кроз студију случаја путне мреже Србије. Подаци за студију биће преузети из базе података о путевима коју је развило и одржава ЈП „Путеви Србије“. Формат базе података фаворизује примену програма HDM-4 за анализу на нивоу програма и на нивоу пројекта. За анализу на нивоу мреже биће креирана матрица мреже у функцији саобраћајног оптерећења и стања деоница путне мреже (подужна или попречна равност). За сваку деоницу биће развијена оптимална стратегија одржавања применом програма LCCAGT. Коначно, биће примењена анализа на нивоу стратегије програма HDM-4 за анализу утицаја буџетских ограничења.

Главни допринос истраживања је развој методологије за оптимизацију радова одржавања, као и практичног алгоритма за спровођење такве методологије.

1.4 Организација дисертације

У првом поглављу приказани су претходна анализа информација о предмету истраживања, циљеви истраживања и основни приступ, као и кратак приказ извора информација коришћених у дисертацији.

Детаљни историјски приказ метода оптимизације који се користе у различитим системима за управљање одржавањем на нивоу мреже и на нивоу пројекта дат је у другом поглављу.

У трећем поглављу је обрађено више поступака оптимизације који се користе у последње време или су још у фази развоја, тако да заслужују детаљну обраду. На основу њихове детаљне анализе усвојен је поступак оптимизације на нивоу пројекта. У овом поглављу је такође приказан и оквир за хармонизацију стратегија управљања одржавањем на нивоу мреже и на нивоу пројекта.

У четвртном поглављу приказани су расположиви модели пропадања коловоза и ефеката радова одржавања и избор најпогоднијих модела за примену у овом истраживању. Једна од најзначајнијих дилема на почетку истраживања била је да ли користити оригиналан и свеобухватан модел развоја неравности из програма HDM-4, или користити неки од поједностављених модела. Стога је спроведена анализа како би се вредновале разлике између комплетног и поједностављених модела, како би се донела меродавна одлука. Поред тога, у овом поглављу су приказани и модели ефеката третмана одржавања који су примењени у истраживању.

У петом поглављу су анализирани постеојећи модели трошкова корисника, укључујући трошкове возила, времена путовања, саобраћајних незгода, и ефеката радова на путевима и развијени су поједностављени модели за процену трошкова у функцији стања коловозних конструкција за поједине категорије возила из карактеристичног возног парка у Србији, који су касније коришћени у моделу LCCAGT.

У шестом поглављу приказан је развој модела за анализу трошкова животног циклуса LCCAGT. Валидација модела извршена је кроз упоређење са резултатима програма HDM-4. На крају поглавља дат је нумерички пример који илуструје примену модела LCCAGT.

Седмо поглавље приказује студију случаја како би се демонстрирала практична примена предложеног приступа за развој оптималних стратегија одржавања на путној мрежи Србије. Она укључује развој оптималних алтернатива одржавања за карактеристичне деонице применом градијентног метода најбржег пада у спреси са HDM-4 или LCCAGT, и примену HDM-4 како би одредиле оптималне стратегије одржавања на нивоу мреже у границама расположивог буџета.

Коначно, у осмом поглављу сумирани су најважнији закључци и дато неколико праваца могућег наставка истраживања.



Литература за 1. поглавље

- AASHTO (1990). "Guidelines for Pavement Management Systems", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- AASHTO (2001). "Pavement Management Guide", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- 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.
- 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
- Hudson, W. R., Haas, R., and Uddin, W. (1997). "Infrastructure Management", McGraw Hill, New York
- Humphries, J.A. and E. Ma. (2004). "Optimization of Pavement Preservation Activities", Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Quebec City, Quebec
- FHWA (1998a). *Transportation Equity Act for the 21st Century*, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- FHWA (1998b) 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.
- FHWA (2000). "Highway Economic Requirement System", Technical Report, v. 3.26, FHWA
- Morosiuk, G and H.G.R. Kerali (2001). "The Highway Development and Management Tool - HDM-4" IKRAMUs Seminar on Asphalt Pavement Technology (ISAPT 2001), Kuala Lumpur, October 2001.
- OECD (1987). "Pavement Management Systems", Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France
- Papagianakis, T., Delwar, M. (2001). "Computer model for Life-Cycle Cost Analysis of Roadway Pavements" Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 15, No. 2, 152-156.
- Tsunokawa, K., Van Hiep, D., and Ul-Islam, R. (2006). "True Optimization of Pavement Maintenance Options using HDM-4, A What-If Model" Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 21, 193-204.

Поглавље 2

Преглед постојећих оптимизационих модела примењених у управљању одржавањем коловозних конструкција

2.1 Увод

Системи за управљање одржавањем коловозних конструкција (PMS) у последње време добијају на важности у процесу доношења одлука о одржавању и рехабилитацији коловозних конструкција. Први системи, развијени почетком шездесетих и седамдесетих година прошлог века, су били намењени примарно за организацију података о коловозним конструкцијама, срачунавање индекса продуктивности радова на путевима, захтева за материјалима, трошкова третмана одржавања итд.

Један од основних захтева који се поставља пред системе за управљање одржавањем коловоза је могућност дефинисања оптималних алтернатива или стратегија одржавања (Naas и остали, 1994). У почетним годинама развоја ових система, примена оптимизационих поступака је била озбиљно ограничена недостацима и изузетно високом ценом хардвера и софтвера. Међутим, са развојем рачунарске технологије у последњих неколико деценија дошло је и до убрзаног развоја систематских поступака оптимизације који се примењују у системима за управљање одржавањем коловоза.

Оптимизација, као виши ниво подршке у доношењу одлука, може се применити на оба основна нивоа одлучивања у системима за управљање одржавањем: нивоу мреже и нивоу пројекта. У општем случају, користи концепте системске анализе како би се одредила најефикаснија расподела ресурса са циљем да се добије решење које максимизира профит или минимизира трошкове. Како профит није основни мотив државних агенција које се баве одржавањем путне мреже, уобичајен циљ је да се максимизирају користи које се најчешће дефинишу као уштеде у укупним трошковима одвијања саобраћаја, или побољшање стања путне мреже.

При програмирању радова одржавања на нивоу мреже типичан проблем оптимизације се своди на минимизацију циљне функције дефинисане од стране корисника, имајући у виду оперативна или ограничења расположивих ресурса. Многе агенције спроводе методе математичке оптимизације да генеришу програме радова и годишње буџете конзистентне са њиховим пословним циљевима и финансијским ограничењима.

На нивоу пројекта циљ је да се дефинише оптимална стратегија одржавања која обухвата оптимално време извођења и интензитет (најчешће дебљину) третмана одржавања који дају минималне трошкове животног века коловоза или минималне укупне трошкове одвијања саобраћаја (који укључују и трошкове агенције и трошкове корисника), зависно од критеријума примењеног за оптимизацију.

У овом поглављу биће размотрени различити поступци оптимизације расположиви у литератури. У другом делу биће посебно обрађени поступци који се односе на оптимизацију трошкови животног века.

2.2 Преглед литературе о примени поступака оптимизације у системима за управљање одржавањем коловозних конструкција

Постоји читав низ оптимизационих техника које се користе у системима за управљање одржавањем коловозних конструкција. Већина њих користи математичко програмирање, укључујући линеарно програмирање (LP), нелинеарно програмирање (NLP), целобројно програмирање (IP), динамичко програмирање (DP) и неколико херистичких метода (Liebman, 1985). У преосталом делу овог поглавља биће дат кратак преглед примене ових техника у управљању одржавањем коловозних конструкција.

2.2.1. Линеарно програмирање

Линеарно програмирање је поступак решавања неодређеног система симултаних једначина који има више непознатих него једначина. У овој формулацији проблема сва ограничења су линеарне функције којима се дефинише дозвољени домен решења. Функција циља је такође линеарна и срачунава се за различите вредности променљивих док се не постигне њен минимум или максимум, зависно од формулације задатка.

Најчешће коришћена формулација проблема линеарног програмирања која се користи у системима за управљање одржавањем коловоза служи за одређивање дужине или дела (процента) путне мреже који треба рехабилитовати различитим третманима одржавања како би се максимизовала или минимизовала функција циља (нпр. минимизација укупних трошкова одвијања саобраћаја), а да у исто време буду задовољена буџетска или ограничења у погледу перформанси/понашања система. Један од проблема везаних за овај приступ је да у општем случају поступак оптимизације не мора дати информације за избор одређеног третмана рехабилитације (Flintsch и остали, 2004).

Наас и остали (1994) дају једну од најчешће коришћених формулација проблема линеарног програмирања за максимизацију нето садашње вредности одређеног броја пројеката рехабилитације коловоза.

Golabi и остали (1982) су развили један од првих система за управљање одржавањем коловозних конструкција за државу Аризону који је био у стању да да оптималне стратегије одржавања за сваку миљу од укупно 7400 миља путне мреже. У овом систему примењена је комбинација Марковљевог стохастичког процеса и линеарног програмирања, а минимизација укупних трошкова је коришћена као циљна функција у проблему линеарног програмирања. Проблем са овим приступом је што се са применом „дела мреже“ као променљиве губи информација о конкретной локацији датог потеза или деонице. Овај систем је у међувремену више пута унапређиван, што је приказано у радовима Wang-а и осталих (1993, 1994, 1995) и Liu-а (1996). у међувремену је шитав низ држава, попут Аљаске, Канзаса и Португала усвојио системе који се заснивају на истој основној формулацији (Alviti и остали, 1994, Golabi, 2002).

Grivas и остали (1993) су презентовали модел линеарног програмирања за плански период и расподелу буџета на нивоу мреже, где је метода линеарног програмирања примењена да моделира интеракцију између економских и инжењерских фактора на ефикасан начин и омогућава избор типа третмана, време његовог извођења и

одговарајући интензитет. У овом моделу се могу увести ограничења и на нивоу пројекта и на нивоу мреже, како би систем био у стању да да решење у погледу захтеваног стања мреже и расположивог буџета. Ова методологија је примењена у систему за управљање за New York State Thruway.

Mbwana и Turnquist (1996) су развили нову формулацију система управљања на нивоу мреже примењујући моделе засноване на Марковљевом процесу одлучивања, што укључује Марковљеве матрице прелазних вероватноћа за моделирање стања коловоза и идентификацију специфичних линкова на нивоу мреже, који се користи у поступку оптимизације. Увођење специфичних линкова је омогућило бољу везу између одлука донетих на нивоу мреже и на нивоу пројекта. Ова формулација проблема је такође омогућила и лакше увођење у анализу трошкова агенције и трошкова корисника, као и читавог низа других ограничења.

Theodorakopoulos и остали (2002) су развили систем за подршку у одлучивању агенцијама за управљање одржавањем коловоза у Грчкој. Избор оптималне стратегије на нивоу мреже се добија применом модела линеарног програмирања са циљем да се минимизирају трошкови агенције и имајући у виду ограничење у погледу жељеног стања мреже током одређеног планског периода. На нивоу пројекта овај модел даје структуру пројекта, његово планирање и алокацију ресурса.

2.2.2. Целобројно програмирање

Проблем целобројног програмирања се формулише на начин сличан линеарном или нелинеарном програмирању. Међутим, у овом случају променљиве нису више континуалне, и могу имати само целобројне вредности. У случају управљања одржавањем коловозних конструкција најчешће се користе вредности 0 и 1, где 0 значи да третман одржавања није предвиђен, или неће бити изведен, док 1 представља одлуку да се третман изведе. Ово је много реалистичнији приступ за многе проблеме из домена управљања одржавањем коловоза, јер се одлука најчешће своди на то да ли ће или неће третман бити изведен. Кроз примену функције циља тежи се избору деоница које дају екстремну (минималну или максималну, зависно од функције циља) вредност функције. Недостатак овог поступка је што захтева много више компјутерског времена него линеарно или нелинеарно програмирање.

Chen и остали (1992) су приказали примену целобројног програмирања за стратешко планирање радова одржавања и рехабилитације у Оклахоми. У овом приступу укупна ефективност свих изабраних пројеката одржавања и рехабилитације је максимизована применом 0-1 целобројног линеарног програмирања, узимајући у обзир ограничење у погледу минималне употребљивости коловоза, расположивог буџета и расположивих ресурса. Међутим, овај модел је компјутерски изузетно захтеван и решење проблема траје дуго, поготово ако се аплицира на велике путне мреже и ако се при решавању разматра вишегодишњи плански период.

Li и остали (1998) су развили модел базиран на ефективности улагања и годишњим евалуацијама, узимајући у обзир буџетска ограничења и захтевани ниво употребљивости. Циљ система је да се дефинишу најоптималнији радови одржавања у свакој години програмског периода.

Fwa и остали (2000) су развили поступак базиран на генетским алгоритмима за решавање проблема програмирања радова на нивоу мреже са више циљева. Примењен је концепт Парето оптималног решења и рангирање засновано на функцији циља. Формулација и развој проблема целобројног програмирања су описани и илустровани кроз нумерички пример у коме је разматрана оптимизација програма одржавања за хипотетичку путну мрежу са две или три циљне функције.

2.2.3. Динамичко програмирање

Један од најзначајнијих система заснованих на динамичком програмирању је систем PAVER, оригинално развијен од стране Инжењерског корпуса армије САД, који је у употреби је већ двадесетак година. У 1987. години су први пут примењени Марковљеви ланци прелазних вероватноћа у проблему динамичког програмирања. Недуго након тога, Feighan и остали (1988) су такође приказали примену Марковљевог модела за динамичко програмирање са оптимизацијом, иако сам поступак још није био у потпуности имплементиран. Од тада је публикован читав низ радова који се заснивају на PAVER-у или сличним формулацијама (Butt и остали, 1994, Feighan и остали, 1989a, 1989b).

Друга формулација модела динамичког програмирања која се у литератури често јавља је формулација о динамичком моделу одлучивања (Chua и остали, 1993). У многим формулацијама проблема динамичког програмирања који примењују Марковљеве ланце за различите периоде, матрице прелазних вероватноћа зависе искључиво од тренутног стања коловоза, без обзира на историју одржавања, и стога су независне у односу на време. PAVER омогућава дефинисање матрица за различите фазе анализираног периода, па се стога сматра да у том приступу матрице прелазних вероватноћа нису независне од времена. У формулацији Chua и осталих (1993) се иде и корак даље тако што се ојачање коловоза прати преко вектора структуре коловоза који упућује на различит сет матрица прелазних вероватноћа у зависности од структуре коловоза. Али овим поступцима је јако тешко обухватити радове редовног одржавања попут крпљења ударних рупа или заливања пукотина и најчешће се узима да изведене матрице прелазних вероватноћа подразумевају одређени ниво радова редовног одржавања. На сличан начин се може увести и вектор стања што би омогућило да се прате различите променљиве везане за стање коловоза.

2.2.4. Хеуристичке технике и генетски алгоритми

Хеуристичке технике се користе за решавање проблема за које не постоји никакво другачије решење, или за које примена неке друге технике не доводи до оптималног решења, или је примена других техника изузетно захтевна у погледу времена или употребе компјутера.

Хеуристика је део алгоритма оптимизације који користи тренутно расположиве информације да би се одредило следеће решење и обично зависи од врсте проблема. Ове технике се најчешће користе у проблемима глобалне оптимизације као помоћ при одлучивању које од могућих решења треба бити вредновано. Детерминистички поступци најчешће користе хеуристичке технике да би одредили приоритете вредновања могућих решења. С друге стране, пробабилистички поступци најчешће разматрају она решења из поља могућих решења која су изабране од хеуристике.

Генетски алгоритми спадају у изузетно ефикасне хеуристичке технике. То је техника претраживања како би се нашло оптимално решење или решење блиско оптималном. Генетски алгоритми се класификују као специјална класа еволутивних алгоритама који примењују еволутивне прорачуне, а инспирисани су са еволутивним развојем биолошких организама, као што су наслеђивање, мутација, селекција и укрштање (које се често зове и рекомбинација).

Генетски алгоритми спадају у технике оптимизације засноване на вештачкој интелигенцији, који могу да превазиђу „комбинаторну експлозију“, врло често везану за друге поступке. Они представљају робустне технике претраживања засноване на природној селекцији и генетици (Holland 1975, Goldberg, 1989). Као такви они не захтевају да циљна функција или функције ограничења буду диференцијабилни, конвексни или да имају неке друге карактеристике. Природна еволуција се дешава у хромозомима, органским елементима који садрже структуру живих бића (Fwa и остали, 1998).

У овом поступку сет решења, изражен кроз генотипове или стрингове, се прво случајно генерише и формира тзв. почетни сет решења, познат и као „родитељски“ сет решења. Овај сет затим еволуира кроз низ операција које укључују копирање, замену места, модификовање делова стринга на начин сличан генетској еволуцији. Генетски алгоритми се могу примењивати и на нивоу мреже и на нивоу пројекта у системима за управљање одржавањем коловоза и због своје флексибилности могу укључити циљне функције различитог облика.

Понашање генетских алгоритама зависи од примењеног метода за обраду ограничења присутних у проблему алокације ресурса као што је управљање одржавањем коловозних конструкција на нивоу мреже. Chan и остали (2001) су предложили примену метода заснованог на приоритизацији ресурса за активности одржавања и на њиховој максималној употребљивости и доказали да овако формулисан метод генетских алгоритама у знатној мери превазилази класичну формулацију.

Литература за 2. поглавље

- Alviti E., Kulkarni R. B., Johnson E. G., Clark N., Walrafen V., Nazareth L., Stone J. (1994). Enhancement of the Network Optimization System. *Proceedings of the Third International Conference on Managing Pavements*, San Antonio, Texas, National Academy Press, Washington, D. C., 190-194.
- Butt, A. A., Shahin, M. Y., Carpenter, S. H., and Carnahan, J. V. (1987). Pavement performance prediction model using the Markov process. *Transportation Research Record*, 1123, 12-19.
- Butt, A. A., Shahin, M. Y., Carpenter, S. H., and Carnahan, J. V. (1994). Application of Markov process to pavement management systems at network level. *Third International Conference on Managing Pavements*, San Antonio, Texas, National Research Council, 2, 159-172.
- Chan, W. T., Fwa, T. F., and Hoque, Z. (2001). Constraint handling methods in pavement maintenance programming. *Transportation Research Part C*, 9, 175-190.
- Chen, Xin, G. Claros, and W.R. Hudson (1992). Mixed-Integer Programming Model for AASHTO Flexible Pavement Design. *Transportation Research Record*, 1344, 139-147.
- Chua, K.H., C.L. Monismith and K.C. Grandall (1993). Dynamic Decision Model for Pavement Management Using Mechanistic Pavement Performance Submodel. *Transportation Research Record*, 1397, 15-24. 64
- Darter, M.I., Smith, R., Shahin, M. (1985). Use of life cycle cost analysis as the basis for determining cost-effectiveness of maintenance and rehabilitation treatments for developing a network level assignment procedure. In: *Proceedings of the North American Pavement Management Conference*, vol. 2, pp. 7.5–7.18.
- Feighan, K. J., Shahin, M. Y., Sinha, K. C., and White, T. D. (1988). Application of dynamic programming and other mathematical technique to pavement management systems. *Transportation Research Record*, 1200, 90-98.
- Feighan, K. J., Shahin, M. Y., Sinha, K. C., and White, T. D. (1989a). A prioritization scheme for the micro PAVER pavement management system. *Transportation Research Record*, 1215, 89-100.
- Feighan, K. J., Shahin, M. Y., Sinha, K. C., and White, T. D. (1989b). A sensitive analysis of the application of dynamic programming to pavement management systems. *Transportation Research Record*, 1215, 101-114.
- Fernandez, J.E., Friesz, T.L. (1981). Influence of demand quality interrelationships in optimal policies for stage construction of transportation facilities. *Transportation Science* 15, 16–31.
- Flintsch, G.W. and C.Chen. (2004) Soft Computing Applications in Infrastructure Management. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol.10. No.4., American Society of Civil Engineers, Sterling, VA. 157–166.
- Friesz, T.L., Fernandez, J.E. (1979). A model of optimal transport maintenance with demand responsiveness. *Transportation Research* 13B, 317–339.
- Fwa, T. F., Chan, W. T., and Hoque, K. Z. (2000). Multiobjective optimization for pavement maintenance programming. *Journal of Transportation Engineering*, 126/5, 367-374.

- Golabi, K., Kulkarni, R. B., and Way, G. B. (1982). A statewide pavement management system. *Interfaces*, 12, 5-21.
- Golabi, K. (2002). A pavement management system for Portugal. *Proceedings of the Seventh International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering*, Cambridge, Massachusetts, 561-567.
- Grivas, D. A., Ravirala, V., and Schultz, B. C. (1993). State increment optimization methodology for network-level pavement management. *Transportation Research Record*, 1397, 25-33.
- Haas, R, W.R.Hudson and J.Zaniewski (1994). *Modern Pavement Management*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, USA.
- Li, N., Haas, R., and Huot, M. (1998). Integer programming of maintenance and rehabilitation treatment for pavement networks. *Transportation Research Record*, 1629, 242-248.
- Liu, F. and Wang K. (1996). Pavement Performance-Oriented Network Optimization System. *Transportation Research Record*, 1524, 242-248.
- Lytton, R. (1985) From ranking to true Optimization, North American Conference on Managing Pavements, Toronto, Ontario, Canada, Proceedings, Vol. 3, 5.3. - 5.19.
- Markow, M. J. (1995). "Highway management systems: State of the art." *Journal of Infrastructure Systems*, Vol.1. No.3., American Society of Civil Engineers, Sterling, VA. 186-191.
- Markow, M., Balta, W., (1985). Optimal rehabilitation frequencies for highway pavements. *Transportation Research Record* 1035, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.
- Markow, M., Madanat, S., Gurenich, D., 1993. Optimal rehabilitation times for concrete bridge decks. *Transportation Research Record* 1392, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.
- Mbwana, J. and Turnquist, M. A. (1996). Optimization modeling for enhanced network level pavement management system. *Transportation Research Record*, 1524, Transportation Research Board, Washington, D.C., 76-85.
- Paterson, W.D.O., 1987. *Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Theodorakopoulos, D., Chassiakos, A., Manariotis, L., and Patarias, P. (2002). A decision support system in highway pavement management in Greece. *Proceedings of the Seventh International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering*, Cambridge, Massachusetts, 553-560.
- Thompson, P. D. (1994). "Making optimization practical in pavement management systems." *Proc., 3rd Int. Conf. on Managing Pavements*, Vol. 2, Transportation Research Board, Washington, D.C., 184-189.
- Tsunokawa, K., Schofer, J.L. (1994). Trend curve optimal control model for highway pavement maintenance: case study and evaluation. *Transportation Research* 28A, 151-166.
- Wang K. C. P., Zaniewski J., Way G., Delton J. (1993). Revisions to Arizona DOT Pavement Management System. *Transportation Research Record*, 1397, Transportation Research Board, Washington, D.C., 68-76.

- Wang K. C. P., Zaniewski J., Delton J. (1994). Analysis of Arizona Department of Transportation's Pavement Network Optimization System. *Transportation Research Record*, 1455, Transportation Research Board, Washington, D.C., 91-100.
- Wang K. C. P., Zaniewski J. (1995). Sensitivity of Pavement Network Optimization System to its prediction models. *Transportation Research Record*, 1508, Transportation Research Board, Washington, D.C., 22-31
- Zimmerman K. (1995). "Pavement management methodologies to select projects and recommend preservation treatments." National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of the Highway Practice 222, Transportation Research Board, Washington, D.C.

Поглавље 3

Оптимизација управљања одржавањем коловозних конструкција на нивоу мреже и на нивоу пројекта

3.1 Увод

Системи за управљање одржавањем коловозних конструкција служе као подршка доношењу одлука агенцијама које су задужене за одржавање путне мреже. Један од њихових основних задатака је избор стратегије одржавања током периода анализе.

Историјски приказ поступака који се примењују за оптимизацију у овим системима приказан је у другом поглављу. У овом поглављу биће обрађено неколико савремених поступака који су још у фази развоја, јер они заслужују детаљније разматрање.

3.2 Оптимизација на нивоу пројекта

Избор најпогоднијих алтернатива одржавања за одређену путну деоницу у одређеном периоду захтева разматрање читавог низа фактора који значајно могу утицати на пропадање коловоза и укупне трошкове одржавања деонице. У поступку израде програма радова и дефинисања најпогоднијег третмана за поједине деонице на нивоу мреже потребно је анализирати све погодне третмане одржавања. При томе се могу користити појединачне деонице, или се анализа може радити за репрезентативне деонице на путној мрежи.

За одређивање погодних третмана могу се користити хеуристичке методе и анализирати сви могући третмани, са циљем да се постигну одређени циљеви на нивоу мреже. Ови третмани треба да буду стандардизовани у погледу димензионисања, квалитета изградње, техничких унапређења и економских ефеката.

На нивоу пројекта проблем одређивања оптималне стратегије одржавања се може свести на два питања:

1. која је фреквенција и интензитет рехабилитација коловоза која минимизира укупне дисконтоване трошкове одвијања саобраћаја (трошкове одржавања и трошкове корисника) током анализираног периода. Део овог проблема може бити дефинисан и као стандардни проблем одређивања: које је то оптимално стање коловоза при коме треба извести његову рехабилитацију, и који је оптималан интензитет рехабилитације? Ова два питања доводе до истог резултата ако се користи детерминистички модел пропадања коловоза и систем се налази у стабилном, тзв. steady-state стању, јер у том случају константна фреквенција дефинише стандард одржавања (Li и Madanat, 2002). Поред тога, стандарди одржавања и рехабилитације су добро познати у системима за управљање одржавањем коловоза (Paterson, 1987).

2. Која је оптимална стратегија за прелаз са постојећег на дуготрајно одрживо оптимално стање?

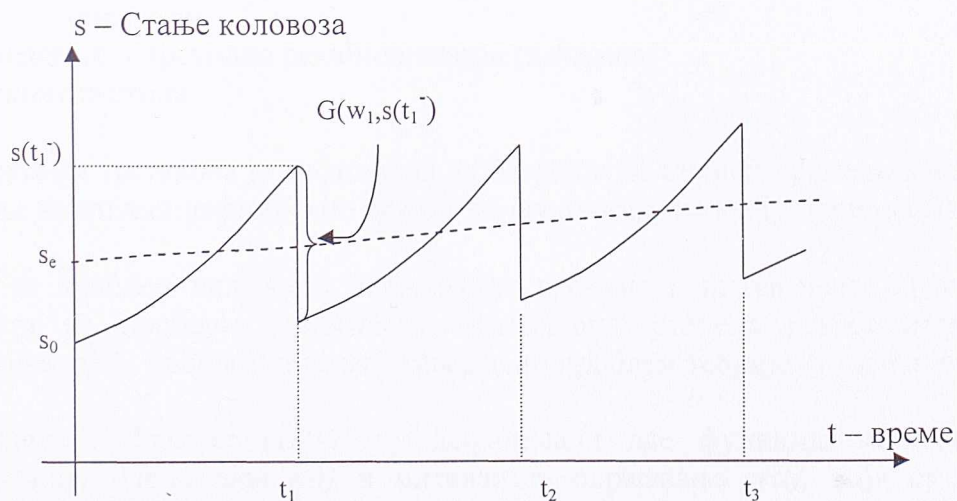
Дартер и остали (1985) су урадили анализу на нивоу мреже анализирајући униформне деонице, пројектоване на исти начин, са сличним историјатом интервенција, саобраћајем, и примењеним материјалима. Они су показали да примена превентивног одржавања на коловозима у релативно добром стању је најефикаснија са аспекта уложених средстава и да за коловозе у лошем стању мора да се примени нека од опција рехабилитације. Када се третмани комбинују у стратегије одржавања, најефикасније стратегије су оне које превode коловозе у добро стање, и затим аплицирају превентивно одржавање како би се то стање одржало.

Friesz и Fernandez (1979) су формулисали проблем налажења оптималне стратегије одржавања као проблем из теорије оптималног управљања. Они су касније проширили свој рад на одређивање оптималног времена ојачања за фазну изградњу коловоза. (Fernandez и Friesz, 1981). Markow и Balta (1985) су применили оптимално управљање да одреде оптимално време рехабилитације коловоза током коначног периода времена. Markow и остали (1993) су применили формулацију оптималног управљања да одреде оптимално време рехабилитације мостовске конструкције, али су проблем решили нумерички, а не аналитички.

3.2.1. Примена теорије оптималног управљања

Да би се избегле потешкоће везане за дисконтинуитете у стању коловоза проузроковане рехабилитацијама, Tsunokawa и Schofer (1994) су користили криву тренда стања да би решили проблем оптималног управљања, односно оптималног времена и интензитета пресвлачења коловозне конструкције. Они су апроксимирали функцију стања коловоза која уобичајено има тестерасти облик континуалном функцијом која пролази кроз средње вредности стања непосредно пре и после интервенције. На основу решења проблема оптималног управљања, они су одредили време и интензитет интервенција.

Стање “ s ” коловоза током времена прати тестерасти облик како коловоз пропада и бива рехабилитован (слика 3.1).



Слика 3.1. Модел пропадања коловоза, примењен у раду Tsunokawa-е и Schofer-а, 1994

Почетно стање коловоза је дато са:

$$s(0) = s_0 \quad (3.1)$$

Функција $s(t)$ која дефинише пропадање коловоза током времена зависи од саобраћајног оптерећења и климатских фактора, као што ће бити приказано у 4. поглављу. Tsunokawa и Schofer (1994) су усвојили да је утицај саобраћаја егзоген и константан током времена. Уколико су и климатски утицаји такође константни током времена, степен пропадања коловоза се може изразити на следећи начин:

$$ds/dt = F(s(t)) \quad (3.2)$$

што значи да је брзина пропадања зависна једино од тренутног стања коловоза.

Побољшање стања услед интервенције одржавања у тренутку времена t_n је функција интензитета третмана w_n (нпр. дебљине ојачања) и стања коловоза пре интервенције $s(t_n^-)$ и дато је следећим изразом:

$$\Delta s_n = G(w_n, s(t_n^-)) \quad (3.3)$$

где n представља n -ти третман рехабилитације.

Tsunokawa и Schofer (1994) су дефинисали функционал трошкова као нето садашњу вредност укупних трошкова током животног века коловоза за одређену путну деоницу:

$$J = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \int_{t_{n-1}}^{t_n} C(s(t)) \cdot e^{-rt} \cdot dt + M(w_n) \cdot e^{-rt_n} \right\} \quad (3.4)$$

где је:

J – нето садашња вредност трошкова агенције и корисника током бесконачног периода

$C(s(t))$ – трошкови корисника као функција стања коловоза

$s(t)$ – стање коловоза (употребљивост, равност) као функција времена t

t_1, t_2, \dots, t_n – интервали времена

$M(w_n)$ – трошкови агенције као функција интензитета (дебљине) интервенције одржавања

w_n – интензитет третмана рехабилитације (дебљина)

r – дисконтна стопа

Функционал трошкова је дефинисан за бесконачни период времена како би се избегло увођење вештачки дефинисане преостале вредности на крају периода анализе.

Стога се проблем налажења оптималних времена и интензитета интервенција може превести на проблем одређивања оптималног степена рехабилитација. Са овом модификацијом проблем постаје стандардни проблем теорије оптималног управљања.

Tsunokawa и Schofer (1994) су дефинисали две функције зависне од времена, фреквенцију одржавања $h(t)$ и интензитет одржавања $w(t)$, које су дате следећим једначинама:

$$\int_{t_{n-1}}^{t_n} h(t) dt = 1, \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (3.5)$$

$$w_n = w_n(t_n) \quad (3.6)$$

и реформулисали функционал (3.4) у следећи облик:

$$J = \int_0^{\infty} \left(C(s(t)) + h(t) \cdot M(w(t)) \right) \cdot e^{-rt} \cdot dt \quad (3.7)$$

Увођењем ограничења за фреквенцију одржавања са доње и горње стране, овај стандардни проблем теорије оптималног управљања може бити решен и одређена оптимална стратегија одржавања (t_n, w_n) , $n = 1, 2, \dots$ која минимизира функционал (3.4).

Имплементација предложене процедуре је илустрована на студији случаја. Примењени модел пропадања прати експоненцијалну функцију времена и зависи само од тренутног стања коловоза:

$$F(s) = e^{-f_1 \cdot t} \cdot s(t) \quad (3.8)$$

где f_1 има вредност од 0.05. Модел је базиран на раду Watanatada-е и других из Светске Банке (Watanatada и остали, 1988), а стање коловоза се изражава преко подужне равности изражене у QI јединицама (1 QI \approx 13 IRI). Примењени модел је прилично реалистичан. На пример, коловоз у добром стању са индексом равности од QI = 25 (IRI \approx 1.9 m/km) пропадне до лошег стања израженог са QI = 100 (IRI \approx 7.7 m/km) за 28 година.

Модел ефеката радова одржавања који су применили Tsunokawa и Schofer (1994) је дат следећом једначином:

$$G(w, s) = g_1 \cdot \sqrt{w} + g_2 \cdot s + g_3 \quad (3.9)$$

где су:

g_1, g_2, g_3 - коефицијенти модела

w – интензитет рехабилитације (дебљина ојачања)

s – стање коловоза пре ојачања

Модел се базира на искуствима у земљама у развоју и у њему смањење равности услед ојачања зависи од дебљине ојачања и стања (равности) коловоза пре ојачања. Они су закључили да је ефекат постојеће равности на смањење равности углавном линеаран, док је утицај дебљине ојачања нелинеаран са смањивањем утицаја са порастом дебљине. Међутим, ова зависност указује да чак и за дебљину ојачања од 0 cm постоји одређено смањење неравности, што није реално.

Трошкови корисника се састоје из две компоненте: трошкова коришћења возила и трошкова додатног времена путовања. Додатно време путовања је функција потребе за путовањем, сврхе путовања и нивоа прихода (Ouyang и Madanat, 2004). Подразумевајући да је потреба за путовањем константна током времена, може се сматрати и да су трошкови везани за додатно време путовања константни и независни од стања пута. Трошкови коришћења возила се могу формулисати као линеарна

функција стања пута, односно његове равности, као што је приказано у следећем моделу:

$$C(s) = c_1 \cdot s + c_2 \quad (3.10)$$

где је:

$C(s)$ – трошкови корисника као функција стања пута

c_1, c_2 – коефицијенти модела

s – стање пута пре ојачања

Претпоставка о линеарности модела је реалистична, иако (што ће бити приказано у 5. поглављу) се трошкови корисника најчешће апроксимирају нелинеарним функцијама у зависности од равности (полиноми другог или трећег реда).

Трошкови агенције за третмане рехабилитације се такође састоје из два дела: фиксног и променљивог. Фиксни део се односи на мобилизацију механизације, трошкове радне снаге и друго, док се променљиви део примарно односи на примењене материјале и пропорционалан је интензитету интервенције, односно дебљини ојачања. Модел трошкова агенције за рехабилитације дат је следећом једначином:

$$M(w) = m_1 \cdot w + m_2 \quad (3.11)$$

где је:

$M(w)$ – трошкови рехабилитације као функција интензитета третмана одржавања

m_1, m_2 – коефицијенти модела

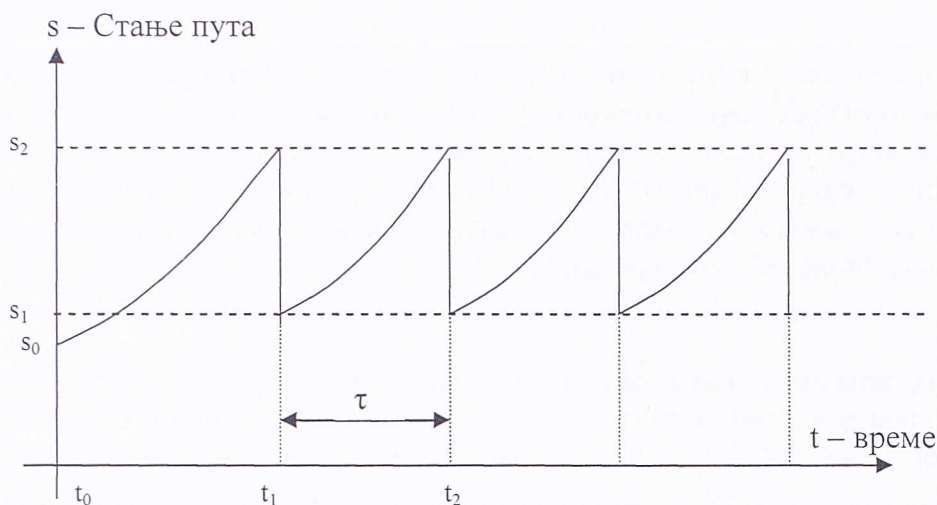
w – интензитет третмана одржавања (дебљина ојачања)

Овај модел је врло реалистичан. Кроз коефицијент m_2 су обухваћени фиксни трошкови, а коефицијент m_1 представља јединичну цену ојачања. Примена модела је илустрована на студији случаја.

Значајан допринос овог приступа је што се решење добија у затвореном облику и при томе се примењује нелинеарни Хамилтонијан у односу на интензитет ојачања. Међутим, основни недостатак се налази у апроксимацији реалног, тестерастог модела стања коловоза глатком кривом која не даје информацију о оптималном стању коловоза при коме треба извести одређену интервенцију, као ни о оптималном интензитету интервенције и нивоу равности након третмана, што има велики значај на укупне трошкове одвијања саобраћаја.

Li и Madanat (2002) су применили формулацију проблема коју су дали Tsunokawa и Schofer и податке које су коришћени у студији случаја да дођу до једноставнијег решења, али узимајући у обзир дисконтинуитете у погледу стања коловоза због периодичних интервенција одржавања. Они су се фокусирали на проблем у континуалном времену и континуалном простору, како би дошли до решења за оптималну алтернативу одржавања, и при томе су користили Марковљев модел одлучивања и неограничени временски период анализе. Подразумева се да систем улази у дугорочно одрживо, тзв steady-state стање након првог ојачања (слика 3.2). Као резултат примене претпоставке о Марковљевом систему, при оптималном дугорочно одрживом стању активности у време t зависи само од тренутног стања коловоза $s(t)$. Кад год се систем налази у истом стању, иста активност одржавања мора бити

оптимална. Оптимална стратегија одржавања се стога састоји у дефинисању минималног нивоа употребљивости (или максималног нивоа равности s_2) и кад год коловозна конструкција достигне тај ниво, треба применити исти третман одржавања, односно ојачање исте дебљине. Проблем се стога своди на одређивање максималног нивоа равности s_2 , као и оптималног интензитета пресвлачења који утиче на смањење равности и самим тим на дужину интервала између две интервенције.



Слика 3.2. Моделирање понашања система након прве рехабилитације у тренутку времена t_1 (Li и Madanat, 2002)

Решење се своди на две симултане једначине са променљивим s_1 и s_2 .

Примењујући исту студију случаја као и Tsunokawa и Schofer (1994), Li и Madanat (2002) су закључили да:

- оптимална стратегија одржавања не зависи од почетног стања коловоза док год је оно боље од дугорочно одрживог стања при коме се изводи третман одржавања
- оптимална стратегија се састоји у превођењу коловоза у најбоље могуће стање. Овај налаз је конзистентан са налазима других истраживача (Darter и остали, 1985) и врло је значајан за евалуацију и вредновање модела ефеката радова одржавања.
- Функција циља је релативно положена у околини оптималног решења, и стога дисконттовани трошкови животног века нису превише осетљиви на дужину интервала између две рехабилитације. Умерене промене овог интервала не утичу значајно на повећање трошкова.
- Оптимална стратегија је робустна у односу на непрецизност модела пропадања коловоза.

Један од проблема са оба приступа је да је примењен врло упрошћен модел пропадања коловоза, док су у стварности ови модели нелинеарни и зависно и од саобраћајног оптерећења и од климатских утицаја, као што ће бити приказано у 4. поглављу. Такође остаје нерешено питање оптималне транзиционе стратегије за превођење коловоза из постојећег у дугорочно одрживо стање уколико је постојеће стање лошије од прага интервенције. Коначно, период анализе је најчешће ограничен и примена неограниченог периода је још један недостатак ових приступа.

Ouyang и Madanat (2004) су развили тачно и приближно решење за исти проблем, описан једначинама (3.2) до (3.4) користећи коначан период анализе и много реалистичније моделе ефеката радова корисника и пропадања коловоза, засноване на емпиријским моделима Paterson-а (1990). Модел пропадања се заснива на једначини (4.25) приказаној у поглављу 4.4 која се може представити као:

$$s(t) = [s(t_0) + f(t - t_0)] \cdot e^{-\beta(t-t_0)} \quad (3.12)$$

где је $f(t-t_0)$ функција која зависи од носивости (структурног броја) коловоза и саобраћајног оптерећења након последње рехабилитације. Уколико је саобраћајно оптерећење константно на одређеној деоници, онда се функција $f(t-t_0)$ може дефинисати као линеарна функција старости (Paterson, 1987). На основу ове формулације јасно је да пропадање коловоза не зависи само од његовог тренутног стања, већ и од историје интервенција, што представља значајну девијацију од Марковљевог процеса и компликује решење проблема.

У Paterson-овој формули (4.25) параметар β је врло мала константа која дефинише утицај околине на пропадање коловоза и назива се коефицијент утицаја околине. Како би модел пропадања био линеаран, Ouyang и Madanat (2004) су извршили замену функције $f(t-t_0)$ у Paterson-овој формули са константом $\overline{f^*}$ која представља просечну стопу пропадања која је независна од тренутног стања коловоза. Тиме се модел пропадања своди на фиксну стопу пропадања и део који представља функцију садаљег стања. За дискретне интервале времена модел пропадања је дат следећом једначином:

$$s(t+1) = \left(s(t) + \overline{f^*} \right) \cdot e^{\beta} \quad (3.13)$$

Ouyang и Madanat су такође применили много реалистичнији модел ефеката радова одржавања развијен на основу билинеарног модела Paterson-а (1990). Ови модели су били и основа за развој моделеа ефеката радова корисника који су приказани у поглављу 4.8. Закључено је да ефекти рехабилитације зависе од тренутног стања коловоза и да су линеарна функција дебљине ојачања до одређене вредности. Када се пређе та вредност и достигне максимални ефекат рехабилитације он остаје константан за све дебљине ојачања веће од тог прага. Стога је свака дебљина ојачања већа од граничне вредности инфериорна у математичком смислу.

У примењеном раду у моделу ефеката радова корисника дебљина је ограничена да буде испод “прага ефективности”, тако да је примењен упрошћени, линеарни модел. Модел је дат једначином (3.14):

$$G(s(t^-), w_t) = \frac{w_t}{w_{max}(s(t^-))} \cdot G_{max}(s(t^-)) \quad (3.14)$$

и

$$w_t \leq w_{max}(s(t^-)) \quad (3.15)$$

где је:

$s(t^-)$ – стање коловоза пре ојачања

w_t – интензитет третмана (дебљина ојачања)

$G_{\max}(s(t^-))$ – максимално побољшање стања коловоза услед третмана одржавања, и

$w_{\max}(s(t^-))$ – “праг ефективности” за дебљину ојачања

Користећи Paterson-ове (1990) податке, Ouyang и Madanat (2004) су применом линеарне регресије развили следећи модел ефеката радова одржавања:

$$G(s(t^-), w_t) = \frac{0.66 \cdot s(t^-)}{0.55 \cdot (s(t^-)) + 18.3} \cdot w_t \quad (3.16)$$

и

$$w_t \leq 0.55 \cdot s(t^-) + 18.3 \quad (3.17)$$

где је:

$s(t^-)$ – стање коловоза пре ојачања

w_t – дебљина ојачања, mm

$G(s(t^-), w_t)$ – максимално побољшање стања коловозне конструкције услед третмана одржавања, QI

Како су оба модела, и модел пропадања и модел ефеката радова одржавања нелинеарни, а преко фиксне цене радова одржавања су уведене целобројне променљиве, Ouyang и Madanat (2004) су формулисали мешовити целобројни проблем нелинеарног програмирања (MINLP) који се базира на историји оптималног управљања за дискретне вишефазне системе. Међутим, ови проблеми су познати у теорији операционих истраживања као једни од најтежих. Они су користили алгоритам гранања и ограђивања у спречи са нелинеарним програмирањем да би дошли до решења проблема. Међутим, проблем припада категорији нелинеарног програмирања и подразумева изузетно обиман и скуп прорачун (Ouyang и Madanat, 2004). Да би се то ограничење превазишло, примењен је хеуристички приступ који даје решење блиско оптималном. Међутим, још увек је остао проблем да је решење дефинисало само за фазу одрживог одржавања путне мреже и не третира превођење из постојећег стања у одрживо стање.

3.2.2. Имплементација градијентне методе

Да би превазишла ограничења везана за примену теорије оптималног управљања разматрана је и примена градијентне методе, јер је овај поступак у стању да истовремено третира обе фазе, и превођење из постојећег у одрживо стање и одржавања тог стања. Tsunokawa и остали (2004) су представили примену градијентне методе најбржег опадања и коњуговане градијентне методе у спречи са програмом HDM-4 за оптимизацију третмана одржавања и максимизацију нето користи током анализираног периода. У овој студији биће примењен метод најбржег пада у спречи са новоразвијеним програмом LCCAGT, што ће омогућити бржи и ефикаснији прорачун итеративних решења.

Проблем налажења оптималне алтернативе одржавања се може свести на два проблема:

1. Налажења оптималних времена и интензитета третмана
2. Налажења оптималног броја третмана

Свака стратегија одржавања се дефинише као сет радова са различитим интензитетима (w_1, w_2, \dots, w_k), аплицираних у различитим временима (t_1, t_2, \dots, t_k) током анализираниог периода, где “ k ” означава број третмана одржавања у оквиру одређене алтернативе.

Проблем оптимизације алтернатива одржавања се своди било на на максимизацију или минимизацију функције циља $f(k; t_1, t_2, \dots, t_k; w_1, w_2, \dots, w_k)$, зависно од њеног типа.

У овом случају као функција циља користи се нето садашња вредност користи (NB), која представља разлику између укупних трошкова одвијања саобраћаја (ТТС) за одређену алтернативу која укључује третмане рехабилитације коловоза (тзв. „пројектну алтернативу“) и основну алтернативу која укључује само редовно одржавање. Стога се оптимизациони проблем може написати као:

$$\underset{k; t_1, t_2, \dots, t_k; w_1, w_2, \dots, w_k}{\text{Maximize}} \quad \text{NB}(k; t_1, t_2, \dots, t_k; w_1, w_2, \dots, w_k) \quad (3.18)$$

где је:

$\text{NB} = \text{ТТС}_0 - \text{ТТС}(k; t_1, t_2, \dots, t_k; w_1, w_2, \dots, w_k)$ – нето садашња вредност користи

ТТС – укупни трошкови одвијања саобраћаја

Треба напоменути да је прорачун функције NB релативно комплексан.

Како оптималан број третмана одржавања није познат а priori, он такође мора бити оптимизован, и то је обухваћено другом фазом овог модела.

3.2.2.1. Одређивање оптималних времена и интензитета третмана

Оптимизација времена и интензитета третмана обухвата претрагу кроз један итеративни процес за оптималну комбинацију t_1, t_2, \dots, t_k и w_1, w_2, \dots, w_k која ће дати максималну вредност функције циља NB.

У првом кораку потребно је дефинисати почетну алтернативу одржавања:

$$X^0 = (t_1^0, t_2^0, \dots, t_k^0; w_1^0, w_2^0, \dots, w_k^0) \quad (3.19)$$

где су $t_1^0, t_2^0, \dots, t_k^0$ и $w_1^0, w_2^0, \dots, w_k^0$ године примене и интензитети третмана одржавања.

У другом кораку срачунава се функција циља за сет променљивих који обухвата варијацију сваког параметра како би се добио градијент функције циља NB у тачки X^1 .

$$\nabla \text{NB}(X^i) = \left\{ \begin{array}{c} \frac{\partial \text{NB}}{\partial t_1} \\ \dots \\ \frac{\partial \text{NB}}{\partial w_k} \end{array} \right\}_{X^i} = \left\{ \begin{array}{c} \frac{\text{NB}(t_1^i + \Delta t_1^i, \dots, w_k^i) - \text{NB}(X^i)}{\Delta t_1^i} \\ \dots \\ \frac{\text{NB}(t_1^i, \dots, (w_k^i + \Delta w_k^i)) - \text{NB}(X^i)}{\Delta w_k^i} \end{array} \right\} \quad (3.20)$$

где је:

$$X^i = (t_1^i, t_2^i, \dots, t_k^i; w_1^i, w_2^i, \dots, w_k^i)$$

Δt_j^i и $\Delta w_j^i, j = 1, 2, \dots, k$ - арбитрарно мали инкременти за одговарајуће променљиве

У трећем кораку срачунава се нова алтернатива одржавања која представља побољшање постојеће алтернативе кретањем у правцу највећег градијента, према следећем изразу:

$$X^{i+1} = X^i + \alpha^i \cdot \nabla \text{NB}(X^i) \quad (3.21)$$

где је:

α^i – скалар који максимизира вредност функције циља $\text{NB}(X^{i+1})$

Након сваке итерације срачунава се *Convergence Index* и упоређује са предефинисаним критеријумом конвергенције.

$$\text{Convergence Index} = \frac{\text{NB}(X^{i+1}) - \text{NB}(X^i)}{\text{NB}(X^i)} \leq \gamma \quad (3.22)$$

где је:

γ – предефинисани критеријум конвергенције

Ова процедура се може поновити за алтернативе одржавања са различитим бројем третмана током анализираног периода.

3.2.2.2. Одређивање оптималног броја третмана

Оптималан број третмана одржавања се добија применом рутине која се базира на развоју функције циља у Taylor-ов полином другог реда. Оптимизација броја третмана k започиње са почетном вредношћу k, k_0 , која задовољава услов $1 \leq k_0 \leq T-1$, где је T дужина анализираног периода у годинама.

У овом случају, функција нето користи NB се представља као $\text{NB}(k)$ означавајући максимизовану вредност добијену применом процедуре за одређивање времена и интензитета третмана, приказане у поглављу 3.2.1.

У првом кораку је потребно срачунати $\text{NB}(k_0-1)$, $\text{NB}(k_0)$, и $\text{NB}(k_0+1)$ применом процедуре из поглавља 3.2.1. да би се добиле приближне вредности првог и другог извода функције нето користи у тачки k_0 :

$$\begin{aligned}
 NB'(k_0) &\approx \{NB(k_0 + 1) - NB(k_0 - 1)\} / 2 \\
 (6.6) \\
 NB''(k_0) &\approx NB(k_0 + 1) - NB(k_0 - 1) - 2 \cdot NB(k_0)
 \end{aligned}
 \tag{3.23}$$

Треба напоменути да је по дефиницији $NB(0) = 0$.

Уколико је други извод функције NB негативан, добијена је максимална вредност “ k ”. Ако је други извод позитиван, онда зависно од знака првог извода, k_0 треба да се замени било са $k_0 - 1$ или $k_0 + 1$ (тј. ако је $NB'(k_0) < 0$ треба да се замени са $k_0 - 1$, и ако је $NB'(k_0) > 0$ треба да се замени са $k_0 + 1$), и да се понови први корак.

Функција нето користи у тачки “ k ” се може проценити развојем функције циља $NB(k)$ у околини тачке k_0 за максимизирајуће k у Taylor-ов полином другог реда:

$$NB(k) \approx NB(k_0) + (k - k_0) \cdot NB'(k_0) + \frac{1}{2} \cdot (k - k_0)^2 \cdot NB''(k_0)
 \tag{3.24}$$

Вредност максимизирајућег броја третмана k , k^* , се може дефинисати следећим изразом:

$$k^* = \text{Max} \left[0, \text{Min} \left\{ \text{INT} \left(\frac{k_0 \cdot NB''(k_0) - NB'(k_0)}{NB''(k_0)} \right), T \right\} \right]
 \tag{3.25}$$

где је:

$\text{INT}(x)$ – најближа целобројна вредност x

Ако је $k^* \neq k_0$, k_0 треба да се замени са k^* и да се процедура понови док се не одреди максимизирајућа вредност k .

Градијентни метод најбржег опадања се може применити било у спреси са HDM-4 (Tsunokawa и остали 2006), или LCCAGT да би се развила оптимална алтернатива одржавања на нивоу пројекта.

Основна предност овог модела у односу на остале је што обухвата обе фазе процеса одређивања оптималне алтернативе одржавања, и превођење из тренутног у оптимално стање и одржавање тог оптималног стања.

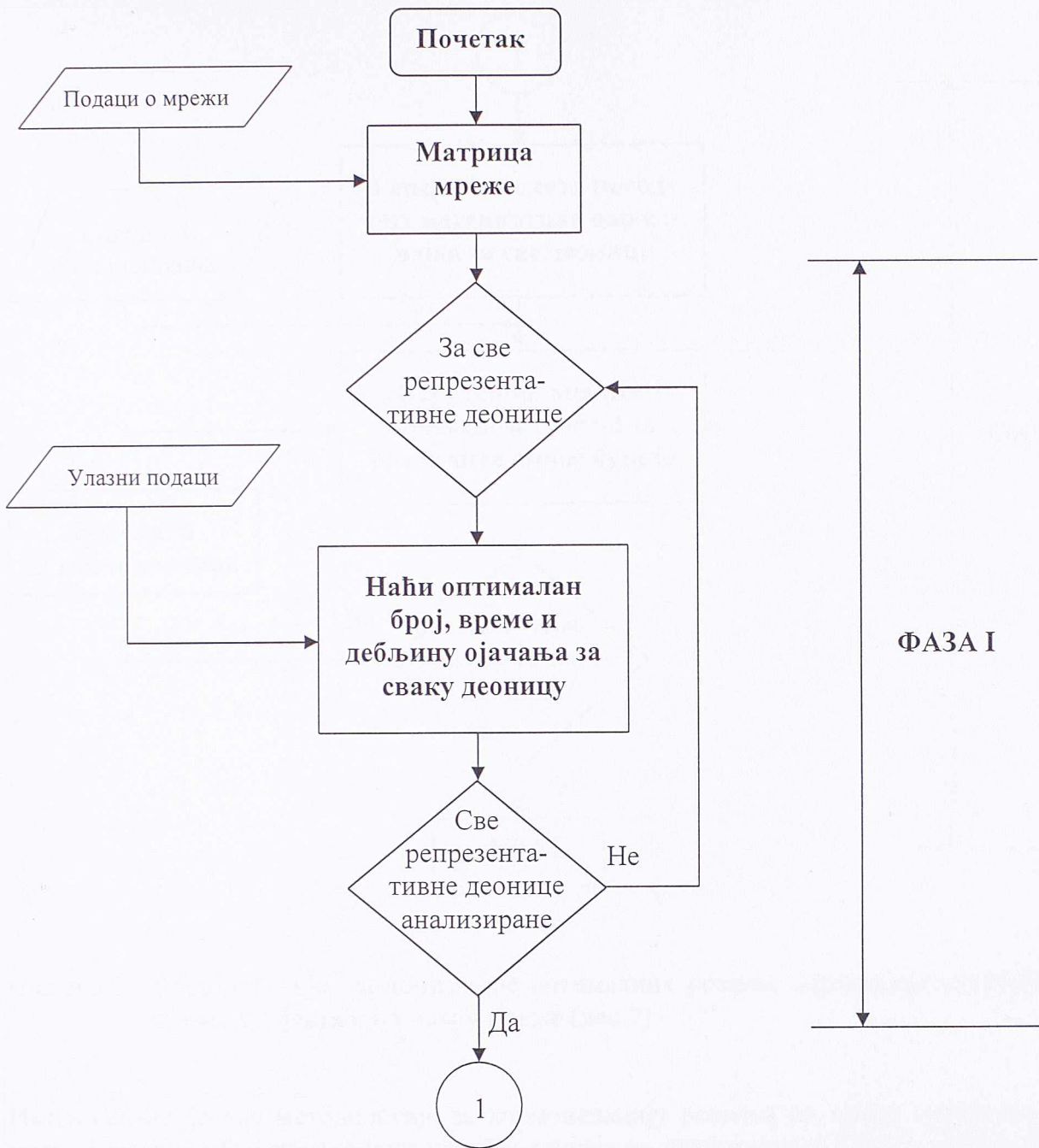
3.3 Хармонизација одлучивања на нивоу пројекта и на нивоу мреже

Оптимална алтернатива одржавања коловозне конструкције на нивоу мреже подразумева максимизацију нето користи и не узима у обзир ограничење у погледу расположивих средстава за одржавање путева. Директна имплементација оптималне стратегије одржавања за репрезентативне деонице је примерена у случају неограниченог буџета и доводи до неравномерног и неуравнотеженог инвестирања у одржавање путне мреже, што није погодно за анализу утицаја различитих нивоа буџета на одржавање путне мреже (Tsunokawa и остали, 2006). Стога је потребно извршити анализу на нивоу мреже као другу фазу процеса оптимизације како би се узела у обзир буџетска ограничења.

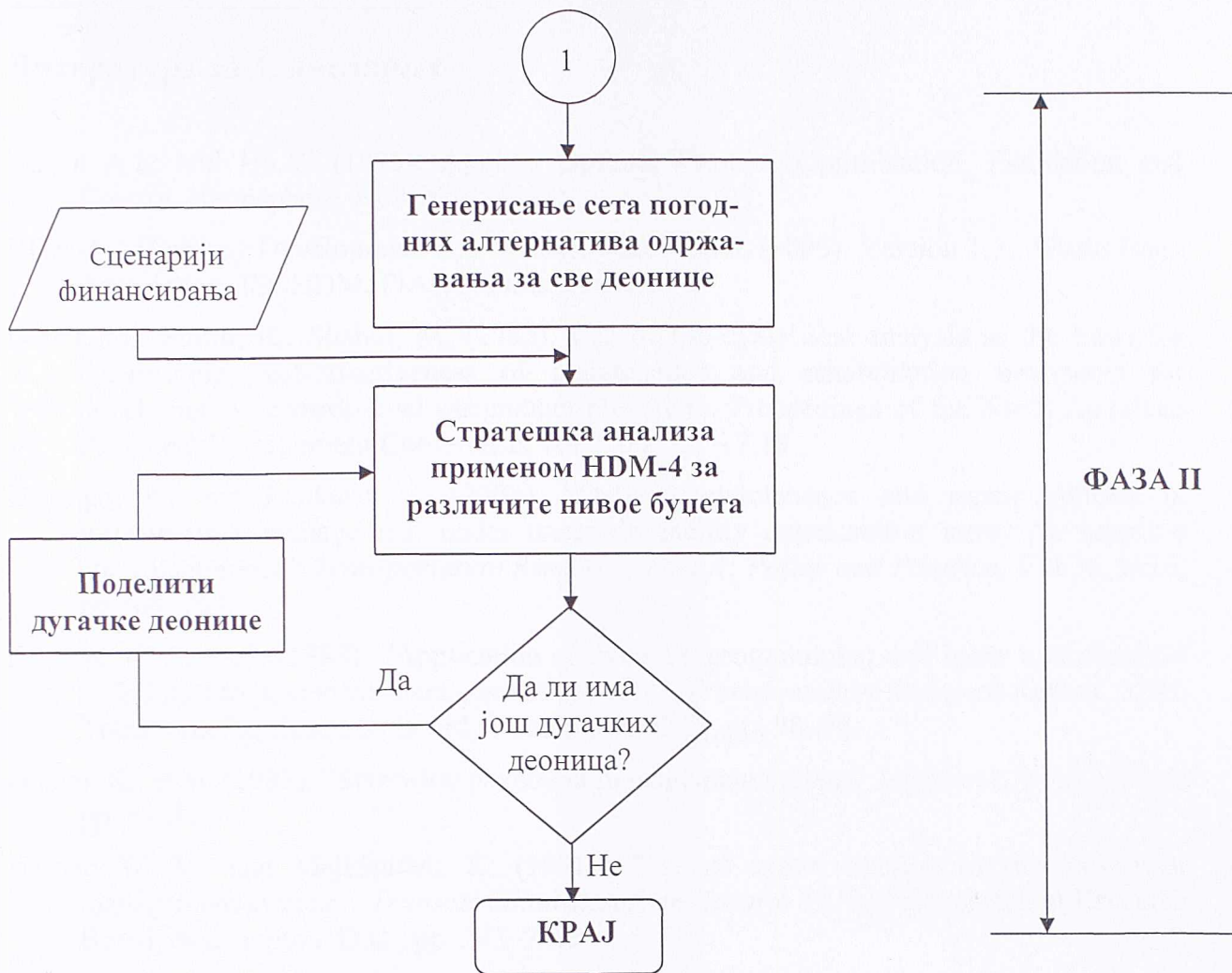
За репрезентативне деонице у оквиру сваке категорије саобраћајног оптерећења може се дефинисати сет одговарајућих алтернатива одржавања. Ове алтернативе треба да узму у обзир почетно стање коловоза, као и ефекте одлагања радова одржавања на пропадања коловоза. У другој фази предвиђа се примена стратешке анализе у оквиру програма HDM-4 у условима различитих буџетских ограничења.

Један од основних проблема са стратешком анализом на нивоу мреже применом матричног приступа је да деонице могу постати сувише дугачке и да укупна средства потребна за извођење одређеног третмана одржавања на једној деоници могу превазићи укупна расположива средства, или се могу тешко искомбиновати са третманима на другим деоницама. Стога је потребно дугачке деонице поделити у краће сегменте како би се боље искористили расположиви буџети.

Дијаграм тока овог поступка за хармонизацију решења на нивоу пројекта и на нивоу мреже и развој оптималне стратегије одржавања путне мреже је приказан на слици 3.3.



Слика 3.3. Методологија хармонизације оптималних решења одржавања коловоза на нивоу пројекта и на нивоу мреже (део 1)



Слика 3.3. Методологија хармонизације оптималних решења одржавања коловоза на нивоу пројекта и на нивоу мреже (део 2)

Имплементација ове методологије за хармонизацију решења на нивоу пројекта и на нивоу мреже је илустрована кроз студију случаја на путној мрежи Србије, приказану у поглављу 7, применом оба програма, НДМ-4 и LCCAGT.

Литература за 3. поглавље

- Brajan A.E. and Ho.Y. (1975). *Applied Optimal Control: Optimization, Estimation and Control*. Hemisphere, New York, USA
- HDM-4 – Highway Development and Management Model, (2003). Version 1.3., World Bank Association, ISOHDM, PIARC, Paris, France.
- Darter, M., Smith, R., Shahin, M. (1985). Use of life-cycle cost analysis as the basis for determining cost-effectiveness of maintenance and rehabilitation treatments for developing a network-level assignment procedure. *Proceedings of the North American Pavement Management Conference*, vol.2, pp. 7.5 – 7.18.,
- Durango, P., and Madanat, S. (2002). “Optimal maintenance and repair policies in infrastructure management under uncertain facility deterioration rates: An adaptive control approach” *Transportation Research, Part A: Policy and Practice*, Vol.36, No.6, pp.768–769.
- Feighan, K. J., et al. (1988). “Application of dynamic programming and other mathematical techniques to pavement management systems.” *Transportation Research Record. 1200*, Transportation Research Board, Washington. D.C., pp. 90–98.
- Golabi, K., et al. (1982). “Statewide pavement management system” *Interfaces*, Vol.12, No.6, pp. 5–21.
- Harper, W. V., and Majidzadeh, K. (1991). “Use of expert opinion in two pavement management systems” *Transportation Research Record. 1311*, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 242–247.
- Li, Y and Madanat S. (2002). A steady-state solution for the optimal pavement resurfacing problem, *Transportation Research, Part A: Policy and Practice*, Vol. 36, 525-535.
- Madanat, S. (1993). “Incorporating inspection decisions in pavement management” *Transportation Research, Part B: Methodology*, Vol.27, No.6, pp. 425–438.
- Madanat, S., and Ben-Akiva, M. (1994). “Optimal inspections and repair policies for infrastructure facilities.” *Transportation Science*, Vol.28, No.1, pp.55–62.
- Ouyang, Y. and Madanat, S. (2004). “An analytical solution for the finite-horizon pavement resurfacing planning horizon”, *Transportation Research, Part B: Methodology*, Vol.40, pp. 767–778.
- Ouyang, Y. and Madanat, S. (2006). “Optimal scheduling of rehabilitation activities for multiple pavement facilities: exact and approximate solutions”, *Transportation Research, Part A: Policy and Practice*, Vol.38, pp. 347–365.
- Paterson, W.D.O. (1987). “Road deterioration and maintenance effects: models for planning and management.” Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA
- Paterson, W.D.O. (1990). “Quantifying the effectiveness of pavement maintenance and rehabilitation” *Proceedings of the 6th REAAA Conference*, Kuala Lumpur, Malaysia
- Smilowitz, K. and Madanat, S. (2000). “Optimal inspection and maintenance policies for infrastructure networks.” *Journal of Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol.15, No.1, pp. 5–13.

- Tsunokawa, K. and J.L.Schofer, (1994). Trend Curve Optimal Control Model for Highway Pavement Maintenance: Case Study and Evaluation, *Transportation Research, Part A: Policy and Practice*, Vol. 28, No.2, 151–166.
- Tsunokawa, K. Van Hiep, D. and Ul-Islam, R. (2006) “True Optimization of Pavement Maintenance Options: Application of Gradient Methods using HDM-4, A What-If Model.” *Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 21, 2006, pp. 193-204.
- Tsunokawa, K. and Ul-Islam, R. (2007). Pitfalls of HDM-4 Strategy Analysis, *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 8, Issue 1, pp. 67 – 77.
- Watanatada T., Harral C.G., Paterson W.D.D., Dhareshwar A.M. Bhandari A. and Tsunokawa K. (1988). The Highway Design and Maintenance Standard Model, Vol. 1: Description of the HDM-III Model, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, USA

Поглавље 4

Модели промене стања коловозних конструкција

4.1 Увод

Тачно предвиђање пропадања коловоза током животног века коловоза је изузетно важно у системима за управљање одржавањем и на нивоу пројекта и на нивоу мреже јер се све остале одлуке, као што су пројектовање рехабилитација, избор материјала, одређивање критеријума квалитета за извођење радова одржавања, економска анализа алтернатива одржавања и приоритизација радова засноване на предвиђању стања коловоза. Сагласно томе, предвиђање понашања коловоза и ефеката радова одржавања је један од кључних елемената система за управљање одржавањем.

Постоје два општа приступа који се користе за предвиђање стања: детерминистички и пробабилистички. Док детерминистички модели дају јединствену вредност као прогнозу трајања коловоза, обима оштећења, или неке друге мере стања коловоза, дотле пробабилистички модели дају расподелу вероватноћа ових параметара. Детерминистички модели обухватају фундаменталне параметре, предвиђање стања носивости, функционалног стања и моделе развоја оштећења. Пробабилистички модели укључују криве преживљавања и Марковљеве моделе (Lytton, 1987). Иако се обе врсте модела могу користити за предвиђање стања коловозних конструкција, њихова међузависност је до сада слабо истраживана (Prozzi, 2001, Li, 1997).

Неке врсте модела се користе само на одређеним нивоима система за управљање одржавањем коловоза. Типично, пробабилистички модели су погодни за више нивое управљања, док се за ниже нивое (ближе нивоу пројекта) више користе детерминистички модели. У табели 4.1. дат је преглед основних модела пропадања коловоза и њихова примена.

Како је ово истраживање фокусирано на ниво пројекта, за предвиђање пропадања коловоза усвојен је детерминистички модел који предвиђа стање коловоза у зависности од времена као функцију почетног стања коловоза, саобраћајног оптерећења и утицаја фактора околине. Ови модели се још називају и регресиони модели јер се најчешће добијају регресионом анализом података о стању коловозних конструкција.

У оквиру ове студије биће анализирано више детерминистичких модела. Неки од њих су свеобухватни, попут НДМ модела, или модела укључених у ново ААШТО упутство за пројектовање коловозних конструкција (NCHRP, 2003) и укључују моделе развоја појединих оштећења, као што су пукотине или колотрази и на бази тога срачунавају индекс стања или индекс равности (International Roughness Index – IRI).

Табела 4.1. Основни типови модела пропадања коловоза (Lytton 1987)

	Тип модела пропадања						
	Детерминистички модели				Пробабилитички модели		
	Фундаментални параметри	Стање носивости	Функционално стање	Развој оштећења	Криве преживљавања	Модели прелазних вероватноћа	
Ниво Система за управљање одржавањем коловоза	Угиб, напон, дилатација, температура, термички напони, влажност, енергија, садржај воде у смрзнутом и не-смрзнутом стању	Стање оштећености, Индекс стања коловоза	Индекс употребљивости, Губитак прионљивости, Индекс безбедности по влажном времену	Еквиваленција оптерећења, Маргинална еквиваленција оптерећења		Markov	Semi-Markov
Национална мрежа				ДА	ДА	ДА	ДА
Државна/регионална мрежа		ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА
Мрежа дистрикта		ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА
Пројекат	ДА	ДА	ДА	ДА			

У овој студији биће такође разматрани и поједини агрегатни модели који предвиђају промену равности са временом и под дејством саобраћаја и фактора околине, као што су Paterson-ов (1987), Archondo-Callao-ов (2007), and Prozzi-јев (2001) модел.

4.2 Модели пропадања коловоза у програму HDM-4

Како је огромна већина деоница на путној мрежи Србије изграђена са флексибилном коловозном конструкцијом, у овом раду ће акценат бити стављен на моделе пропадања за флексибилне или полу-круте коловозе са невезаном, битуменом или цементном везаном подлогом. Ово поглавље је углавном базирано на документацији програма HDM-4 (Odoki и остали, 2000).

Модел пропадања у програму HDM-4 су једно или дво-фазни инкрементални модели за осам видова оштећења:

- Оштећења површине коловоза
 - пукотине
 - одношење агрегата
 - ударне рупе
 - оштећења ивице коловоза
- Деформације
 - колотрази
 - подужна неравност

- Текстура површине коловоза
 - дубина текстуре
 - отпорност на трење

а у будућности се очекује да они укључе и моделе пропадања за дренажни систем и банке.

Модел развоја пукотина, одношења материјала и ударних рупа се састоје из две фазе: иницијација и развој оштећења. Иницијација се односи на период пре појаве самог оштећења, а развој на период током којег се површина и интензитет неког оштећења развијају. Деформација и параметри текстуре површине коловоза су континуалног типа и имају само фазу развоја оштећења.

Основни параметри за моделирање који се користе у инкременталној анализи (из године у годину) се могу груписати у следећих неколико категорија:

- Структурне карактеристике коловоза – тип, квалитет и дебљина слојева
- Стање пута – количина оштећења на почетку и на крају анализираних година
- Историјат грађења – старост коловоза или најскорији третмани одржавања и рехабилитације
- Геометријске карактеристике пута – ширина коловоза и банке, подужни профил
- Климатски параметри и параметри околине
- Саобраћај – тип возила и стандардно осовинско оптерећење

У овом поглављу ће бити обрађени само основни параметри везани за модел развоја неравности, јер се равност користи и као композитни индекс укупног стања коловозне конструкције.

Промена равности у току анализираних година (године) је сума четири компоненте: промене равности услед развоја пукотина, дезинтеграције коловоза, деформација и одржавања:

$$dRI = K_{gp} \cdot (dRI_s + dRI_c + dRI_r + dRI_t) + dRI_e \quad (4.1)$$

где је:

- dRI – укупна инкрементална промена равности током анализираних година, IRI, m/km
- K_{gp} – калибрациони фактор за развој неравности
- dRI_s – инкрементална промена равности услед структурних деформација током анализираних година, IRI, m/km
- dRI_c – инкрементална промена равности услед пукотина током анализираних година, IRI, m/km
- dRI_r – инкрементална промена зависности услед развоја колотрага током анализираних година, IRI, m/km
- dRI_t – инкрементална промена равности услед развоја ударних рупа током анализираних година, IRI, m/km
- dRI_e – инкрементална промена равности услед утицаја фактора околине током анализираних година, IRI, m/km

Структурна компонента промене равности се односи на деформацију материјала у коловозној конструкцији под дејством смичућих напона проузрокованих саобраћајним оптерећењем и дата је са следећим изразом:

$$dRI_s = a_o \cdot e^{m \cdot K_{gm} \cdot t} \cdot (1 + SNPK_b)^{-5} \cdot YE_4 \quad (4.2)$$

где је:

a_o – коефицијент модела

m – коефицијент утицаја околине

K_{gm} – калибрациони коефицијент за утицај околине

t – старост коловоза; временски период од последњег ојачања, реконструкције или од изградње коловозне конструкције, година

$SNPK_b$ – коригован структурни број с обзиром на обим пукотина на крају анализираниог периода: резултат зависности у којој фигуришу модификовани структурни број, дебљина слојева (дебљина нових и старих асфалтних слојева) и оштећеност пута (пукотине на површини коловоза на почетку године и обим пукотина на старом коловозу, пре наношења ојачања)

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

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

YE_4 – годишњи број стандардних осовинских оптерећења, милиона ESAL/траци/год.

Инкрементална промена равности услед развоја пукотина је дата изразом (4.3).

$$dRI_c = a_o \cdot dACRA \quad (4.3)$$

где је:

a_o – коефицијент модела

$dCRA$ – инкрементална промена укупне површине захваћене пукотинама у анализираној години, која је резултат модела развоја пукотина, у % површине коловоза

Инкрементална промена подужне равности услед развоја колотрага је дата изразом (4.4):

$$dRI_r = a_o \cdot dRDS \quad (4.4)$$

где је:

a_o – коефицијент модела

$dRDS$ – инкрементална промена стандардне девијације дубине колотрага током анализирание године, која је резултат модела развоја колотрага, mm

Инкрементална промена равности услед развоја ударних рупа је дата изразима (4.5) и (4.6).

$$dRI_t = a_o \cdot (a_1 - FM) \cdot \left[\left(NPT_a \cdot TLF + \Delta NPT \cdot \frac{TLF}{2} \right)^{a_2} - NPT_a^{a_2} \right] \quad (4.5)$$

$$dRI_t = a_o \cdot dPOT \quad (4.6)$$

где је:

a_o, a_1, a_2 – коефицијенти модела

FM – коефицијент слободе маневра, дат следећом једначином:

$$FM = (\max\{\min[0.25 \cdot (CW - 3), 0]\}, 0) \cdot (\max[(1 - AADT/5000), 0])$$

CW – ширина коловоза, m

AADT – просечни годишњи дневни саобраћај – ПГДС, возила/дан
 NPT_a – број јединичних ударних рупа по km на почетку анализиране године
 TLF – фактор протеклог времена
 ΔNPT – инкрементална промена у броју ударних рупа током анализиране године, број/km
 dPOT – резултат модела развоја ударних рупа

Компонента развоја неравности услед утицаја околине, што укључује промене температуре и влажности, је дата једначином (4.7).

$$dRI_e = m * K_{gm} * RI_a \quad (4.7)$$

где је:

dRI_e – инкрементална промена равности услед утицаја околине током анализиране године, IRI m/km
 m – коефицијент утицаја околине
 K_{gm} – калибрациони фактор за утицај околине
 RI_a – равност на почетку анализиране године, IRI m/km

Равност коловоза на крају анализираниог периода је дата једначином (4.8):

$$RI_b = \text{minimum} (RI_a + dRI, 16) \quad (4.8)$$

где је:

RI_b – равност на крају анализираниог периода, IRI m/km
 dRI – укупна инкрементална промена равности током анализиране године, IRI m/km
 RI_a – равност на почетку анализиране године, IRI m/km

Елементи модела развоја равности у програму HDM-4: SNPКb, dACRA, dRDS and dPOT су резултат комплексних прорачуна који захтевају велики број улазних параметара које је понекад непрактично и скупо прикупљати. Више детаља о овим моделима је дато у оригиналној документацији програма HDM-4 (Odoki et al, 2000) и они се неће понављати овде.

Утицај климе и услова околине се уводи преко анализе режима влажности и температуре. HDM-4 садржи податке за 5 режима влажности (суво, полу-суво, полу-влажно, влажно и врло влажно) и 5 температурних режима (тропски, суптропски-топао, суптропски-хладан, умерени-хладан, умерени са смрзавањем).

Зависно од климатских карактеристика Србија се може поделити у две климатске зоне. Прва обухвата највећи део Србије са надморском висином испод 500 m, док други представља планински регион који укључује брдско-планинска подручја.

Основни климатски параметри за два региона су приказани у табели 4.2.

Табела 4.2. Климатске карактеристике Србије

Зона	Средње годишње падавине (mm/година)	Режим влажности	Распон температура (°C)	Температурни режим
Надморска висина < 500 m	535 - 820	полу-суво	- 27.4 – 39.9	Умерено - хладно
Брдско-планинска	710 - 965	полу-влажно	- 26.4 – 32.2	Умерено - хладно

4.3 Модели пропадања у новом AASHTO аналитичко-емпиријском поступку за пројектовање коловозних конструкција

У новом AASHTO упутству за пројектовање коловозних конструкција (NCHRP, 2003) равност флексибилних коловозних конструкција се користи као комбиновани индекс стања преко кога се може дефинисати укупно стање коловоза. Индекс равности се срачунава као функција појединачних оштећења, која укључују:

- пукотине услед замора
- колотраге
- попречне пукотине
- блок пукотине
- подужне пукотине
- закрпе
- ударне рупе

За оштећења попут пукотина услед замора, колотрага и попречних пукотина развијене су преносне функције за прогнозу њиховог развоја. За остала оштећења, попут блок пукотина, подужних пукотина, закрпа и ударних рупа не постоје преносне функције. Како је потребно имати и прогнозу развоја ових оштећења, примењена је база података LTPP (Long Term Pavement Performance Program) за моделирање развоја ових оштећења кроз време.

4.3.1. Модели за предвиђање неравности

Општи модел предвиђања неравности дефинише зависност индекса равности IRI (International Roughness Index) од четири основна фактора:

$$IRI = IRI_1 + IRI_D + IRI_F + IRI_S \quad (4.9)$$

где је:

IRI_1 – почетна вредности IRI

IRI_D – IRI услед оштећености

IRI_F – IRI услед издизања постељице услед дејства мрза

IRI_S – IRI услед бубрења постељице

Модели су развијени за флексибилне коловозе са дебелом подлогом од неvezаног агрегата, са подлогом од битуменом везаних или цементном везаних слојева, као и за флексибилне или круте коловозне конструкције ојачане асфалтним слојевима.

Модел развоја неравности за асфалтне коловозе са дебелим подлогом од невезаног агрегата дат је са:

$$IRI = IRI_o + 0.0463 \cdot SF \cdot \left[e^{\frac{age}{20}} - 1 \right] + 0.00119 \cdot (TC_L)_T + 0.1834 \cdot COV_{RD} + \\ + 0.00384 \cdot FC_T + 0.00736 \cdot BC_T + 0.00155 \cdot (LC_{SNWP})_{MH} \quad (4.10)$$

где је:

IRI_o – индекс равности IRI измерен у року од 6 месеци након изградње, m/km

COV_{RD} – коефицијент варијације дубине колотрага, %

$(TC_L)_T$ – укупна дужина попречних пукотина (низак, средњи и висок интензитет оштећења), m/km

FC_T – укупна површина пукотина услед замора (низак, средњи и висок интензитет оштећења), проценат укупне површине колотрага, %

BC_T – укупна површина са блок пукотинама (низак, средњи и висок интензитет оштећења), проценат укупне површине саобраћајне траке, %

$(LC_{SNWP})_{MH}$ – залирене подужне пукотине ван колотрага средњег и високог интензитета, m/km

Age – старост од изградње, година

$$SF = \left[\frac{R_{SD} \cdot (P_{0.075} + 1) \cdot PI}{2 \cdot 10^4} \right] + \left[\frac{\ln(FI + 1) \cdot (P_{0.02} + 1) \cdot \ln(R_m + 1)}{10} \right]$$

R_{SD} – стандардна девијација месечне количине падавина, mm

R_m – просечна годишња количина падавина, mm

$P_{0.075}$ – проценат пролаза на ситу 0.075 mm

$P_{0.02}$ – проценат пролаза на ситу 0.02 mm

PI – индекс пластичности материјала у постелици коловозне конструкције

FI – просечни годишњи индекс мраза ($^{\circ}F$ x дана)

За флексибилне коловозе са битуменом везаним слојевима развој неравности зависи од обима пукотина услед замора, попречних пукотина и закрпа високог интензитета, као и од индекса мраза и старости коловоза:

$$IRI = IRI_o + 0.0099947 \cdot Age + 0.0005183 \cdot FI + 0.00235 \cdot FC_T + 18.36 \cdot \frac{I}{(TC_S)_H} + 0.9694 \cdot P_H \quad (4.11)$$

где је:

FC_T – укупна површина под пукотинама услед замора (низак, средњи или висок интензитет оптерећења), проценат укупне површине саобраћајне траке, %

$(TC_S)_H$ – просечно растојање између попречних пукотина високог интензитета, m

P_H – површина под закрпама високог интензитета, проценат укупне површине саобраћајне траке, %

FI – просечни годишњи индекс мраза

Age – старост након изградње

За полу-круте коловозе (флексибилни коловози са цементом стабилизovanом подлогом) развој неравности зависи од количине пукотина услед замора, попречних, блок и подужних пукотина ван колотрага и стандардне девијације дубине колотрага.

$$IRI = IRI_o + 0.00732 \cdot FC_T + 0.07647 \cdot SD_{RD} + 0.0001449 \cdot (TC_L)_T + 0.00842 \cdot BC_T + 0.0002115 \cdot (LC_{NWP})_{MH} \quad (4.12)$$

где је:

- SD_{RD} – стандардна девијација дубине колотрага, mm
 FC_T – укупна површина под пукотинама услед замора (низак, средњи и висок интензитет оптерећења), проценат укупне површине саобраћајне траке, %
 $(TC_L)_T$ – укупна дужина попречних пукотина (низак, средњи и висок интензитет оптерећења), m/km
 BC_T – укупна површина блок пукотина (низак, средњи и висок интензитет оптерећења), проценат укупне површине саобраћајне траке, %
 $(LC_{NWP})_{MH}$ – подужне пукотине средњег и високог интензитета ван колотрага, m/km

За флексибилне коловозе ојачане асфалтом, развој IRI-ја је дат са следећом једначином:

$$IRI = IRI_o + 0.011505 \cdot Age + 0.0035986 \cdot FC_T + 3.4300573 \cdot \frac{I}{(TC_S)_{MH}} + 0.000723 \cdot (LC_S)_{MH} + 0.0112407 \cdot P_{MH} + 9.04244 \cdot PH_T \quad (4.13)$$

где је:

- $(TC_S)_H$ – просечно растојање између попречних пукотина средњег или високог интензитета, m
 $(LC_S)_{MH}$ – заливане подужне пукотине средњег или високог интензитета у колотразима, m/km
 P_{MH} – површина под закрпама средњег или високог интензитета, проценат укупне површине саобраћајне траке, %
 PH_T – ударне рупе, проценат укупне површине саобраћајне траке, %

Развој IRI-а за круте коловозе ојачане асфалтом је дат са:

$$IRI = IRI_o + 0.0082627 \cdot Age + 0.0221832 \cdot RD + 1.33041 \cdot \frac{I}{(TC_S)_{MH}} \quad (4.14)$$

где је:

- RD – просечна дубина колотрага, mm
 $(TC_S)_{MH}$ – просечно растојање попречних пукотина средњег и високог интензитета, m

Из претходног се може видети да да IRI зависи од почетне равности, старости и обима оштећености коловоза. Као што је раније напоменуто, за нека од оштећења постоје преносне функције а прогнозу њиховог развоја.

Ревизијом модела развоја неравности кроз пројекат NCHRP 1-40D дошло се до следећег израза за развој неравности на новим и ојачаним флексибилним коловозима:

$$IRI = IRI_o + 0.0150 \cdot SF + 0.400 \cdot FC_{Total} + 0.0080 \cdot TC + 40.0 \cdot RD \quad (4.15)$$

где је:

- IRI₀ – почетни индекс равности IRI након изградње, in/mi (1 in/mi = 0.015796 m/km)
- FC_{Total} – површина под пукотинама услед замора (збирно мрежасте пукотине, подужне пукотине и рефлектоване пукотине у колотразима), % од укупне површине саобраћајне траке. Све пукотине услед замора се сабирају на бази површине – линеарне пукотине се множе са 1 ft (0.3048 m) да би се добила оштећена површина.
- TC – дужина попречних пукотина (укључујући пукотине рефлектоване из постојећих асфалтних коловоза), ft/mi (1 ft/mi = 0.18955 m/km)
- RD – просечна дубина колотрага, in (1 in = 25.4 mm)
- SF – фактор локације, дат једначином:
- $$SF = Age \cdot [0.02003 \cdot (PI + 1) + 0.007947 \cdot (Precip + 1) + 0.000636 \cdot (FI + 1)]$$
- Age – старост коловоза, година
- PI – индекс пластичности тла, %
- FI – просечни годишњи индекс мрза, °F x dana (1 °F x dan = 0.555 °C x dan)
- Precip – просечне годишње падавине, in (1 in = 25.4 mm)

4.3.2. Предвиђање развоја оштећења са расположивим преносним функцијама

Оштећења за која су расположиве преносне функције су:

- RD – просечна дубина колотрага, mm;
- SD_{RD} – стандардна девијација дубине колотрага, mm;
- (TC_S)_H – просечно растојање између попречних пукотина високог интензитета, m;
- (TC_S)_{MH} – просечно растојање између попречних пукотина средњег и високог интензитета, m
- (TC_L)_T – укупна дужина попречних пукотина (низак, средњи и висок интензитет оштећења), m/km
- FC_T – укупна површина пукотина услед замора (низак, средњи и висок интензитет оштећења), проценат укупне површине саобраћајне траке, %

У овом раду се неће улазити у детаље ових модела који су расположиви у документацији нове AASHTO методе.

4.3.3. Предвиђање оштећења која се користе у једначинама за IRI

Списак оштећења која се користе за предвиђање развоја IRI-ја као функцију времена укључује:

1. Укупну површину блок пукотина (низак, средњи и висок интензитет оштећења), проценат укупне површине саобраћајне траке са невезаним агрегатом у подлози, % - VC_T
2. Укупну површину блок пукотина (низак, средњи и висок интензитет оштећења), проценат укупне површине саобраћајне траке са цементом стабилизованом подлогом, % - VC_T

3. Заливене подужне пукотине изван колотрага средњег и високог интензитета ван колотрага, $m/km - (LC_{SNWP})_{MH}$
4. Подужне пукотине изван колотрага средњег и високог интензитета ван колотрага, $m/km - (LC_{NWP})_{MH}$
5. Заливене подужне пукотине у колотрагу средњег и високог интензитета ван колотрага, $m/km - (LC_S)_{MH}$
6. Површина закрпа високог интензитета, проценат укупне површине саобраћајне траке, % - P_H
7. Површина закрпа средњег и високог интензитета, проценат укупне површине саобраћајне траке, % - P_{MH}
8. Ударне рупе, проценат укупне површине саобраћајне траке, % - PH_T

Моделу су базирани на “Потенцијалу оштећења” (DP) за одређено оштећење, који може варирати од *Високог* до *Непостојећег*. *Високи* DP представља оштећења са највећим потенцијалом, док код *Непостојећег* тог потенцијала једноставно нема. Пројектант врши избор потенцијала оштећења на бази искуства. Уколико таквих информација нема, препоручује се употреба просечних вредности са кривих за *Средњи* потенцијал оштећења.

Други важан параметар у пробабилистичкој анализи у новом аналитичко-емпиријском упутству за пројектовање коловозних конструкција (MEPDG) је стандардна грешка предвиђања. Како ове једначине нису статистичке природе, и засноване су на визуелним опажањима трендова, посебан прилаз је примењен за процену стандардне грешке за сваку криву предвиђања и те вредности су дате у табелама уз сваки модел.

Укупна површина захваћена блок пукотинама за флексибилне коловозе са подлогом од неvezаног агрегата (низак, средњи и висок интензитет оштећења) BC_T , као проценат укупне површине саобраћајне траке дата је са:

$$BC_T = \frac{100}{1 + e^{DP-1.008 \cdot Age}} \quad (4.16)$$

где су вредности DP дате у табели 4.3.

Табела 4.3. Вредности DP за блок пукотине за флексибилне коловозе

Ниво DP	Вредност	Стандардна грешка (S_e)
Висок	10	13.6
Средњи	20	6.0
Низак	30	2.9
Непостојећи	40	0.0

За флексибилне коловозе са цементом стабилизованом подлогом BC_T је дато са:

$$BC_T = \frac{100}{1 + e^{DP-1.008 \cdot Age}} \quad (4.17)$$

где су вредности DP дате у табели 4.4.

Табела 4.4. Вредности DP за блок пукотине за флексибилне коловозе са цементом стабилизованом подлогом

Ниво DP	Вредност	Стандардна грешка (S_e)
Висок	6.5	8.9
Средњи	14.25	6.6
Низак	22	6.0
Непостојећи	32	0.0

Количина заливених подужних пукотина средњег или високог интензитета ван колотрага - $(LC_{SNWP})_{MH}$ (m/km) је дата са:

$$(LC_{SNWP})_{MH} = 2000 \cdot e^{-e^{DP-0.15 \cdot Age}} \quad (4.18)$$

где су вредности DP дате у табели 4.5.

Табела 4.5. Вредности DP за модел са заливеним подужним пукотинама ван колотрага

Ниво DP	Вредност	Стандардна грешка (S_e)
Висок	1.9	176.6
Средњи	3.4	32.5
Низак	5.0	44.2
Непостојећи	8.5	0.0

Подужне пукотине средњег и високог интензитета ван колотрага $(LC_{NWP})_{MH}$ (m/km) су дате са:

$$(LC_{NWP})_{MH} = 2000 \cdot e^{-e^{DP-0.34 \cdot Age}} \quad (4.19)$$

где су вредности DP дате у табели 4.6.

Табела 4.6. Вредности DP за подужне пукотине средњег и високог интензитета ван колотрага

Ниво DP	Вредност	Стандардна грешка (S_e)
Висок	3.7	383.7
Средњи	6.85	280.5
Низак	10.0	106.7
Непостојећи	13.5	0.0

Подужне пукотине средњег и високог интензитета ван колотрага на асфалтном ојачању $(LC_{NS})_{MH}$ (m/km) су дате са:

$$(LC_S)_{MH} = 2000 \cdot e^{-e^{DP-1.32 \cdot Age}} \quad (4.20)$$

где су вредности DP дате у табели 4.7.

Табела 4.7. Вредности DP за модел са заливеним подужним пукотинама у колотразима

Ниво DP	Вредност	Стандардна грешка (S_e)
Висок	4.0	251.7
Средњи	8.85	164.0
Низак	13.7	17.3
Непостојећи	35	0.0

Модели (4.18), (4.19) и (4.20) имају асимптотску вредност од 2000, што значи да је то максимална вредност оштећености по километру дужине саобраћајне траке.

Површина под закрпама високог интензитета, изражена као проценат укупне површине саобраћајне траке - P_H (%) је дата са:

$$P_H = 20 \cdot e^{-e^{DP-0.328 \cdot Age}} \quad (4.21)$$

где су вредности DP дате у табели 4.8.

Табела 4.8. Вредности DP за закрпе високог интензитета

Ниво DP	Вредност	Стандардна грешка (S_e)
Висок	5.45	0.94
Средњи	8.47	0.43
Низак	11.5	0.20
Непостојећи	15.0	0.0

Једначина (4.21) сугерише да обим оштећености од 20 % значи лом коловозне конструкције.

Слично претходној једначини, обим закрпа средњег и високог интензитета за ојачања је дефинисан следећом једначином:

$$P_{MH} = 20 \cdot e^{-e^{DP-0.328 \cdot Age}} \quad (4.22)$$

где су вредности DP дате у табели 4.9.

Табела 4.9. Вредности DP за закрпе средњег и високог интензитета

Ниво DP	Вредност	Стандардна грешка (S_e)
Висок	3.3	0.14
Средњи	3.9	0.05
Низак	4.5	0.30
Непостојећи	8.0	0.0

Модели (4.21) и (4.22) сугеришу да обим оштећености од 20 % значи лом коловозне конструкције.

Последње оштећење које се користи у моделу за предвиђање равности су ударне рупе. Захваћеност ударним рупама се изражава као проценат укупне површине саобраћајне траке и представља збир ударних рупа ниског, средњег и високог интензитета. Типични тренд развоја ударних рупа приказан је следећом једначином:

$$PH_T = 0.1 \cdot e^{-e^{DP-0.914 \cdot Age}} \quad (4.23)$$

где су вредности DP дате у табели 4.10.

Табела 4.10. Вредности DP за ударне рупе

Ниво DP	Вредност	Стандардна грешка (S_e)
Висок	4.1	0.02
Средњи	6.3	0.01
Низак	8.5	0.01
Непостојећи	20	0.0

Из претходног модела следи да је максимална вредност обима ударних рупа 0.1 проценат, што дефинише лом коловоза.

4.4 Упрошћен модел развоја неравности базиран на HDM - III

Paterson и остали (1992) су развили два упрошћена модела за предвиђање неравности флексибилних коловоза из свеобухватног сета модела за развој оштећења садржаних у моделу HDM-III (Highway Design and Maintenance Standards Model, Paterson 1987).

Први модел прогнозира развој неравности у функцији од саобраћајног оптерећења, носивости коловоза, старости, утицаја околине и обима оштећености (колотрази, пукотине и закрпе) уз врло мала одступања од комплетног модела.

$$IRI_t = 0.94 \cdot e^{mt} \cdot [IRI_o + 135 \cdot SNK_4^{-5} \cdot NE_t] + 0.143 \cdot RDS_t + 0.0068 \cdot CRX_t + 0.056 \cdot PAT_t \quad (4.24)$$

где је:

IRI_t – неравност при старости коловоза t , у IRI (m/km)

IRI_o – почетна равност, IRI (m/km)

NE_t – кумулативно еквивалентно стандардно осовинско оптерећење (ESAL) при старости t , милиона ESAL/траци

t – старост коловоза од рехабилитације или реконструкције, година

m – коефицијент утицаја околине

$$SNK_4 = 1 + SNC - 0.00004 \cdot HS \cdot CRX_t \quad \text{за} \quad HS \cdot CRX_t < 10000$$

$$SNC = \sum a_i \cdot H_i + SNSG - \text{модификовани структурни број}$$

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

HS – дебљина везаних слојева

CRX_t – површина под индексираним пукотинама у време t , %, у оквиру које је површина под сваком класом пукотина пондерисана са ширином пукотине (2 mm за пукотине класе 2 и 4 mm за пукотине класе 4)

RDS_t - стандардна девијација дубине колотрага, mm

RHV_t - запремина ударних рупа, m³/траци-km

PAT_t - површина под закрпама, %

Вредности коефицијента околине m за климатске зоне у HDM-III, приказани су у табели 4.11, као што је препоручено од стране Paterson-a (1987).

Табела 4.11. Препоручене вредности за коефицијент утицаја околине “ m ” у моделу развоја неравности (Paterson, 1987)

Режим влажности	Thomthwaite Индекс влажности	Класификација температуре		
		Тропска без смрзавања	Суптропска без смрзавања	Умерена са смрзавањем
Суво	-110 to -61	0.005	0.010	0.025
Полу-суво	-60 to -21	0.010	0.016	0.035
Полу-влажно	-20 to +19	0.020	0.030	0.065
Влажно	+20 to 100	0.025	0.040	0.10 – 0.23

Други модел је генерализован и не захтева податке о оштећености, већ се прираст неравности дефинише у функцији саобраћајног оптерећења, носивости коловоза, старости и утицаја околине.

$$IRI_t = K_{gp} \cdot e^{mt} \cdot \left[IRI_0 + 263 \cdot (1 + SNC)^{-5} \cdot NE_t \right] \quad (4.25)$$

где је:

IRI_t – равност при старости t , у IRI (m/km)

IRI_0 – почетна равност, IRI (m/km)

NE_t – кумулативно еквивалентно стандардно осовинско оптерећење (ESAL) при старости t , милиона ESAL/траци

t – старост коловоза од рехабилитације или реконструкције, година

m – коефицијент утицаја околине

SNC – модификовани структурни број

Овај модел има лошије слагање са комплетним HDM-III моделом, али се може применити за коловозе са релативно добрим стандардима одржавања.

4.5 Упрошћен модел развоја неравности базиран на HDM-4

Archondo-Callao (2007) је развио модел сличан Paterson-овом, али базиран на моделима пропадања садржаним у новој верзији програма HDM-4 који су нешто модификовани у односу на моделе у HDM III. На основу овог модела се врши процена развоја неравности на бази саобраћајног оптерећења, носивости коловоза, старости коловоза и утицаја околине.

Овај модел подразумева да су фактори пропадања K у оригиналном моделу једнаки јединици и да је у оквиру редовног одржавања увек спроведено крпљење ударних рупа, тако да се на коловозу не појављују ударне рупе. Упрошћени модел је дат са следећим изразом:

$$dIRI = K_{gp} \cdot \left(a_0 \cdot e^{K_{gm} \cdot m \cdot t} \cdot (1 + SNC \cdot a_1)^{-4} \cdot YE4 + a_2 \cdot t \right) + K_{gm} \cdot m \cdot IRI_a \quad (4.26)$$

$$и \quad IRI_b = \min (IRI_a + dIRI, 16) \quad (4.27)$$

где је:

$dIRI$ – годишњи прираст неравности, (IRI, m/km)

$a_0 = 134$, што је оригинални a_0 коефицијент из модела HDM

m – коефицијент утицаја околине, као што је представљено у табели 4.13

t – старост коловоза од последњег ојачања, реконструкције или нове изградње, година

SNC – модификован структурни број

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

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

YE_4 – годишњи број стандардних осовина, милиона ESAL/траци/години

IRI_a – равност на почетку анализирание године, IRI m/km

IRI_b – равност на крају анализирание године, IRI m/km

$a_1 = 0.7947$ – коефицијент који узима у обзир смањење носивости коловоза услед постојања пукотина

$a_2 = 0.054$ – коефицијент који узима у обзир повећање неравности коловоза услед постојања површинских оштећења (пукотине и ударне рупе) и колотрага

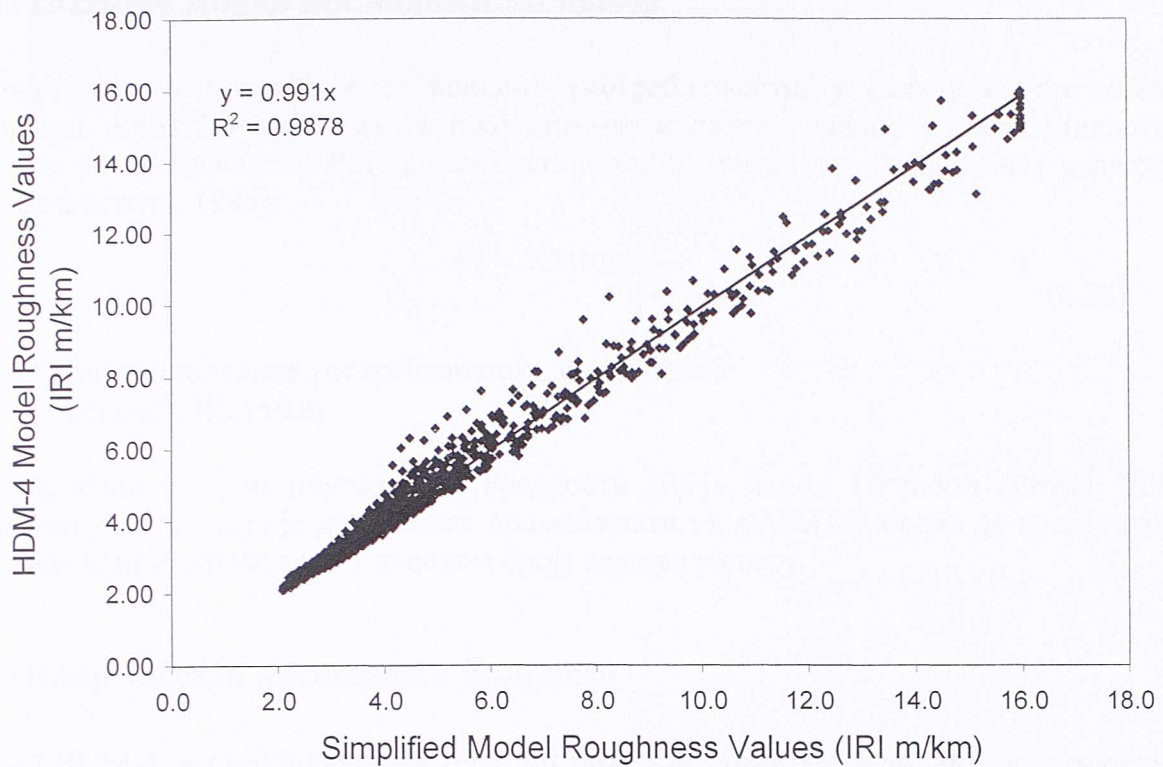
Ревидоване вредности коефицијента утицаја околине, примењене у верзији 2 програма HDM-4 су приказане у табели 4.12.

Табела 4.12. Препоручене вредности за коефицијент утицаја околине “ m ” у моделу развоја неравности у HDM-4 (Morosiuk и остали, 2004)

Класификација влажности	Класификација температуре				
	Тропска	Суптропска топла	Суптропска хладна	Умерена хладна	Умерена са смрзавањем
Суво	0.005	0.010	0.015	0.020	0.030
Полу-суво	0.010	0.015	0.020	0.030	0.040
Полу-влажно	0.020	0.025	0.030	0.040	0.050
Влажно	0.025	0.030	0.040	0.050	0.060
Врло влажно	0.030	0.040	0.050		

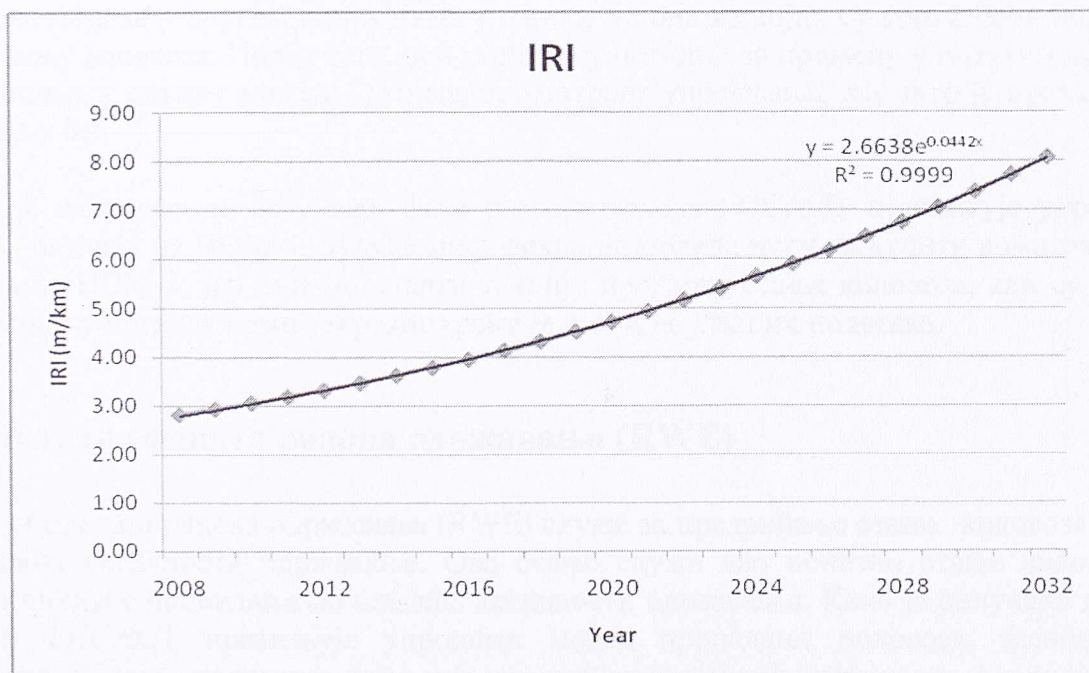
На основу климатских карактеристика приказаних у табели 4.1 реалне вредности коефицијента “ m ” за климатске карактеристике Србије је између 0.030 и 0.040.

Слика 4.1 даје упоређење између упрошћеног модела и вредности IRI добијених комплетним HDM-4 моделом (Archondo-Callao, 2007). Вредности IRI приказане на дијаграму 4.1 су срачунате применом поједностављене једначине са оптималним вредностима коефицијената a_1 и a_2 . Са слике 4.1 се може закључити да је слагање између поједностављеног модела и комплетног HDM-4 модела врло добро.



Слика 4.1. Упоређење вредности равности срачунатих помоћу модела HDM-4 и помоћу модела RОНЕТ (Archondo-Callao, 2007)

Овај модел такође може бити представљен експоненцијалном функцијом, као што је приказано на слици 4.2, што га чини погодним за примену у оптималној теорији управљања приказаној у поглављу 3.



Слика 4.2. Апроксимација Archondo-Callao-овог модела експоненцијалном функцијом

4.6 Prozzi-јев модел пропадања коловоза

У овом моделу примењује се концепт употребљивости, у складу са претходним верзијама AASHTO упутства за пројектовање коловоза. Однос између равности и индекса употребљивости PSI (present serviceability index) дат је следећом релацијом (Sayers и остали, 1986):

$$RI = 5.5 \cdot \log \frac{PSI}{5} \quad (4.28)$$

где је:

PSI - индекс садашње употребљивости, скала 0 до 5

RI - равност, IRI m/km

Ова релација је врло поуздана за вредности IRI-ја испод 12 m/km (Prozzi, 2001). Предност овог модела је да се може примењивати уз AASHTO модел за пројектовање коловоза који се примењује у великом броју земаља у свету.

4.7 Избор модела пропадања коловоза

Модел HDM-4 је свеобухватан и било би пожељно применити тај модел у моделу за анализу трошкова животног века коловоза. Међутим, основни недостатак овог модела је његова комплексност која захтева дуже време прорачуна и није погодна за примену у оквиру програма Excel и Visual Basic for Applications (VBA).

Два упрошћена модела базирана на HDM-III и HDM-4 су врло слични, а предност је дата новијем моделу који је развијен на основу већег броја тачака, и поред тога омогућава калибрацију с обзиром на локалне услове која је врло значајна у случају примене модела у другим подручјима у односу на она из којих су коришћени подаци о пропадању коловоза. Поред тога, ови модели су погодни за примену у оптимизационим поступцима у оквиру модела Оптималне контроле управљања, као што је приказано у поглављу 4.5.

Стога је одлучено да се у овој фази развоја модела LCCAGT примењује упрошћен модел, базиран на HDM-4. Будуће модификације модела могу укључити комплетан сет модела из HDM-4, јер они могу дати тачнију прогнозу стања коловоза, али су много захтевнији у погледу компјутерског времена и обима улазних података.

4.8 Модели ефеката радова одржавања (RWE)

Модели ефеката радова одржавања (RWE) служе за предвиђање стања коловоза након изведених активности одржавања. Ово стање служи као почетно стање коловоза у новом циклусу пропадања до следеће активности одржавања. Како је одлучено да се у моделу LCCAGT примењује упрошћен модел пропадања коловоза, заснован на равности, у овом поглављу биће разматрани само утицај активности одржавања на смањење вредности индекса равности коловоза IRI.

Усвојени модел мора узети у обзир стање коловоза пре интервенције, и интензитет интервенције одржавања, која у овом случају обухвата ојачања дебљине од 3 до 15 cm. Структурни број ојачане коловозне конструкције по моделу HDM-4 је дат са:

$$SN_{aw} = SN_{bw} + H_{ov} * 0.4 * 0.0394 \quad (4.29)$$

где је::

SN_{aw} – структурни број након ојачања

SN_{bw} – структурни број пре ојачања

H_{ov} – дебљина ојачања (mm).

Структурни број коловозне конструкције након ојачања се користи у новом циклусу пропадања коловозне конструкције до њеног следећег ојачања за прогнозу њеног стања, применом израза 4.26.

У оригиналној документацији за HDM (Odoki и остали, 2000), равност након ојачања је дата следећом једначином:

$$IRI_{aw} = a_0 + a_1 \cdot \max(0, IRI_{bw} - a_0) \cdot \max(0, a_2 - H_{ov}) \quad (4.30)$$

где је:

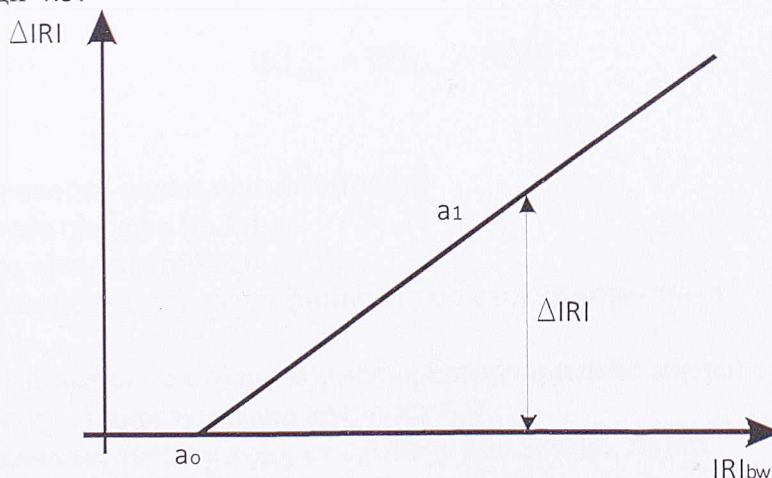
IRI_{aw} – равност након ојачања (m/km)

IRI_{bw} – равност пре ојачања (m/km)

H_{ov} – дебљина ојачања (mm)

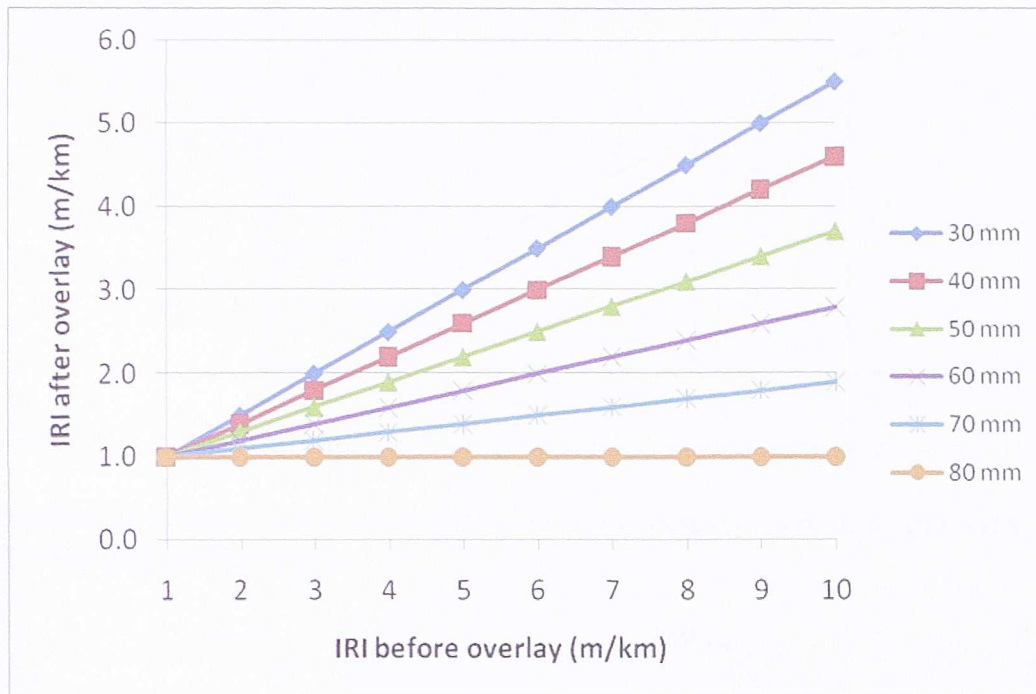
a_0, a_1, a_2 – коефицијенти, $a_0 = 2.0, a_1 = 0.01, a_2 = 80$

У овом моделу a_0 представља општи стандард радова који се може постићи у одређеном региону или земљи, било за новоизграђени коловоз, или коловоз рехабилитован са дебелим ојачањем. Ова вредност треба да се креће у распону од 1 за врло висок стандард до 2.5 за врло лош стандард. Иако је у документацији за HDM-4 сугерисано да је вредност овог коефицијента 2.0, сам програм у стварности користи вредност од $a_0 = 1.0$. Константа a_2 представља дебљину ојачања (у mm), која је гранична вредност за постизање равности изражене са a_0 , независно од тренутне равности коловоза. Коефицијент a_1 представља осетљивост смањења равности услед ојачања за дебљине ојачања између 20 mm и a_0 . Шематски приказ линеарног RWE модела је приказан на слици 4.3.



Слика 4.3. Шематски приказ линеарног RWE модела

Равност после ојачања, срачуната применом линеарног RWE модела, за дебљине ојачања између 30 и 80 mm је приказана на слици 4.4. За дебљине ојачања изнад 80 mm равност после ојачања је једнака коефицијенту a_0 , као што је специфицирано у RWE линеарном моделу.



Слика 4.4. Равност после ојачања срачуната применом линеарног модела

У току развоја верзије 2 модела HDM-4 закључено је да линеарни модел не узима у обзир двојни ефекат ојачања: за кратке таласне дужине, високих фреквенција који могу бити кориговани са танким ојачањем и средње таласне дужине и средње фреквенције које се коригују са дебелим ојачањима. Стога су у другој верзији програма HDM-4 дата два врло слична модела за ефекте радова (Morosiuk и остали, 2001).

Према првом, билинеарном моделу приказаном на слици 4.5, редуција равности након интервенције је дата са следећом једначином:

$$\Delta IRI = \max(0, a_0 \cdot [\min(a_1, IRI_{bw}) - a_2]) + a_3 \cdot \max(0, IRI_{bw} - a_1) \quad (4.31)$$

$$\text{и} \quad IRI_{aw} = IRI_{bw} - \Delta IRI \quad (4.32)$$

где је:

ΔIRI – смањење равности након ојачања (m/km)

IRI_{aw} – равност после ојачања (m/km)

IRI_{bw} – равност пре ојачања (m/km)

a_0, a_1, a_2, a_3 – коефицијенти модела дефинисани од стране корисника

Коефицијенти дефинисани од стране корисника имају следеће значење:

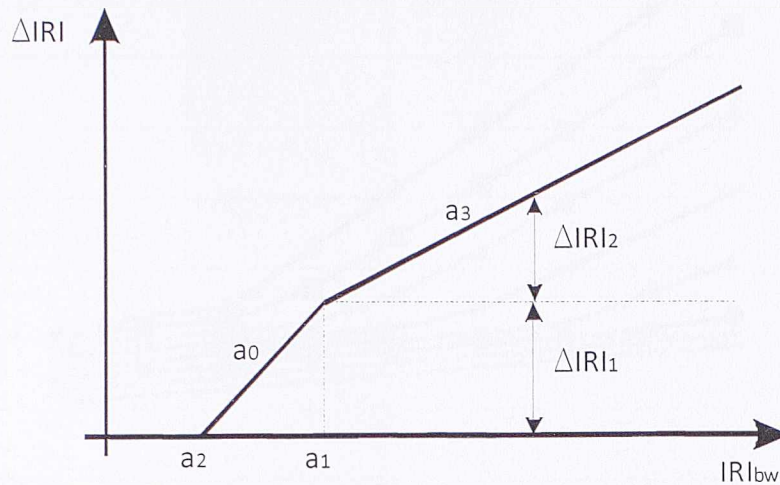
a_0 – нагиб прве линије, подразумевана вредност 0.9

a_1 – равност пре ојачања, тачка у којој се сустичу две линије, m/km

a_2 – минимална равност после ојачања, m/km

a_3 – нагиб друге линије

Шематски приказ билинеарног RWE модела дат је на слици 4.5.



Слика 4.5. Шематски приказ билинеарног RWE модела примењеног у HDM-4

Коефицијенти модела могу бити срачунати на основу дебљине ојачања H_{OV} (mm), према следећим једначинама:

$$a_1 = \max(4.0, 2.1 \cdot e^{0.019 \cdot H_{OV}}) \quad (4.33)$$

$$a_2 = 1 + 0.018 \cdot \max(0, 100 - H_{OV}) \quad (4.34)$$

$$a_3 = \min(a_0, \max(0, 0.01 \cdot H_{OV} - 0.15)) \quad (4.35)$$

Равност после ојачања, срачуната применом билинеарног RWE модела је приказана на слици 4.6. Дебљина ојачања се креће између 30 и 100 mm. За дебљине ојачања изнад 100 mm остварена равност по овом моделу је једнака равности добијеној са ојачањем од 100 mm.

Moroshiuk и остали (2004) су такође дали опис другог билинеарног модела, примењеног у HDM-4, који је приказан једначином 4.36.

$$\Delta IRI = \max(0, \min(a_0 \cdot (IRI_{bw} - a_2), a_0 \cdot (a_1 - a_2) + a_3 \cdot \max(0, IRI_{bw} - a_1))) \quad (4.36)$$

и

$$IRI_{aw} = IRI_{bw} - \Delta IRI \quad (4.37)$$

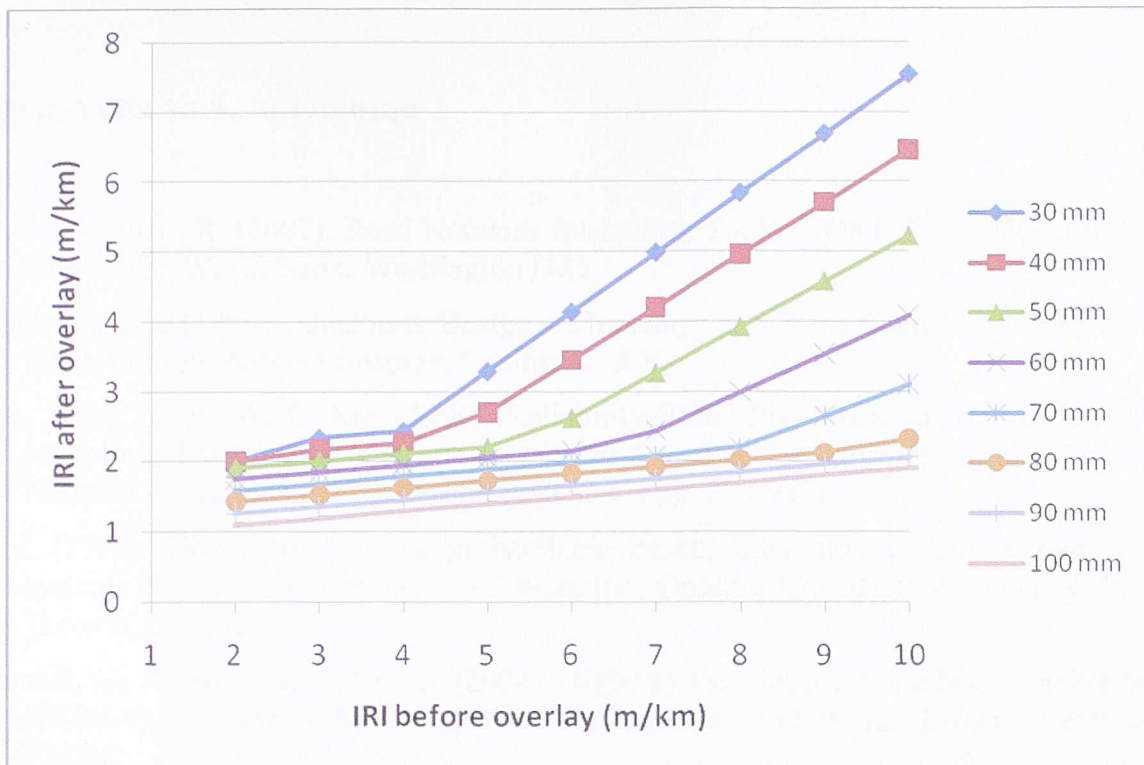
где је:

ΔIRI – смањење равности после ојачања (m/km)

IRI_{aw} – равност после ојачања (m/km)

IRI_{bw} – равност пре ојачања (m/km)

a_0, a_1, a_2, a_3 – коефицијенти дефинисани од стране корисника, као што је претходно описано



Слика 4.6. Равност после ојачања срачуната применом билинеарног модела

Међутим, како овај метод има идентично физичко значење као и први метод, и како су срачунате вредности равности након ојачања идентичне вредностима приказаним на слици 4.6, у овом поглављу овај модел неће бити даље разматран.

Програм LCCAGT ће омогућити корисницима избор једног од два приказана RWE модела, линеарног или билинеарног.

Литература за 4. поглавље

- Archondo-Callao, R. (2007). Road Network Evaluation Tools (RONET), Version 1.0, User's Guide, The World Bank, Washington D.C.
- Asphalt Institute (1999). Thickness Design – Highways and Streets, Manual Series MN-01, Ninth Edition, Asphalt Institute, Lexington, KY
- Li, N., Haas, R. and W. C. Xie. (1996). Reliability-Based Processing of Markov Chains for Modeling Pavement Deterioration, *Transportation Research Record 1524*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 203-213.
- Li, N. (1997). Development of a probabilistic based, integrated pavement management system, PhD Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada Pavements, Volume 2. Toronto, Canada.
- Morosiuk, G., J. Riley, J.B.K. Odoki. (2004). Highway Development and Management Model (HDM-4), Volume 6, Modeling Road Deterioration and Works Effects, Version 2.0, PIARC
- NCHRP (2004) Mechanistic Empirical Pavement Design Guide for New and Rehabilitated Pavement Structures, Appendix OO-3, Addendum – Estimation of Distress Quantities for Smoothness Models for HMA Surfaced Pavements, accessed on the web site www.trb.org/mepdg, July 2007.
- Odoki J.B.K. and KH.G.R. Kerali. (2000). Highway Development and Management Model (HDM-4) Version 2.0, Volume 4 Analytical Framework and Model Descriptions, PIARC
- Paterson W.D.O. (1987) "Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management," John Hopkins University Press, Baltimore, MD, 1987.
- Paterson, W.D.O. and Attoh-Okine, N. O. (1992) "Simplified Models of Paved Road Maintenance Based on HDM-III," *Transportation Research Record*, No. 1344, pp 99-105.
- Prozzi, H.A. (2001) "Modeling Pavement Performance by Combining Field and Experimental Data," PhD Thesis, University of California, Berkeley.
- Sayers, M.W., Gillespie, T.D., and Queiroz, C.A.V. (1986) International Road Roughness Quality Experiment: Establishing Correlation and Calibration Standard for Measurements, Technical Paper 45, World Bank, Washington, D.C.

Поглавље 5

Анализа модела трошкова корисника

5.1 Увод

Модели као HDM-4 примењују анализу трошкова и добити како би приоритизовали пројекте одржавања путних деоница. Трошкови представљају најбољу процену издатака потребних како би се одређени пројекат завршио, а користи се најчешће изражавају кроз смањење трошкова корисника услед побољшања стања путне деонице. Стога је неопходно предвидети трошкове корисника за различите сценарије одржавања.

Трошкови корисника (VOC) су чисто монетарна мера трошкова одржавања и коришћења возила и укључују трошкове поправки, горива, мазива, пнеуматика, времена путовања и трошкове саобраћајних несрећа (Riley и Bennett, 1995). Свака компонента ових трошкова се повећава са пропадањем коловоза и повећањем његове неравности. У неким моделима примењују се и сугеришу немонетарне користи, које најчешће представљају разлику у пројектованом стању коловозне конструкције (Faiz и Staffini, 1979). Међутим, оне се релативно ретко користе за одлучивање у системима за управљање одржавањем, поготово ван Сједињених Држава.

Избор пројеката на нивоу мреже се типично базира на прорачуну нето користи услед смањења трошкова корисника због рехабилитације или реконструкције коловоза, што значи да се прво узимају у обзир деонице са већим саобраћајем. Међутим, у последњих неколико година анализа трошкова корисника је постала још значајнија, како се пажња у путном саобраћају почела преусмеравати ка заштити околине и смањењу потрошње горива и активности одржавања које резултују у мањим трошковима корисника такође помажу унапређењу ситуације у погледу та два критеријума.

Циљ овог поглавља је да да преглед садашњег стања у овој области, и да се затим развију одговарајући модели трошкова корисника карактеристични за Србију и њен возни парк.

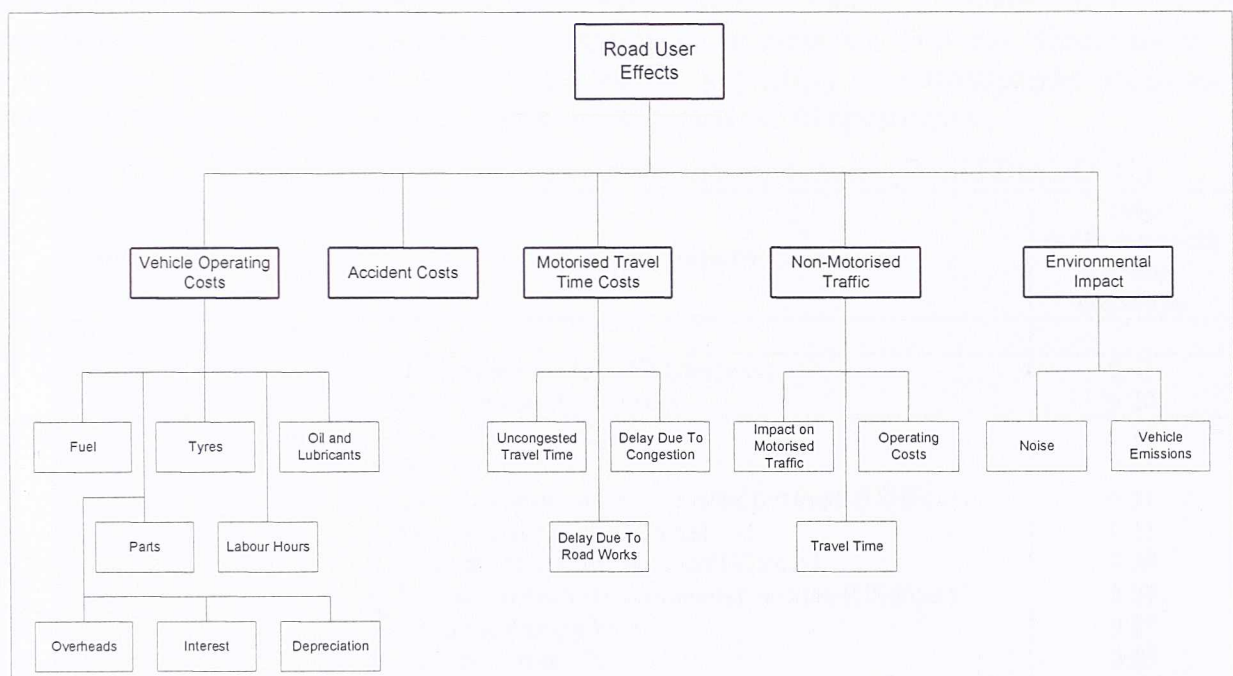
5.2 Кратак опис модела трошкова корисника у HDM-4

Тренутно у употреби у системима за управљање одржавањем коловоза постоји већи број модела за предвиђање трошкова корисника. Већина њих се може на неки начин довести у везу са моделима развијеним у оквиру програма HDM-4 или истраживања повезаних са развојем тог програма.

Циљ модела трошкова корисника у оквиру програма HDM-4 је да симулирају ефекат физичких карактеристика и стања пута на брзину различитих категорија возила, потрошњу горива и мазива, хабање пнеуматика, потребе за одржавањем итд. и да то изразе у монетарној форми кроз трошкове корисника. Количина утрошених ресурса, као што су гориво, број пнеуматика, број радних сати на одржавању итд. се срачунавају заједно са брзином возила као функција карактеристика сваке категорије возила, и

геометрије, типа површине и тренутног стања пута. Трошкови се онда срачунавају као производ утрошене количине ресурса са њиховом економском ценом специфицираном од стране корисника, узимајући у обзир амортизацију, камату и режијске трошкове, као и трошкове времена за путнике и терет. Економски трошкови представљају реалне трошкове по економију власништва и коришћења возила, где се омогућавају одређена прилагођавања тржишним условима услед пореза, рестрикција у погледу замене валута, прописа о надницама итд. и где су укључени имплицитни трошкови времена путника и превоза робе.

Улазни подаци за модел трошкова корисника у програму HDM-4 (слика 5.1) су врло обимни и садрже велики број података који уобичајено нису доступни у базама података или спецификацијама произвођача. Прикупљање свих ових података може бити захтевно са аспекта потребног времена и трошкова, и потребно је издвојити оне податке који имају највећи утицај на резултате анализе.



Слика 5.1. Структура модела ефеката по кориснике (RUE model) у HDM-4 (Bennett и Greenwood, 2004)

Модел ефеката по кориснике (RUE model) се може поделити на модел трошкова корисника путева (Road User Costs - RUC) и модел утицаја на околину, где RUC модел садржи модел трошкова корисника возила (Vehicle Operating Cost - VOC), модел трошкова времена путовања за кориснике моторних возила, модел трошкова корисника са возилима без моторног погона и модел трошкова саобраћајних незгода (Bennett и Paterson, 2000). У овој анализи биће разматран само модел трошкова корисника возила (VOC model).

У овом моделу су дефинисане четири класе осетљивости улазних података као функција њиховог утицаја (еластичности) на резултате прорачуна. Што је већа еластичност, то је модел осетљивији. Класе осетљивости су приказане у табели 5.1.

Табела 5.1. Класе осетљивости модела трошкова корисника у НДМ-4, (Bennett и Paterson 2000)

Утицај	Класа осетљивости	Утицај (еластичност) улазних података
Висок	S-I	> 0.50
Средњи	S-II	0.20 - 0.50
Низак	S-III	0.05 - 0.20
Занемарљив	S-IV	< 0.05

Два елемента трошкова корисника су од значаја у системима за управљање одржавањем коловоза: укупни трошкови корисника и уштеде у трошковима корисника услед побољшања стања пута. Извештај Светске банке о трошковима корисника (World Bank, 2007) разматра осетљивост укупних трошкова на промене у улазним параметрима. Стање пута је било просечно за услове у Србији ($IRI = 4.0 \text{ m/km}$) и деоница је била кривудава и лоцирана на брдовитом терену (успон & пад = 25 m/km , хоризонтална закривљеност = 150 степени/km и надморска висина од 500 m). Осетљивост је процењена за типични возни парк за земље у развоју и одговарајуће економске јединичне трошкове. У табели 5.2 приказани су резултати прорачуна.

Табела 5.2. Осетљивост укупних трошкова корисника (World Bank 2007)

Утицај	Класа осетљивости	Параметар	Утицај (еластичност) улазних података
Висок	S-I		
Средњи	S-II	Цена новог возила (US\$/возилу)	0.43
		Цена горива (US\$/литар)	0.20
Низак	S-III	Равност коловоза (IRI)	0.16
		Број путника (#)	0.15
		Надница за време запослених путника (US\$/cat)	0.11
		Укупна маса возила (тона)	0.11
		Надница за посаду-возаче (US\$/cat)	0.07
		Трошкови рада на одржавању возила (US\$/cat)	0.07
		Успон & пад (m/km)	0.07
		Каматна стопа (%)	0.05
		Број пређених километара током године (km)	-0.05
		Животни век возила (година)	-0.05
Занемарљив	S-IV	Број часова вожње током године (часова)	-0.04
		Цена новог пнеуматика (US\$/пнеуматик)	0.03
		Хоризонтална закривљеност (степени/km)	0.03
		Надница за време незапослених путника (US\$/cat)	0.03
		Пословна путовања (%)	0.03
		Режијски трошкови (US\$/година)	0.01
		Цена мазива (US\$/литар)	0.01
		Ограничење брзине (km/cat)	0.01
		Спровођење ограничења брзине (#)	0.01
		Процент времена вожње по влажном коловозу (%)	0.00
		Трење површине коловоза (#)	0.00
		NMT трење (#)	0.00
		Дубина текстуре (mm)	0.00
		Процент времена вожње по снегу (%)	0.00
		Број успона и падова (%)	0.00
		Попречни нагиб (%)	0.00
		Трошкови кашњења терета (US\$/cat)	0.00
		Приватна употреба возила (%)	0.00
		Ширина коловоза (m)	0.00
		Надморска висина (m)	0.00

Друга анализа се односила на осетљивост разлике у трошковима корисника у односу на стање пута, односно на уштеде у трошковима корисника услед побољшања стања пута са $IRI = 4 \text{ m/km}$ на $IRI = 2 \text{ m/km}$. Примењене су идентичне карактеристике пута као и у претходном случају (успон & пад = 25 m/km , хоризонтална закривљеност = 150 степени/ km и надморска висина од 500 m) и осетљивост је процењена за типични возни парк за земље у развоју и одговарајуће економске јединичне трошкове. У табели 5.3 приказани су резултати прорачуна.

Табела 5.3. Осетљивост уштеда у трошковима корисника (при промени равности са $IRI = 4 \text{ m/km}$ на $IRI = 2 \text{ m/km}$), World Bank, 2007

Утицај	Класа осетљивости	Параметар	Утицај (еластичност) улазних података
Висок	S-I	Цена новог возила (US\$/возилу)	0.69
Средњи	S-II	Број пређених километара током године (km)	0.20
		Животни век возила (years)	0.20
Низак	S-III	Трошкови рада на одржавању возила (US\$/cat)	0.15
		Укупна маса возила (тона)	0.09
		Цена горива (US\$/литар)	0.07
Занемарљив	S-IV	Цена новог пнеуматика (US\$/пнеуматик)	0.04
		Број путника (#)	0.04
		Надница за време запослених путника (US\$/cat)	0.03
		Надница за посаду-возаче (US\$/cat)	0.01
		Број успона и падова (#)	0.01
		Каматна стопа (%)	0.01
		Процент времена вожње по снегу (%)	0.01
		Надница за време незапослених путника (US\$/cat)	0.01
		Број часова вожње током године (часова)	-0.01
		Хоризонталан закривљеност (степени/km)	-0.01
		Процент времена вожње по влажном коловозу (%)	0.00
		Треће површине коловоза (#)	0.00
		NMT треће (#)	0.00
		Режијски трошкови (US\$/година)	0.00
		Ширина коловоза (m)	0.00
		Попречни нагиб (%)	0.00
		Цена мазива (US\$/литар)	0.00
		Надморска висина (m)	0.00
		Дубина текстуре (mm)	0.00
		Трошкови кашњења терета (US\$/cat)	0.00
		Број успона и падова (%)	0.00
		Приватна употреба возила (%)	0.00
		Ограничење брзине (km/cat)	0.00
		Спровођење ограничења брзине (#)	0.00

Студија осетљивости трошкова корисника је показала да су најзначајнији улазни подаци: (i) цена новог возила, (ii) пређена километража током године, (iii) животни век возила, (iv) трошкови одржавања возила, (v) укупна маса возила, (vi) трошкови горива, (vii) цена новог пнеуматика, (viii) број путника и (ix) цена времена путника (Archondo-Callao, 2007).

5.3 Дефинисање репрезентативног возног парка у Србији

Трошкове корисника није могуће моделирати за свако појединачно возило, па се стога примењује репрезентативни возни парк у оквиру кога се налазе возила која репрезентују по својим карактеристикама одређене категорије. Зато је први корак у поступку анализе трошкова корисника да се одреди репрезентативни возни парк, који се у последњих неколико година значајно модификовао у Србији, као резултат пост-кризног економског развоја.

Из ове анализе су искључени мотоцикли, јер они имају релативно мали удео у просечном годишњем дневном саобраћају (ППДС) на магистралној путној мрежи Србије. Како Јавно предузеће „Путеви Србије“ прикупља податке о саобраћају за шест категорија возила, то је била прва опција за примену у анализи трошкова корисника. Подаци се прикупљају за путничка возила, аутобусе и четири категорије камиона: лаки, средњи, тежак и камион са (полу)приколицом.

У неколико саобраћајних студија које су спроведене у Србији и земљама региона у последњих неколико година, возни парк са седам категорија возила је примењен у анализи. Додатну категорију возила чине лака доставна – пикап возила.

Категорије возила примењене у студији ВСЕОМ-а у Црној Гори су приказане у табели 5.4.

Табела 5.4. Репрезентативне категорије возила у Студији трошкова корисника за Црну Гору

Категорија возила	Тип возила
Путничко возило/Taxi	Volkswagen Golf CL
Ван/Пикап	Volkswagen Transporter
2-осовински камион (<3.5t носивост)	Volkswagen LT 46 Utility
2-осовински камион (3.5-10t носивости)	Mercedes Atego (2 axle)
3-осовински камион (>10t носивости)	Mercedes Atego Heavy (3 axle)
Камион са више од 3 осовине	Mercedes Acros 1848 (2 axle tractor with triple axle trailer)
Аутобус	Mercedes 303 Bus

У табели 5.5 су приказане категорије возила које су коришћене у Студији обилазнице Сарајева, изведеној од Louis Berger S.A. и Претходној студији оправданости за аутопут Тузла – река Сава, коју је урадио Институт ИПСА и Саобраћајни институт Грађевинског факултета у Сарајеву у септембру 2001. године.

Табела 5.5. Категорије возила у студији обилазнице Сарајева

Категорија возила	Тип возила
Путничко возило/Taxi	Skoda Fabia Confort 1.4
Ван/Пикап	Volkswagen T4 Kombi 2.0
Минибус	Hyundai H1
Аутобус	Neoplan Bus
2-осовински камион	MAN
3-осовински камион	MAN 27.414K 6 x 4
Камион са (полу)приколицом	Mercedes Acros 1848 (2 axle tractor with triple axle trailer)

У светлу горе наведених студија, типови возила приказани у табели 5.6. су усвојени као репрезентативни за возни парк у Србији.

Табела 5.6. Репрезентативни возни парк у Србији

Категорија возила	Тип возила
Путничко возило/Taxi	Skoda Fabia Confort 1.4 (Golf VW2 1.4)
Ван/Пикап	Volkswagen T4 Kombi 2.0
Аутобус	Neoplan Bus (FAP SANOS MVP)
2-осовински камион (<3.0t носивост)	RIVAL 40.8H
2-осовински камион (3.0-7.0t носивости)	Fiat – Zastava Turbo Zeta Z80 MAN
3-осовински камион (>7t носивости)	Mercedes 1620
Камион са (полу)приколицом	Mercedes Actros 1848

5.4 Карактеристике возила и одговарајући трошкови

За сваку категорију возила потребно је познавати специфичне информације, како би било могуће дефинисати моделе трошкова корисника. Имајући у виду резултате претходно наведених студија, у овој анализи су примењени подаци приказани у табели 5.7.

Табела 5.7. Карактеристике возног парка

Тип возила	Маса (тона)	Број точкова	ESAL	Употреба током године		Просечни век (година)	Екон. цена (€)	Цена пнеуматика (€)
				km	Радни сати			
Путничко возило	0	4	1.14	16000	500	10	16350	60.8
Лако доставно возило	0.01	4	1.50	30000	800	8	30000	75.0
Аутобус	12.6	6	1.25	70000	2000	12	160000	300
Лаки камион	2.7	6	0.03	40000	2000	14	50310	240
Средњи камион	7.0	6	0.45	40000	1200	12	55428	292
Тешки камион	14.2	10	0.80	55000	2000	14	59000	335
Камион са(полу)приколицом	30.1	18	3.95	80000	2000	14	190000	538

У анализи је примењена цена горива од 0.8 €/l (и за бензин и за дизел), цена рада на одржавању је била 7.4 € по радном сату квалификованог особља, а надница за посаду-возаче је била 6.34 € по сату.

5.5 Развој модела трошкова корисника за возни парк у Србији

Најчешће коришћена формулација поједностављених модела трошкова корисника у функцији од стања пута приказана је једначином 5.1. Такви модели подразумевају да сви основни параметри, изузев подужне равности, који утичу на трошкове корисника задржавају константне вредности током периода анализе. Стога је ова формулација изабрана и у овом раду.

$$VOC = a_0 + a_1 \cdot IRI + a_2 \cdot IRI^2 + a_3 \cdot IRI^3 \quad (5.1)$$

где је:

IRI – индекс подужне равности, m/km

a_0, a_1, a_2, a_3 – коефицијенти модела, који се одређују за одређени регион или земљу

Модели су развијени применом RED модела Светске банке (Archondo-Callao, 2004) за три категорије терена: равничарски, брдовит и планински. Основне карактеристике терена су приказане у табели 5.8. Број успона и падова и попречни нагиб коловоза су дефинисани на бази података за магистралну путну мрежу у Србији.

Табела 5.8. Карактеристике терена примењене у развоју модела трошкова корисника (Archondo-Callao, 2004)

Тип терена	Успон & пад (m/km)	Хоризонтална закривљеност (степени/km)	Број успона & падова (#/km)	Попречни нагиб коловоза (%)
Равничарски	10	50	2	2.75
Брдовит	20	150	2	2.75
Планински	40	300	2	2.75

Међутим, стварни подаци о карактеристикама деоница на магистралној путној мрежи Србије указују да се карактеристике терена крећу између оних дефинисаних за равничарски и за брдовит терен. У табели 5.9. приказане су основне карактеристике путних деоница примењене у анализи.

Табела 5.9. Карактеристике типичне путне деонице коришћене у анализи трошкова корисника

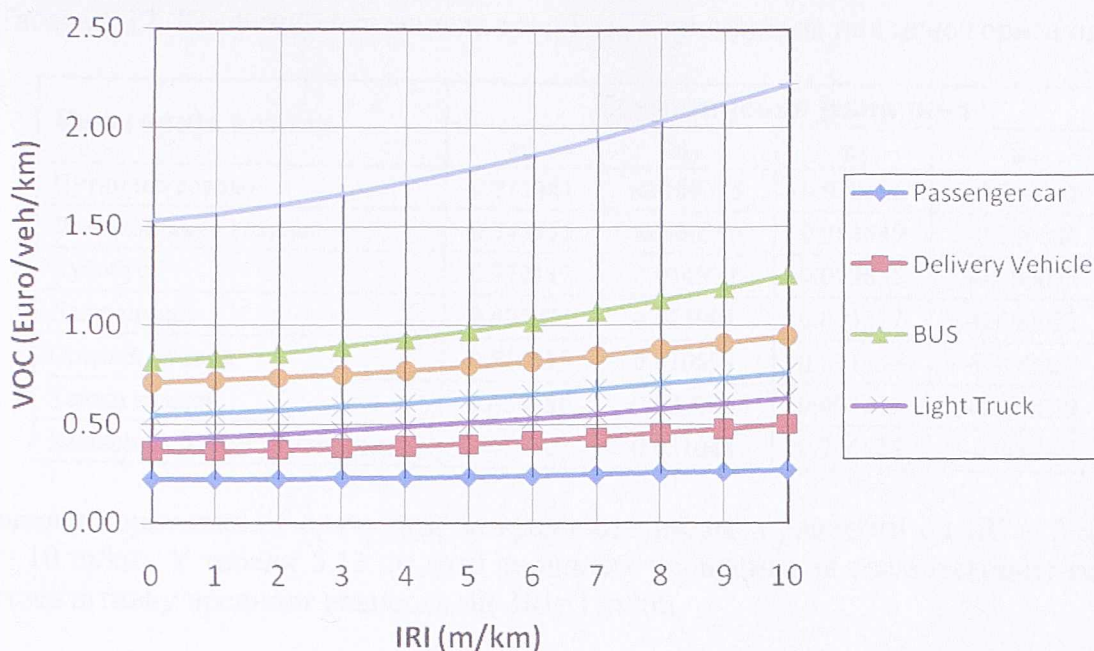
Параметар	Просечна вредност за магистралну путну мрежу у Србији	Вредност коришћена у анализи
Успон & пад (m/km)	9.25	10
Хоризонтална закривљеност (deg/km)	59.63	60
Број успона & падова (#/km)	1.89	2
Попречни нагиб (%)	2.75	2.75
Ширина коловоза (m)		7.50
Надморска висина (m)		300

Ове карактеристике су примењене за развој упрошћеног модела трошкова корисника, у складу са изразом 5.1. Коефицијенти модела 5.1. за све категорије возила су приказани у табели 5.10.

Табела 5.10. 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

На слици 5.2 приказани су модели трошкова корисника за репрезентативни возни парк у Србији, у функцији од стања пута, односно индекса равности IRI.



Слика 5.2. Трошкови корисника за различите категорије возила у функцији стања пута

5.6 Анализа утицаја цене горива

Скорашњи трендови указују да цена горива може значајно варирати у релативно кратком временском периоду. Сходно томе, у овом раду је спроведена анализа осетљивости трошкова корисника са променом цене горива. Економска цена горива примењена у основној анализи приказаној у претходним поглављима била је 0.8 €/l (и за бензин и за дизел). Како би се проценио утицај промене цене горива на трошкове корисника, додатни модели трошкова корисника су развијени за случај повећања и смањења цене горива за 20 %. Ови модели су приказани у табелама 5.11 и 5.12.

Табела 5.11. Коефицијента модела трошкова корисника за повећање цене горива за 20 %

Категорија возила	Коефицијенти једначине			
	a_0	a_1	a_2	a_3
Путничко возило	0.240304	-0.001065	0.000650	-0.000011
Лако доставно возило	0.373245	-0.001120	0.001903	-0.000040
Аутобус	0.852823	0.014309	0.003675	-0.000072
Лаки камион	0.439523	0.012084	0.001087	-0.000020
Средњи камион	0.560885	0.011370	0.001273	-0.000023
Тешки камион	0.762607	0.008303	0.001818	-0.000027
Камион са (полу) приколицом	1.591829	0.031442	0.004656	-0.000081

Табела 5.12. Коефицијенти модела трошкова корисника за пад цене горива од 20 %

Категорија возила	Коефицијенти једначина			
	a_0	a_1	a_2	a_3
Путничко возило	0.211681	-0.000335	0.000586	-0.000011
Лако доставно возило	0.343975	-0.000396	0.001849	-0.000040
Аутобус	0.777117	0.014872	0.003615	-0.000073
Лаки камион	0.405934	0.011901	0.001117	-0.000022
Средњи камион	0.516999	0.010597	0.001334	-0.000025
Тешки камион	0.658056	0.009033	0.001741	-0.000029
Камион са (полу) приколицом	1.450708	0.031645	0.004525	-0.000082

Трошкови корисника су срачунати за вредности индекса равности од $IRI = 2 \text{ m/km}$ до $IRI = 10 \text{ m/km}$. У табели 5.13 су дати трошкови корисника за све категорије возила за репрезентативну вредност равности од $IRI=3 \text{ m/km}$.

Табела 5.13. Утицај промене цене горива на трошкове корисника за типични ниво неравности од $IRI = 3 \text{ m/km}$

Категорија возила	Трошкови корисника (Euro/возило-km)		
	ОСНОВНА ЦЕНА	ОСНОВНА ЦЕНА + 20 %	ОСНОВНА ЦЕНА - 20 %
Путничко возило	0.226	0.243	0.216
Лако доставно возило	0.372	0.386	0.358
Аутобус	0.890	0.927	0.852
Лаки камион	0.468	0.485	0.451
Средњи камион	0.583	0.606	0.560
Тешки камион	0.752	0.803	0.700
Камион са (полу) приколицом	1.655	1.726	1.584

Повећање или смањење цене горива за 20 % резултира у повећању или смањењу трошкова корисника између 3.5 и 7.5 % зависно од категорије возила. Утицај промене цене горива на трошкове корисника се смањује са порастом неравности. За ниво равности од $IRI = 10 \text{ m/km}$ промена варира између 2.5 и 6.5 %.

У просеку, за све разматране нивое равности (тј. од пута у врло добром до пута у врло лошем стању, IRI од 2 m/km до 10 m/km), повећање или смањење цене горива за 20 % резултира у повећању или смањењу трошкова корисника за приближно 5 %.

Литература за 5. поглавље

- Archondo-Callao, R. (2004) "Road Economic Decision Model – Software User Guide and Case Studies," SSATP Working Paper No.78, World Bank, Washington D.C.
- Archondo-Callao, R. (2007) "Applying HDM-4 Model for Strategic Planning of Road Works," Draft Technical Paper, World Bank, Washington D.C.
- Bennet C.R. and Patterson W.D.O. (2000). HDM-4 Documentation, Volume 5, A Guide to Calibration and Adaptation, The World Road Association PIARC, Paris, France
- Bennet C.R. & Greenwood I.D. (2004). HDM-4 Documentation, Volume 7, Modeling Road User and Environmental Effects in HDM-4, The World Road Association PIARC, Paris, France
- Faiz, A. & Staffini, E. (1979). Engineering Economics of the Maintenance of Earth and Gravel Roads. *Transportation Research Record 207*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.
- PIARC (2007) "HDM-4 Road User Cost Model Documentation." Version 1.20, 2007.
- Riley, M J; Bennett, C R (1995). "Determining Maintenance and Rehabilitation Programs for Low-Volume Roads Using HDM-III: Case Study from Nepal", 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.157-169.
- Robinson R., U.Danielson and M.Snaith (1998). *Road Maintenance Management*, Palgrave, UK
- The World Bank (2007). HDM-4 Road User Cost Model Documentation, Version 1.20, World Bank, Washington, D.C.

Поглавље 6

Развој програма за анализу трошкова животног века коловоза (Life Cycle Cost Analysis Graph Tool - LCCAGT)

6.1 Увод

У оквиру ове дисертације развијен је графички програм LCCAGT за анализу трошкова животног века коловоза на нивоу пројекта и за упоређење стратегија одржања. Програм омогућава лако и једноставно упоређење између основне и пројектне стратегије одржавања и срачунава кључне економске индикаторе пројекта током анализираних периода који може бити до 40 година дуг.

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

Пројекта алтернатива обухвата до три третмана одржавања током анализираних 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 6.1).



Слика 6.1. Називи радних листова у програму LCCAGT

Четири од њих садрже текстуалне податке:

- “Guide” који садржи кратко упутство о коришћењу програма
- “Configuration” који садржи основне моделе примењене у програму
- “Data” који садржи улазне податке
- “Report” који 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.

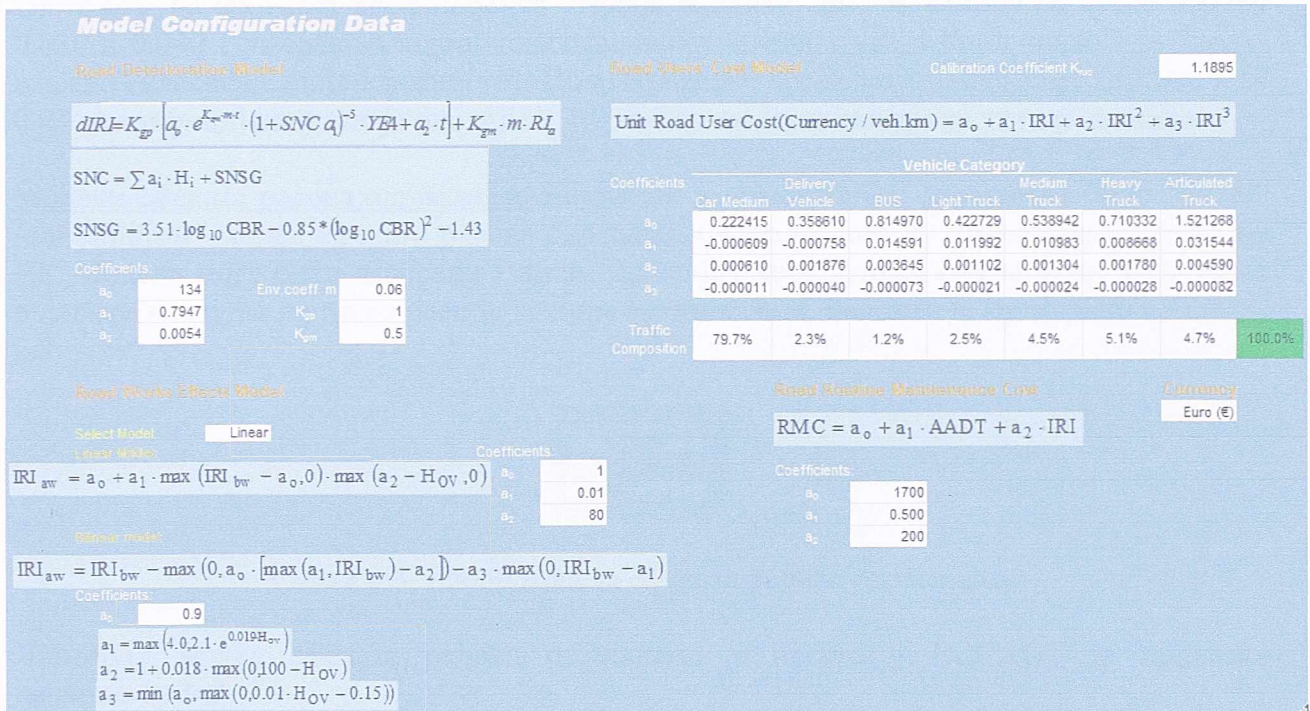
У наредним поглављима биће приказане основне карактеристике овог програма.

6.2 Конфигурациони модели

Програм LCCAGT користи следеће modele:

- 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 6.2). На овом листу се такође може дефинисати и валута која се користи за изражавање трошкова и добити у оквиру програма.



Слика 6.2. Радни лист “Configuration” програма LCCAGT

Модел пропадања коловоза. Програм LCCAGT користи упрошћен модел пропадања коловоза, развијен од стране Archondo-Callao-a (2007), и приказан у поглављу 4.

$$dIRI = K_{gp} \cdot \left(a_0 \cdot e^{K_{gm} \cdot m \cdot t} \cdot (1 + SNC \cdot a_1)^{-4} \cdot YE4 + a_2 \cdot t \right) + K_{gm} \cdot m \cdot IRI_a \quad (6.1)$$

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

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

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

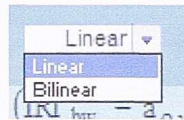
CBR - носивост постељице (%)

- YE4 - годишњи број еквивалентних стандардних осовина (милиона ESA/траци/
години)
 IRI_a - подужна равност на почетку године, (IRI, m/km)
 a₀, a₁, a₂ - коефицијенти модела, и
 K_{gp}, K_{gm} – калибрациони фактори

Корисник може специфицирати коефицијенте модела, калибрационе факторе, као и вредност коефицијента утицаја околине. Подразумевана вредност коефицијента a₀ је 134, што је идентична вредност као и у програму HDM-4. Коефицијент a₁ одражава редукцију носивости услед постојања пукотина и његова подразумевана вредност је 0.7947. Коефицијент a₂ одражава пораст равности услед присуства пукотина, колотрага и ударних рупа, и његова подразумевана вредност је 0.054.

Одговарајућа вредност коефицијента утицаја околине “m” за Србију се креће 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 “linear” или “bilinear” модел ефеката радова одржавања. Оба модела су приказана у поглављу 4.8. Модел може бити изабрани кликом на ћелију која садржи име модела, када ће се појавити падајућа листа са расположивим вредностима, као што је приказано на слици 6.3.



Слика 6.3. Избор модела ефеката радова одржавања

Линеарни модел ефеката радова одржавања у програму LCCAGT је приказан једначином 6.2

$$IRI_{aw} = a_0 + a_1 \cdot \text{MAX}(0, IRI_{bw} - a_0) \cdot \text{MAX}(0, a_2 - H_{OV}) \quad (6.2)$$

где је:

IRI_{aw} - подужна равност после радова одржавања (IRI, m/km)

IRI_{bw} - подужна равност пре радова одржавања (IRI, m/km)

H_{OV} - дебљина ојачања (mm), и

a₀, a₁, a₂ - коефицијенти модела (подразумеване вредности = 2.0, 0.01, 80 респективно)

У програму LCCAGT примењена је подразумевана вредност коефицијента a₀ од 1.0, која је сматрана репрезентативном за стандард квалитета радова одржавања који се изводе у Србији, а такође се 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 a₂ дефинише граничну дебљину ојачања до које важи ова линеарна зависност и са којом се постиже подужна равност специфицирана са a₀. За све дебљине ојачања преко граничне, равност после интервенције је идентична равности израженој коефицијентом a₀.

Билинеарни модел ефеката радова одржавања, примењен у програму LCCAGT дат је једначином 6.3.

$$\Delta IRI = \max(0, a_0 \cdot [\min(a_1, IRI_{bw}) - a_2]) + a_3 \cdot \max(0, IRI_{bw} - a_1) \quad (6.3)$$

где је:

ΔIRI – смањење равности након ојачања (m/km)

IRI_{aw} – подужна равност након ојачања (m/km)

IRI_{bw} – подужна равност пре ојачања (m/km)

a_0, a_1, a_2, a_3 – коефицијенти модела

Подразумевана вредност коефицијента a_0 је 0.9. Други коефицијенти модела се аутоматски срачунавају као функција дебљине ојачања H_{OV} (mm), применом следећих израза:

$$a_1 = \max(4.0, 2.1 \cdot e^{0.019 \cdot H_{OV}}) \quad (6.4)$$

$$a_2 = 1 + 0.018 \cdot \max(0, 100 - H_{OV}) \quad (6.5)$$

$$a_3 = \min(a_0, \max(0, 0.01 \cdot H_{OV} - 0.15)) \quad (6.6)$$

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 Heggie-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.

$$RMC = a_0 + a_1 \cdot AADT + a_2 \cdot IRI \quad (6.7)$$

где је:

RMC - трошкови редовног одржавања

AAADT - 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 6.7 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. Модели јединичних трошкови корисника (URUC) имају следећи облик:

$$URUC(\text{Euro} / \text{vehicle} - \text{km}) = a_0 + a_1 \cdot IRI + a_2 \cdot IRI^2 + a_3 \cdot IRI^3 \quad (6.8)$$

где је:

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

Развој модела трошкова корисника за типичне категорије возила у Србији је приказан у 5. поглављу. 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 6.4. Избор валуте за прорачун на радном листу “Configuration”

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

6.3 Улазни подаци

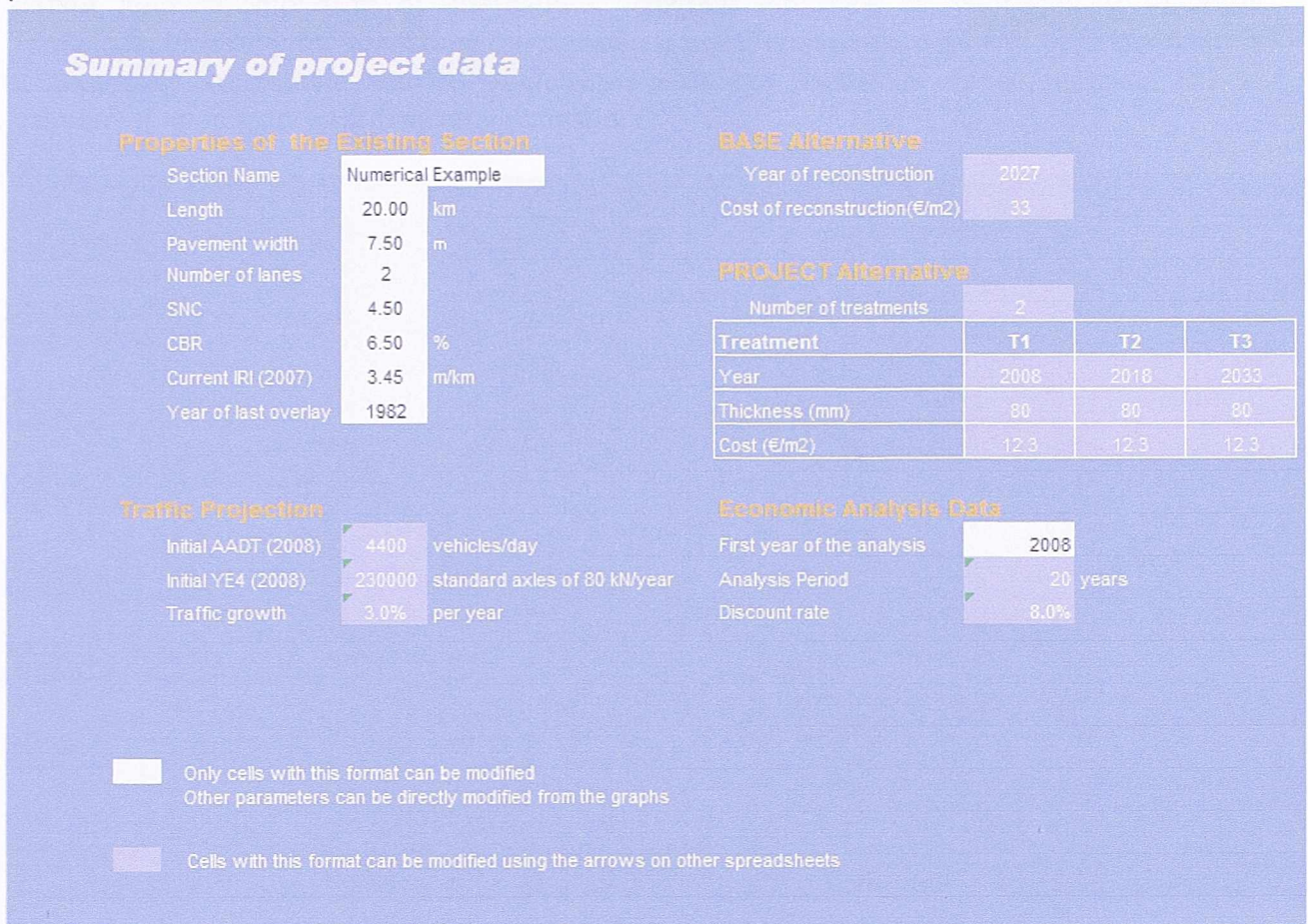
Неки од улазних параметара, попут основних карактеристика деонице и почетне године анализе могу се специфицирати на радном листу “Data” (слика 6.5).

Седамнаест кључних параметара анализе могу се једноставно помоћу графичких команди променити на „графичком“ листу “Comparison of Alternatives” (слика 6.6). За све ове параметри су дефинисани дозвољени распони вредности како би се онемогућиле грешке и осигурало да анализа има смисла.

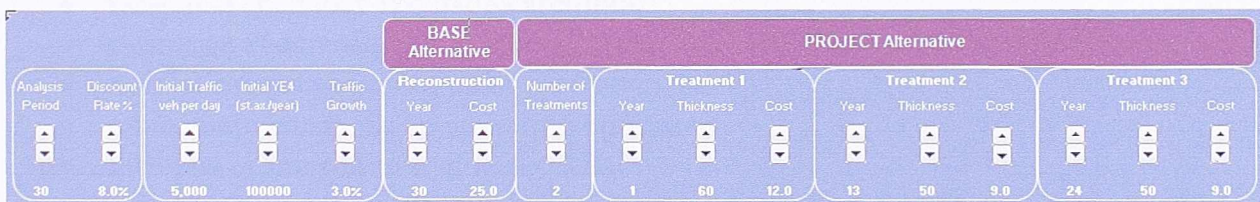
Дужина периода анализе може бити између 10 и 40 година, а дисконтна стопа може имати вредности између 0 и 12 %.

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 6.5. Радни лист “Data” програма LCCAGT



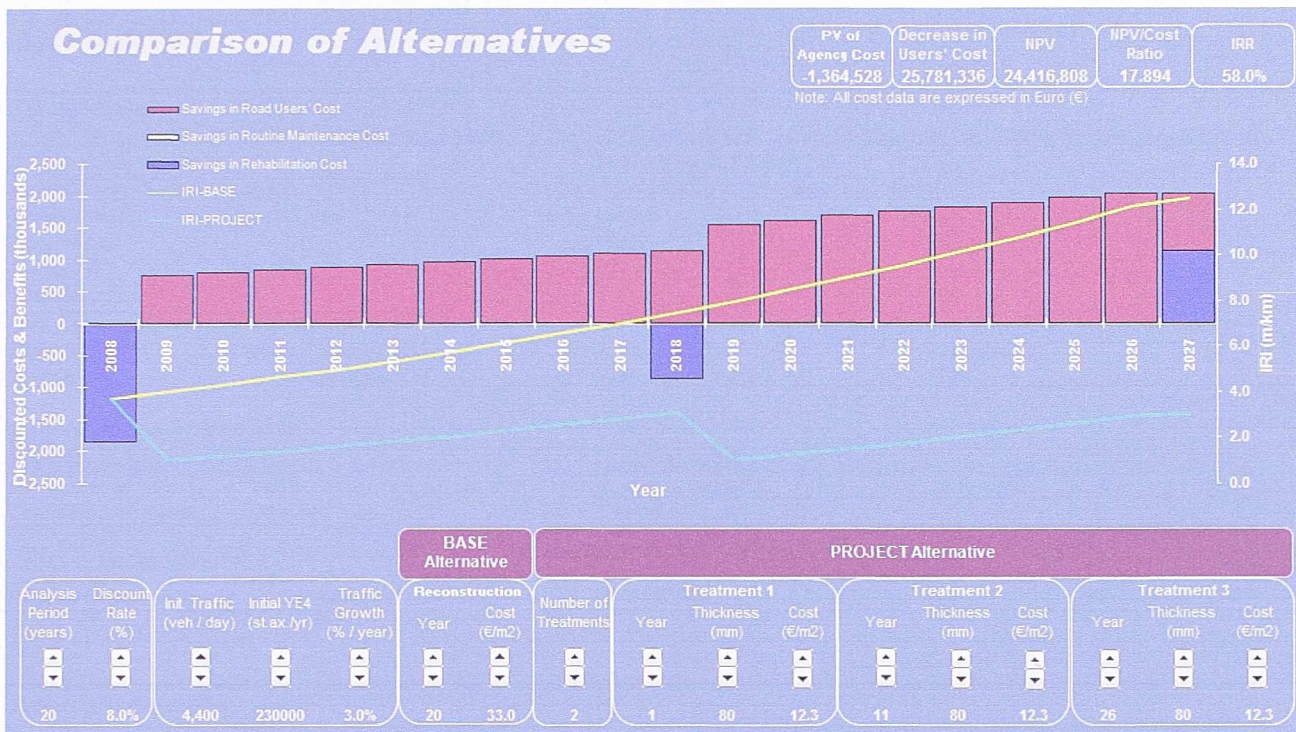
Слика 6.6. Еквилајзер који се користи за промену кључних параметара на „графичком“ радном листу

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.

6.4 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 6.7).



Слика 6.7. Радни лист “Comparison of Alternatives” програма LCCAGT

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 улазних параметара.

6.5 Радни лист „Report“

Радни лист “Report” (слика 6.8) садржи Извештај са свим улазним подацима и резултатима прорачуна за дату анализу.

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/23/2008

LCCAGT

Input Data

Basic Project Data

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)

Traffic

Initial AADT (2008)	4400 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	230000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	Numerical Example		
Length	20.00 km		
Width	7.50 m		
# of Lanes	2		
SNC	4.50		
CBR	6.50 %		
Current IRI (2007)	3.45 m/km		
Year of Last Overlay	1982		

Rehabilitation alternatives

Base Alternative

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m ²)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2033
Thickness (mm)	80	80	80
Cost (€/m ²)	12.3	12.3	12.3

Calibration Coefficients

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

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	1,937,910	13,726,394	-1,845,000	0	
2009	4,532	4.02	88,335	13,187,998	1.00	77,148	12,431,845	11,187	756,153	
2010	4,668	4.33	84,020	12,680,209	1.19	73,242	11,885,325	10,777	794,884	
2011	4,808	4.66	79,944	12,201,432	1.39	69,560	11,366,550	10,385	834,882	
2012	4,952	5.00	76,093	11,750,189	1.60	66,085	10,874,116	10,008	876,073	
2013	5,101	5.36	72,458	11,327,327	1.82	62,810	10,408,768	9,647	918,559	
2014	5,254	5.75	69,016	10,929,060	2.05	59,715	9,966,985	9,301	962,075	
2015	5,411	6.15	65,757	10,554,210	2.30	56,787	9,547,689	8,970	1,006,521	
2016	5,574	6.57	62,679	10,205,320	2.56	54,027	9,153,160	8,652	1,052,160	
2017	5,741	7.01	59,758	9,877,217	2.84	51,411	8,778,717	8,347	1,098,501	
2018	5,913	7.48	56,991	9,570,542	3.13	903,528	8,424,946	-846,537	1,145,596	
2019	6,091	7.97	54,371	9,285,584	1.00	42,421	7,739,212	11,950	1,546,373	
2020	6,273	8.48	51,881	9,018,036	1.24	40,381	7,403,243	11,500	1,614,793	
2021	6,462	9.02	49,523	8,771,108	1.49	38,455	7,086,980	11,069	1,684,128	
2022	6,655	9.58	47,279	8,539,422	1.76	36,624	6,786,081	10,656	1,753,341	
2023	6,855	10.17	45,153	8,325,807	2.03	34,893	6,502,872	10,260	1,822,935	
2024	7,061	10.79	43,132	8,127,712	2.33	33,251	6,235,374	9,881	1,892,338	
2025	7,273	11.44	41,210	7,943,978	2.63	31,693	5,982,771	9,518	1,961,207	
2026	7,491	12.12	39,383	7,773,471	2.96	30,213	5,744,305	9,170	2,029,166	
2027	7,715	12.50	1,184,312	7,520,788	3.05	28,581	5,489,136	1,155,731	2,031,652	
TOTAL			2,364,204	201,315,803		3,728,733	175,534,467	-1,364,528	25,781,336	

Net Present Value (NPV)

24,416,808 Euro (€)

Internal Rate of Return

58.01 %

Слика 6.8. Радни лист “Report” програма LCCAGT

6.6 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 6.1.

Табела 6.1. 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	D = A x 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)приколивом	205	4.7	1.59	335.49
Укупно	4400	100		630.14

Број стандардних осовина у првој години експлатације је:

$$YE4 = 630.14 \cdot 365 = 230001 \quad (6.9)$$

Подразумевана је стопа раста саобраћаја од 3 % током анализираног 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 срчунати из израза:

$$M = 0.1412 \cdot w_t + 1.05 \quad (6.10)$$

где је:

M – цена ојачања, €/mm/m²

w_t – дебљина ојачања, mm.

Основна стратегија одржавања укључује редовно одржавање током анализираног периода и реконструкцију у последњој години анализираног периода. Цена реконструкције је 33 €/m².

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 анализираног периода.

У табели 6.2. 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 анализираног 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 6.2. Резултати анализе различитих алтернатива одржавања

Алтернатива одржавања	Резултати анализе			
	Садашња вредност рошкова 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

Литература за 6. поглавље

- Archondo-Callao, R. (2007). Road Network Evaluation Tools (RONET), Version 1.0, User's Guide, The World Bank, Washington D.C.
- Heggie, I.G. (1995). Management and Financing of Roads: An Agenda for Reform. *World Bank, Technical Paper No. 275*, Washington DC: World Bank.
- 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
- 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.
- Robinson R., U.Danielson and M.Snaith (1998). Road Maintenance Management, Palgrave, UK

Поглавље 7

Студија случаја за путну мрежу Србије

7.1 Опис анализиране путне мреже

Магистрална путна мрежа Србије се састоји од 4554 km аутопутева и двотрачних путева. Највећи део утне мреже изграђен је или реконструисан у периоду између 1960 и 1980 године. Коловози су типично пројектовани за 20-то годишњи пројектни период. У периоду од 1990. до 2000. издвајања за одржавање путне мреже су била знатно редукована, што је проузроковало да је релативно велики део путне мреже у лошем стању и захтева озбиљне интервенције одржавања. Стога је још значајније ефективно управљање одржавањем путне мреже. Путна мрежа је подељена на 428 хомогене деонице које су груписане у матрицу мреже у циљу стратешке анализе. С обзиром да је изузетно мали део мреже изграђен са крутим коловозом, у овој анализи је подразумевано да све деонице на путној мери имају флексибилну коловозну конструкцију. Подаци о карактеристикама и стању мреже су добијени од ЈП „Путеви Србије“ и укључују снимања закључно са 2005. годином.

Снимање стања укључује визуелно снимање оштећења, као и мерење подужне и попречне равности. Подаци о саобраћају прикупљају се регуларно у годишњим интервалима. Нестабилна политичка ситуација у земљи и региону резултирала је у изузетно нестабилним трендовима у периоду од 1990. до 2000. године и стога су за анализу раста саобраћаја коришћени само подаци из последњих пет година.

Матрица мреже је формирана на основу стања мреже и саобраћајног оптерећења. Стање мреже је анализирано са аспекта испуцалости, попречне и подужне равности и одлучено је да се индекс подужне равности користи као композитни индикатор стања. Мрежа је подељена на четири класе у погледу равности и на шест класа у погледу саобраћајног оптерећења, као што је приказано у табели 7.1.

Табела 7.1. Матрица путне мреже Србије

ПГДС	IRI (m/km)				Укупно (km)	Процент
	<3	3 - 4.5	4.5 - 6	>6		
<2000	0	222	352	236	810	17.8
2000-4000	74	515	753	234	1575	34.6
4000-7000	268	624	327	157	1376	30.2
7000-10000	22	247	99	10	377	8.3
10000-14000	72	109	40	11	232	5.1
>14000	107	45	30	0	182	4.0
Укупно (km)	544	1762	1600	648	4554	100.0
Процент	11.9	38.7	35.1	14.2	100.0	

Највећи део путне мреже Србије има саобраћајно оптерећење између 2000 и 7000 возила на дан, док се вредност индекса подужне равности креће између 3 и 6 m/km. То

је резултат релативно лоше економске ситуације и недовољног финансирања одржавања путне мреже у претходном периоду.

Стога је изузетно значајно изабрати оптималне стратегије одржавања и рехабилитације путне мреже које ће дати највеће ефекте по будуће стање путне мреже у границама расположивих буџетских средстава.

Основне карактеристике репрезентативних деоница на нивоу мреже, које укључују њихове геометријске карактеристике и носивост, као и обим саобраћаја и стање срачунате су као пондерисане вредности на бази стварних деоница путне мреже у свакој категорији матрице и приказане су у табели 7.2.

Табела 7.2. Основне карактеристике репрезентативних деоница

ID деонице	Дужина (km)	Број трака	ПГДС	% ком. воз.	SNP	2004 IRI (m/km)
IRI1-T2	73.70	2	3488	28.9	4.02	2.80
IRI1-T3	268.41	2	5740	21.5	5.33	2.70
IRI1-T4	22.33	2	8206	16.8	5.13	2.80
IRI1-T5	34.58	2	11251	22.5	5.16	2.70
IRI1-T5A	37.18	4	11995	22.5	6.53	2.70
IRI1-T6	107.32	4	19252	16.2	6.46	2.70
IRI2-T1	222.38	2	1362	19.2	4.25	3.80
IRI2-T2	514.98	2	2897	17.8	3.53	4.05
IRI2-T3	624.27	2	5179	19.2	4.19	3.81
IRI2-T4	246.53	2	8082	18.6	4.84	4.00
IRI2-T5	108.86	4	11045	18.9	5.00	4.00
IRI2-T6	44.60	4	17780	13.3	4.79	4.00
IRI3-T1	351.90	2	1132	20.4	4.26	5.50
IRI3-T2	752.61	2	2821	19.1	3.99	5.39
IRI3-T3	326.61	2	5509	17.2	4.07	5.30
IRI3-T4	99.03	2	8402	14.7	4.69	5.20
IRI3-T5	40.41	2	11546	19.4	4.75	5.20
IRI3-T6	29.88	4	14863	26.5	4.94	4.80
IRI4-T1	236.08	2	1381	18.2	3.40	6.60
IRI4-T2	234.12	2	2667	20.1	3.47	6.50
IRI4-T3	157.07	2	5099	16.9	4.07	8.00
IRI4-T4	9.59	2	8574	13.9	5.61	7.00
IRI4-T5	11.43	2	12339	12.9	4.59	6.60

7.2 Возни парк и трошкови корисника

У табели 7.3 су приказани основни подаци о изабраним возилима у возном парку Србије. У анализи је примењена цена горива од 0.8 €/l (и за бензин и за дизел), цена рада на одржавању је била 7.4 € по радном сату квалификованог особља, а надница за посаду-возаче је била 6.34 € по сату.

Табела 7.3. Карактеристике возног парка

Тип возила	Маса (тона)	Број точкова	ESAL	Употреба током године		Просечни век (година)	Екон. цена (€)	Цена пнеуматика (€)
				km	Радни сати			
Путничко возило	0	4	1.14	16000	500	10	16350	60.8
Лако доставно возило	0.01	4	1.50	30000	800	8	30000	75.0
Аутобус	12.6	6	1.25	70000	2000	12	160000	300
Лаки камион	2.7	6	0.03	40000	2000	14	50310	240
Средњи камион	7.0	6	0.45	40000	1200	12	55428	292
Тешки камион	14.2	10	0.80	55000	2000	14	59000	335
Камион са(полу)приколицом	30.1	18	3.95	80000	2000	14	190000	538

Ове карактеристике возила су примењене за развој модела трошкова корисника, што је приказано у 5. поглављу.

7.3 Алтернативе одржавања

У овој студији су разматране алтернативе одржавања које укључују периодичне рехабилитације коловозне конструкције и редовно одржавање. Основна алтернатива укључује само редовно одржавање.

Радови редовног одржавања су укључили заливање пукотина и крпљење ударних рупа. У табели 7.4. су приказани цена, критеријуми за примену и ефекти радова редовног одржавања у програму HDM-4.

Табела 7.4. Цена, критеријуми за примену и ефекти радова редовног одржавања

Третман редовног одржавања	Економска цена (€/m ²)	Финансијска цена (€/m ²)	Критеријум за примену	Ефекти радова одржавања
Заливање пукотина	3.5	4.4	Широке структурне пукотине $\geq 5\%$	Термичке попречне пукотине и широке структурне пукотине 100%
Крпљење ударних рупа	10.8	13.5	Озбиљно оштећена површина $\geq 5\%$	Озбиљно оштећена површина 100%

Периодични радови рехабилитације обухваћени овом анализом подразумевају примену ојачања асфалт бетоном у дебљинама између 30 и 150 mm. У табели 7.5. приказане су цене ојачања примењене у анализи. У анализи се такође подразумевало да се пре извођења ојачања изводе припремни радови који се састоје из крпљења ударних рупа и поправке ивица коловоза. Цена припремних радова је приказана у табели 7.6.

Основна алтернатива се састојала једино из радова редовног одржавања. Пројектна алтернатива се састојала из једног до три ојачања, поред редовног одржавања.

Табела 7.5. Цена ојачања

Дебљина ојачања (mm)	Економска цена (€/m ²)	Финансијска цена (€/m ²)
30	5.27	6.32
40	6.68	8.02
50	8.10	9.72
60	9.51	11.41
70	10.93	13.11
80	12.34	14.81
90	13.76	16.51
100	15.17	18.21
110	16.59	19.90
120	18.00	21.60
130	19.42	23.30
140	20.83	25.00
150	22.25	26.70

Табела 7.6. Цена припремних радова

Припремни радови	Економска цена (€/m ²)	Финансијска цена (€/m ²)
Крпљење ударних рупа	10.8	13.5
Поправка ивица коловоза	15.6	19.5

7.4 Резултати анализе применом програма HDM-4

Резултати анализе на нивоу пројекта су приказани у табели 7.7. За све деонице је добијена два ојачања као оптималан број третмана.

Оптимална алтернатива одржавања за сваку деоницу је садржала третман у почетној години периода анализе. При томе, дебљина ојачања зависи од од тернутног стања коловоза, као и од нивоа саобраћајног оптерећења. Међутим, чак и на деоницама са релативно малим саобраћајним оптерећењем оптимална алтернатива одржавања подразумева примену релативно дебелог ојачања на почетку анализираних периода. Други третман је типично танко ојачање касније током анализираних периода. Ниво равности при коме се овај други третман аплицира опада са порастом саобраћајног оптерећења.

Директна имплементација оптималних алтернатива одржавања на нивоу пројекта има смисла само у случају неограниченог буџета и довела би до изузетно нехомогених захтева за улагањима у одржавање, што није уобичајена пословна политика агенција за одржавање, и не представља добру реперну вредност за поређење различитих нивоа буџета (Tsunokawa and Ul-Islam, 2007). Стога су на бази оптималних алтернатива дефинисаних за ниво пројекта за деонице у различитом стању и са приближно једнаким саобраћајним оптерећењем дефинисане оптималне стратегије одржавања на нивоу мреже, које су приказане у табели 7.8. Стратешка анализа на нивоу мреже је спроведена за двадесетогодишњи период анализе, почев од 2008.

Табела 7.7. Оптимални третмани одржавања на нивоу пројекта

Категорија IRI	Категорија саобраћаја	1. ојачање			2. ојачање		
		Година	IRI (m/km)	Дебљина (cm)	Година	IRI (m/km)	Дебљина (cm)
2	1 (ПГДС < 2000)	2008	4.04	4	2016	3.22	3
3		2008	5.85	6	2020	3.35	3
4		2008	6.98	7	2020	3.17	3
1	2 (2000 < ПГДС < 4000)	2008	3.02	3	2015	2.87	5
2		2008	4.33	5	2016	3.03	4
3		2008	5.72	7	2019	2.75	3
4		2008	6.83	7	2019	2.85	3
1	3 (4000 < ПГДС < 7000)	2008	2.85	3	2017	2.94	3
2		2008	4.06	6	2017	2.61	3
3		2008	5.65	8	2020	2.65	3
4		2008	8.44	8	2014	2.23	3
1	4 (7000 < ПГДС < 10000)	2008	2.93	3	2016	2.77	4
2		2008	4.24	8	2020	2.12	3
3		2008	5.52	8	2018	1.85	3
4		2008	7.35	9	2016	2.14	3
1	5 (10000 < ПГДС < 14000)	2008	2.87	8	2019	1.91	3
2		2008	4.25	8	2023	2.23	3
3		2008	5.55	8	2022	2.20	3
4		2008	6.85	8	2021	1.87	3
1	6 (ПГДС > 14000)	2009	3.00	5	2021	2.76	3
2		2008	4.25	8	2023	2.16	3
3		2008	5.07	8	2021	2.02	4

Један од проблема приликом спровођења анализе на нивоу пројекта уз матрични приступ јесте што се могу добити деонице врло велике дужине које могу захтевати третмане чија цена превазилази годишњи буџет за одржавање, или је врло тешко комбиновати их са третманима на другим деоницама, а да трошкови остану у оквиру буџета. Стога су у овој анализи дугачке деонице подељене на већи број кратких деоница дужине до приближно 50 km како би се боље уклопиле у буџетска ограничења.

Анализа је спроведена за различите нивое буџета, како би се врндовао утицај буџетских ограничења и одлагања радова одржавања на стање путне мреже у целини у укупне трошкове одржавања. Алтернативе одржавања одржавања у случају буџетских ограничења су изведене из оптималних алтернатива приказаних у табели 7.8 узимајући у обзир додатно пропадање коловоза услед одлагања радова.

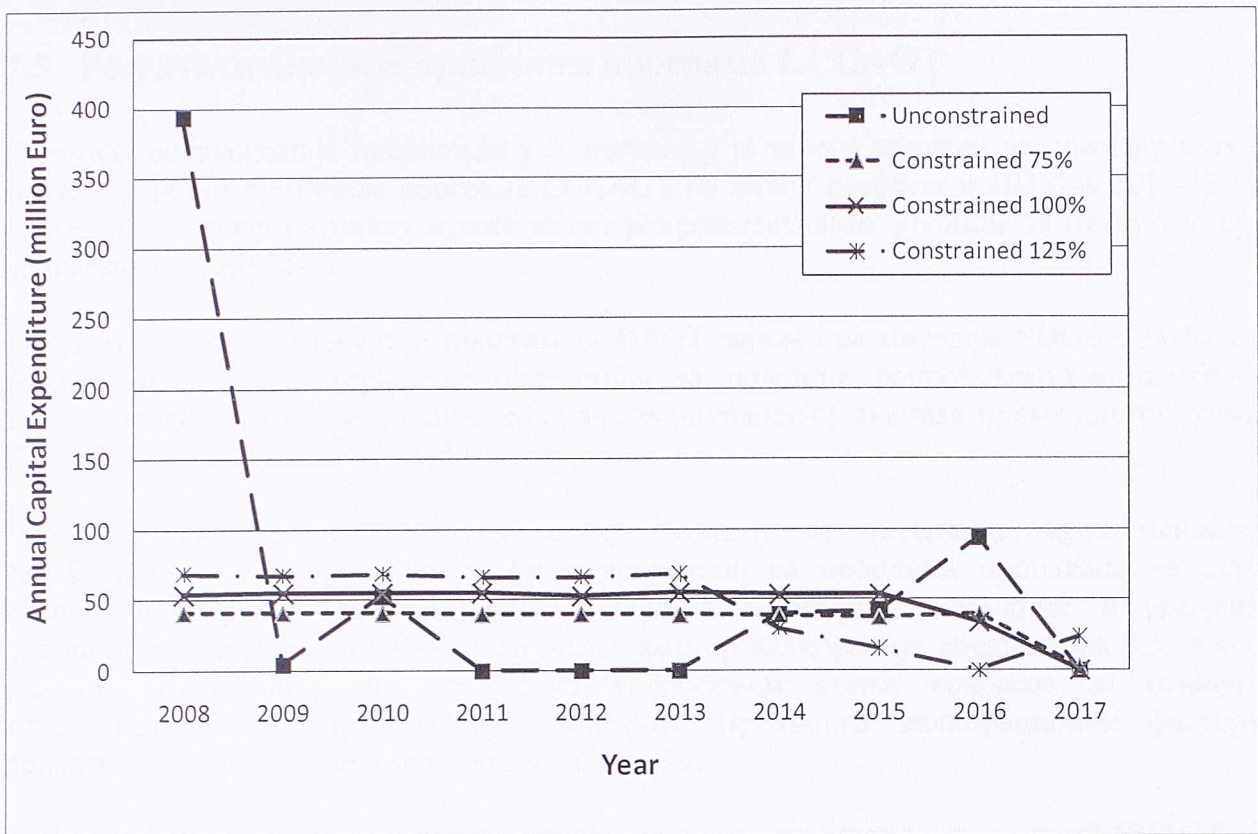
У анализи су обухваћена три нивоа буџетских ограничења, који су добијени као 75%, 100% и 125% од укупних потреба у случају неограниченог буџета, упросечених током 20-то годишњег периода анализе. Анализа је урађена програмом ЕВМ-32, и како он може истовремено да обрађује само 12 буџетских периода, годишњи буџети су дефинисани за првих 10 година, а укупни буџет за других 10 година је дефинисан као буџет за 11. буџетски период.

Табела 7.8. Алтернативе одржавања за стратешки ниво анализе

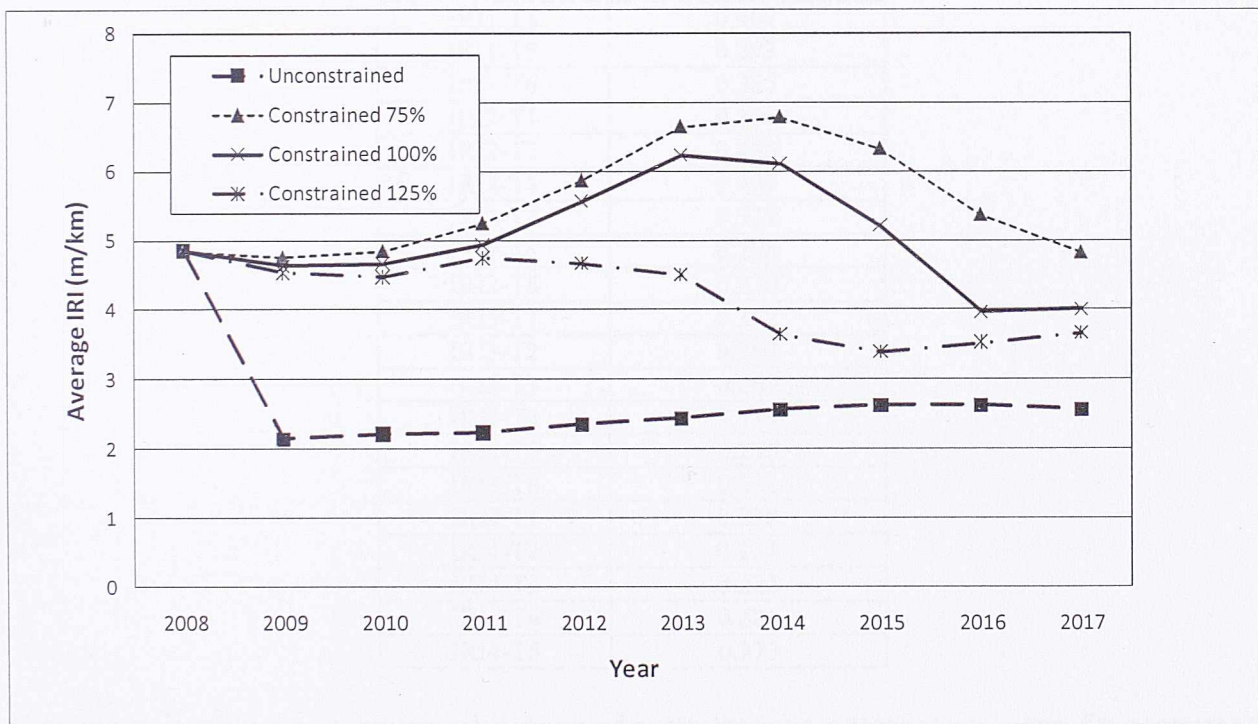
Категорија саобраћаја	Алтернативе одржавања
1 (ПГДС < 2000)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основна алтернатива 2. Ојачање 40 mm @ IRI = 4.0 – 5.5 m/km од 2008 до 2015 Ојачање 30 mm @ IRI = 3.25 m/km од 2016 3. Ојачање 60 mm @ IRI = 5.5 – 6.5 m/km од 2008 до 2015 Ојачање 30 mm @ IRI = 3.25 m/km од 2016 4. Ојачање 70 mm @ IRI ≥ 6.5 m/km од 2008 до 2015 Ојачање 30 mm @ IRI = 3.25 m/km од 2016
2 (2000 < ПГДС < 4000)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основна алтернатива 2. Ојачање 30 mm @ IRI = 3.0 – 4.0 m/km од 2008 до 2014 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.9 m/km од 2015 3. Ојачање 50 mm @ IRI = 4.0 – 5.5 m/km од 2008 до 2014 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.9 m/km од 2015 4. Ојачање 70 mm @ IRI ≥ 5.5 m/km од 2008 до 2014 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.9 m/km од 2015
3 (4000 < ПГДС < 7000)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основна алтернатива 2. Ојачање 30 mm @ IRI = 2.8 – 3.8 m/km од 2008 до 2013 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.6 m/km од 2014 3. Ојачање 60 mm @ IRI = 3.8 – 5.5 m/km од 2008 до 2013 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.6 m/km од 2014 4. Ојачање 80 mm @ IRI ≥ 5.5 m/km од 2008 до 2013 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.6 m/km од 2014
4 (7000 < ПГДС < 10000)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основна алтернатива 2. Ојачање 30 mm @ IRI = 2.9 – 3.8 m/km од 2008 до 2015 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.2 m/km од 2016 3. Ојачање 80 mm @ IRI = 3.8 – 6.5 m/km од 2008 до 2015 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.2 m/km од 2016 4. Ојачање 90 mm @ IRI ≥ 6.5 m/km од 2008 до 2015 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.2 m/km од 2016
5 (10000 < ПГДС < 14000)	<ol style="list-style-type: none"> 5. Основна алтернатива 6. Ојачање 80 mm @ IRI ≥ 2.9 m/km од 2008 до 2017 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.0 m/km од 2018
6 (ПГДС > 14000)	<ol style="list-style-type: none"> 7. Основна алтернатива 8. Ојачање 50 mm @ IRI = 3.0 – 4.0 m/km од 2008-2020 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.3 m/km од 2021 9. Ојачање 80 mm @ IRI ≥ 4.0 m/km од 2008-2020 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.3 m/km од 2021

На слици 7.1 приказано је упоређење годишњих трошкова за неограничен буџет, као и за три ограничена буџета. Просечно стање путне мреже за различите буџете је приказано на слици 7.2. С обзиром да постоји велики заостатак радова на путној мрежи, анализа показује да су потребна велика улагања у наредних 10 година како би се поправило њено стање.

Слика 7.2 такође показује да се при ограниченим буџетима стање мреже асимптотски приближава вредности од IRI = 4 m/km која представља одрживо стање за расположива средства за одржавање путне мреже. Разлике у годишњим буџетима највише утичу на начин и брзину достизања тог стања.



Слика 7.1. Упоредње годишњих трошкова за одржавање у случају неограниченог и ограничених буџета за одржавање



Слика 7.2. Упоредње вредности индекса равности IRI на путној мрежи за различите сценарије буџета

7.5 Резултати анализе применом програма LCCAGT

Поступак оптимизације предложен у 3. поглављу је такође испитан на примеру путне мреже у Србији применом програма LCCAGT на нивоу пројекта и HDM-4/EVM-32 за стратешку анализу на нивоу мреже за сет репрезентативних деоница за путну мрежу, приказаних у табели 7.2.

У првом кораку примењен је програм LCCAGT заједно са методом SDGSA да би се добиле оптималне алтернативе одржавања за поједине репрезентативне деонице. Улазни подаци су били идентични са онима коришћеним у анализи применом програма HDM-4, који су приказани у табели 7.4.

Модели пропадања коловоза за сваку деоницу су подешени кроз примену калибрационих фактора како би били упоредиви са моделима пропадања за исте деонице примењених у програму HDM-4. За коефицијент утицаја околине “m” усвојена је константна вредност од 0.06, а за његов фактор калибрације вредност од 0.5 за све деонице. Калибрација је спроведена упоређењем стања коловоза за основну алтернативу и сет пројектних алтернатива. Вредности калибрационих фактора примењених у анализи су приказане у табели 7.9.

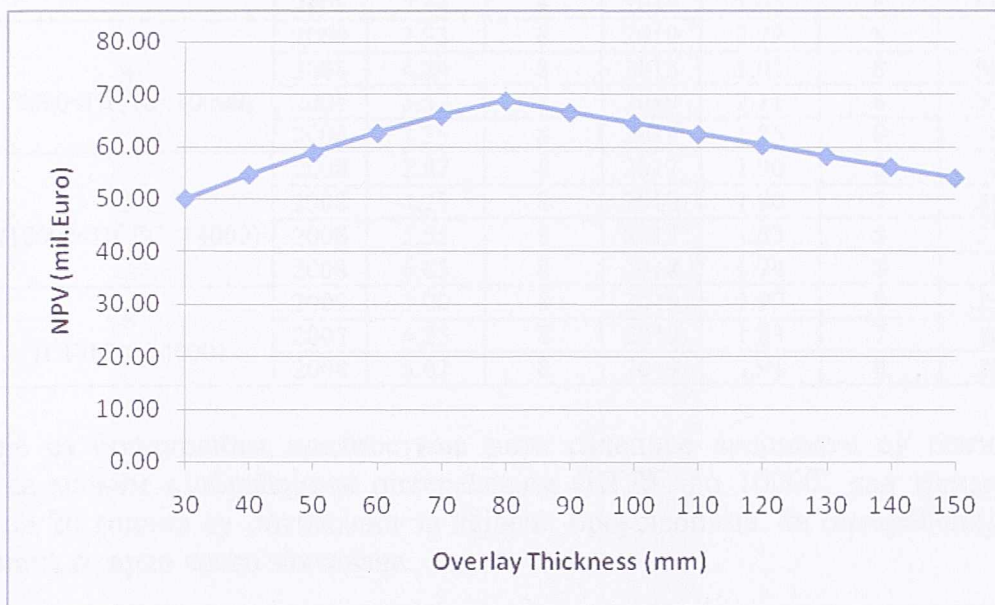
Табела 7.9. Коефицијенти калибрације за равност примењени у програму LCCAGT

ID деонице	K_{gp}
IRI1-T2	0.335
IRI1-T3	0.532
IRI1-T4	0.467
IRI1-T5	0.293
IRI1-T6	0.285
IRI2-T1	0.396
IRI2-T2	0.486
IRI2-T3	0.497
IRI2-T4	0.332
IRI2-T5	0.296
IRI2-T6	0.220
IRI3-T1	0.362
IRI3-T2	0.267
IRI3-T3	0.263
IRI3-T4	0.319
IRI3-T5	0.236
IRI3-T6	0.632
IRI4-T1	0.238
IRI4-T2	0.231
IRI4-T3	0.225
IRI4-T4	0.681
IRI4-T5	0.273

У анализи је примењен линеарни модел ефеката радова одржавања, како би резултати били упоредиви са онима добијеним програмом HDM-4.

У анализи су такође примењени упрошћени модели трошкова корисника, чији је развој приказан у 5. поглављу. Сви остали параметри анализе задржали су своје вредности, као и у анализи приказаној у поглављу 7.4.

Анализа је спроведена за један, два и три третмана рехабилитације за сваку репрезентативну деоницу током периода од 20 година. Уколико се разматра примена само једног ојачања током анализираниог периода, за све деонице се добија као оптимално решење наношење ојачања од 8 cm у првој години анализе (2008). Ово је конзистентно са налазима Darter-а и осталих (1985) да оптимална стратегија укључује релативно дебело ојачање или реконструкцију на почетку анализираниог периода који би довео до најбољег могућег стања коловоза. Треба имати у виду да модел ефеката радова одржавања подразумева линеарну промену стања након интервенције у функцији од дебљине ојачања за дебљине до 80 mm, и то је разлог зашто је ова дебљина добијена као оптимална за све деонице. За дебљине ојачања изнад 80 mm нема ефеката у погледу боље равности, па се то осликава и у дијаграму зависности нето садашње вредности користи од интензитета интервенције, који је приказан на дијаграму 7.3 за деоницу IRI2-T1. То је конзистентно и са тврдњом Ouyang-а и Madanat-а (2004) да дебље ојачање не може бити оптимално.



Слика 7.3. Промена нето садашње вредности у функцији од дебљине ојачања за деоницу IRI2-T1 (једно ојачање током периода анализе, изведено у 2008)

Међутим, алтернативе са једним ојачањем су се показале као инфериорне у свим случајевима, док је примена два или три третмана током периода анализе била много ефикаснија. У табели 7.10. су приказани време примене, дебљина ојачања и нето садашња вредност у случају два третмана током анализираниог периода, а у табели 7.11 су дати исти подаци, али за алтернативе са три третмана.

Табела 7.10. Оптималне алтернативе одржавања на нивоу пројекта добијене програмом LCCAGT са два ојачања током анализираниог периода

Категорија IRI	Категорија саобраћаја	1. ојачање			2. ојачање			Нето садашња вредност (mil. €)
		Год.	IRI (m/km)	Дебљ. (cm)	Год.	IRI (m/km)	Дебљ. (cm)	
2	1 (ПГДС < 2000)	2008	4.04	8	2020	2.41	3	69,189,999
3		2008	5.85	8	2021	2.23	3	170,247,219
4		2008	6.98	8	2020	2.14	3	229,650,632
1	2 (2000<ПГДС<4000)	2008	3.02	8	2018	1.95	8	85,777,683
2		2008	4.33	8	2019	2.55	8	411,943,343
3		2008	5.72	8	2019	2.06	5	921,681,500
4		2008	6.83	8	2019	1.92	3	373,025,195
1	3 (4000<ПГДС<7000)	2008	2.85	8	2019	1.88	8	248,264,885
2		2008	4.06	8	2018	2.39	8	1,178,403,060
3		2008	5.65	8	2018	1.95	8	763,549,705
4		2008	8.44	8	2019	1.93	8	601,969,325
1	4 (7000<ПГДС<10000)	2008	2.93	8	2019	1.79	8	22,230,781
2		2008	4.24	8	2018	2,01	8	587,944,095
3		2008	5.52	8	2019	2.11	8	312,037,552
4		2008	7.35	8	2019	1.85	8	43,236,521
1	5 (10000<ПГДС<14000)	2008	2.87	8	2017	1.80	8	85,831,781
2		2008	4.25	8	2019	1.90	3	315,223,063
3		2008	5.55	8	2018	1.83	8	219,743,458
4		2008	6.85	8	2018	1.74	8	67,611,800
1	6 (ПГДС > 14000)	2009	3.00	8	2019	1.97	8	252,882,162
2		2008	4.25	8	2019	1.83	7	169,197,432
3		2008	5.07	8	2019	1.91	8	221,162,074

Стратегије са болдираним вредностима нето садашње вредности су оптималне. За деонице са мањим саобраћајним оптерећењем (ПГДС до 10000) два третмана током периода од 20 година су оптимална за највећи број деоница. За оптерећеније деонице три третмана се врло често захтевана.

Прво ојачање за све деонице је ојачање од 80 mm у првој години анализе. Дебљина другог ојачања варира између 30 и 80 mm. За деонице са најмањим саобраћајним оптерећењем оно је 30 mm, док је за оне са већим оптерећењем оно углавном 80 mm, најчешће због ограничења модела ефеката радова одржавања, као што је раније приказано.

Треће ојачање је било дебљине 30 mm за све деонице. Основни разлог за то је близина краја анализираниог периода.

Табела 7.1.1. Оптималне алтернативе одржавања на нивоу пројекта добијене програмом LCCAGT са три ојачања током анализираних периода

Категорија IRI	Категорија саобраћаја	1. ојачање			2. ојачање			3. ојачање			Нето садашња вредност (mil. €)
		Год.	IRI (m/km)	Дебљ. (cm)	Год.	IRI (m/km)	Дебљ. (cm)	Год.	IRI (m/km)	Дебљ. (cm)	
2	1 (ПГДС < 2000)	2008	4.04	8	2020	2.41	8	2025	1.53	3	65,527,697
3		2008	5.85	8	2020	2.09	3	2024	1.91	3	168,147,775
4		2008	6.98	8	2019	2.01	3	2023	1.86	3	228,267,353
1		2008	3.02	8	2017	1.82	8	2022	1.42	3	85,911,040
2	2 (2000 < ПГДС < 4000)	2008	4.33	8	2018	2.37	8	2023	1.65	3	409,353,758
3		2008	5.72	8	2017	1.81	3	2022	1.87	3	921,467,665
4		2008	6.83	8	2018	1.80	3	2022	1.71	3	372,586,939
1		2008	5.85	8	2018	1.77	8	2024	1.51	3	246,311,826
2	3 (4000 < ПГДС < 7000)	2008	4.06	8	2017	2.20	8	2022	1.62	3	1,181,202,126
3		2008	5.65	8	2017	1.83	8	2023	1.54	3	762,720,509
4		2008	8.44	8	2017	1.71	3	2021	1.66	3	601,736,552
1		2008	2.93	8	2018	1.69	8	2023	1.35	3	22,193,462
2	4 (7000 < ПГДС < 10000)	2008	4.24	8	2017	1.87	8	2022	1.45	3	587,817,992
3		2008	5.52	8	2018	1.97	8	2023	1.45	3	312,196,417
4		2008	7.35	8	2018	1.73	8	2023	1.41	3	43,229,909
1		2008	2.87	8	2016	1.68	8	2022	1.51	3	86,613,593
2	5 (10000 < ПГДС < 14000)	2008	4.25	8	2018	1.79	3	2022	1.70	3	315,070,641
3		2008	5.55	8	2017	1.72	8	2022	1.37	3	219,862,739
4		2008	6.85	8	2017	1.64	8	2022	1.34	3	67,634,012
1		2008	3.00	8	2018	1.85	8	2023	1.40	3	251,861,624
2	6 (ПГДС > 14000)	2008	4.25	8	2017	1.63	3	2021	1.59	3	169,198,612
3		2008	5.07	8	2018	1.78	8	2023	1.41	3	221,145,707

Како би се добиле оптималне стратегије одржавања на нивоу мреже, анализа базирана на матрици мреже је спроведена применом програма HDM-4/EVM-32 за 20-то годишњи пројектни период, почевши од 2008. Слично као и у претходном случају, дугачке деонице су подељене на низ краћих, дужине око 50 km, како би могао да се што боље искористи годишњи буџет. Сет одговарајућих стратегија одржавања је развијен на основу оптималних алтернатива одржавања за репрезентативне деонице и приказан је у табели 7.12.

Табела 7.12. Алтернативе одржавања за стратешки ниво анализе

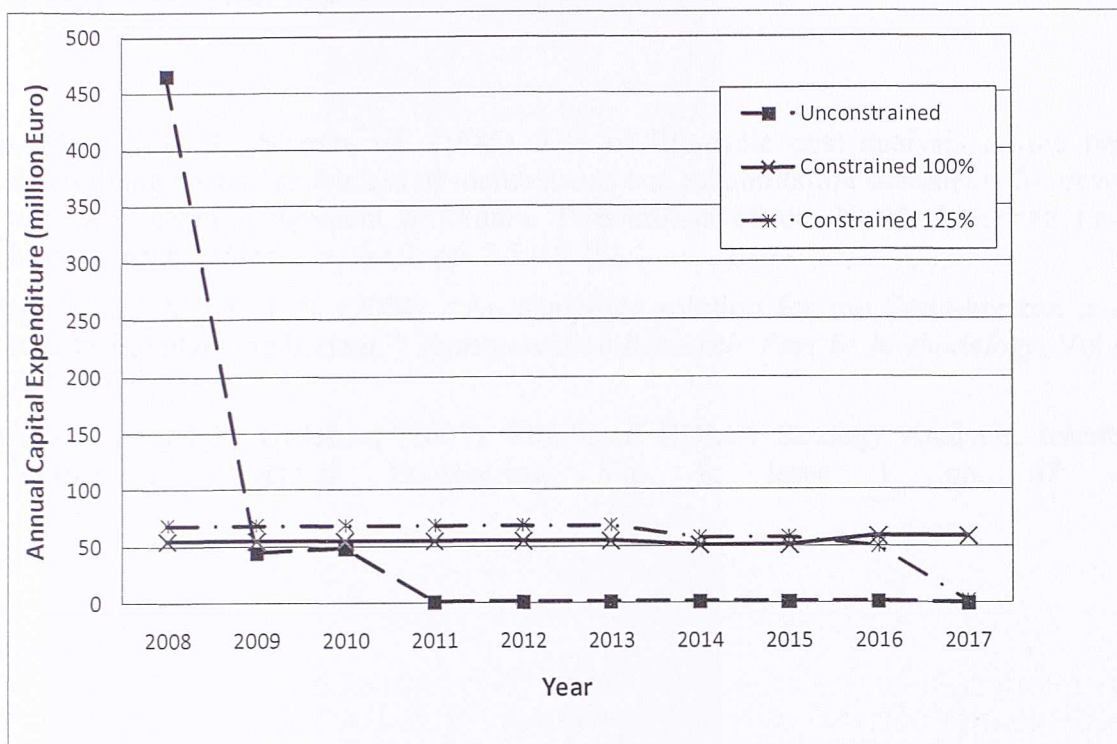
Категорија саобраћаја	Алтернативе одржавања
1 (ПГДС < 2000)	1. Основна алтернатива 2. Ојачање 80 mm @ IRI = 4.0 – 7.5 m/km од 2008 до 2019 Ојачање 30 mm @ IRI = 2.26 m/km од 2020
2 (2000 < ПГДС < 4000)	3. Основна алтернатива 1. Ојачање 80 mm @ IRI = 3.0 – 7.5 m/km од 2008 до 2018 Ојачање 50 mm @ IRI = 2.1 m/km од 2019
3 (4000 < ПГДС < 7000)	4. Основна алтернатива 1. Ојачање 80 mm @ IRI = 2.8 – 7.5 m/km од 2008 до 2017 Ојачање 80 mm @ IRI = 2.0 m/km од 2018 Ојачање 30 mm @ IRI = 1.6 m/km од 2022
4 (7000 < ПГДС < 10000)	5. Основна алтернатива 1. Ојачање 80 mm @ IRI = 2.9 – 7.5 m/km од 2008 до 2017 Ојачање 80 mm @ IRI = 1.9 m/km од 2018 Ојачање 30 mm @ IRI = 1.5 m/km од 2023
5 (10000 < ПГДС < 14000)	6. Основна алтернатива 1. Ојачање 80 mm @ IRI = 2.9 – 7.5 m/km од 2008 до 2016 Ојачање 80 mm @ IRI = 1.7 m/km од 2017 Ојачање 30 mm @ IRI = 1.5 m/km од 2022
6 (ПГДС > 14000)	7. Основна алтернатива 1. Ојачање 80 mm @ IRI = 3.0 – 7.5 m/km од 2008 до 2016 Ојачање 80 mm @ IRI = 1.7 m/km од 2017 Ојачање 30 mm @ IRI = 1.45 m/km од 2022

Укупна потребна средства за одржавање у случају неограниченог буџета за 20-то годишњи период су релативно слична суми добијеној приликом анализе програмом HDM-4 (1060 мил. Еура у поређењу са 1081 мил. Еура). Стога су у анализи примењена иста три сценарија са буџетским ограничењима. Алтернативе одржавања за ове сценарије су изведене из оптималних алтернатива и приказане су у табели 7.12 узимајући у обзир и додатно пропадање услед одлагања третмана одржавања.

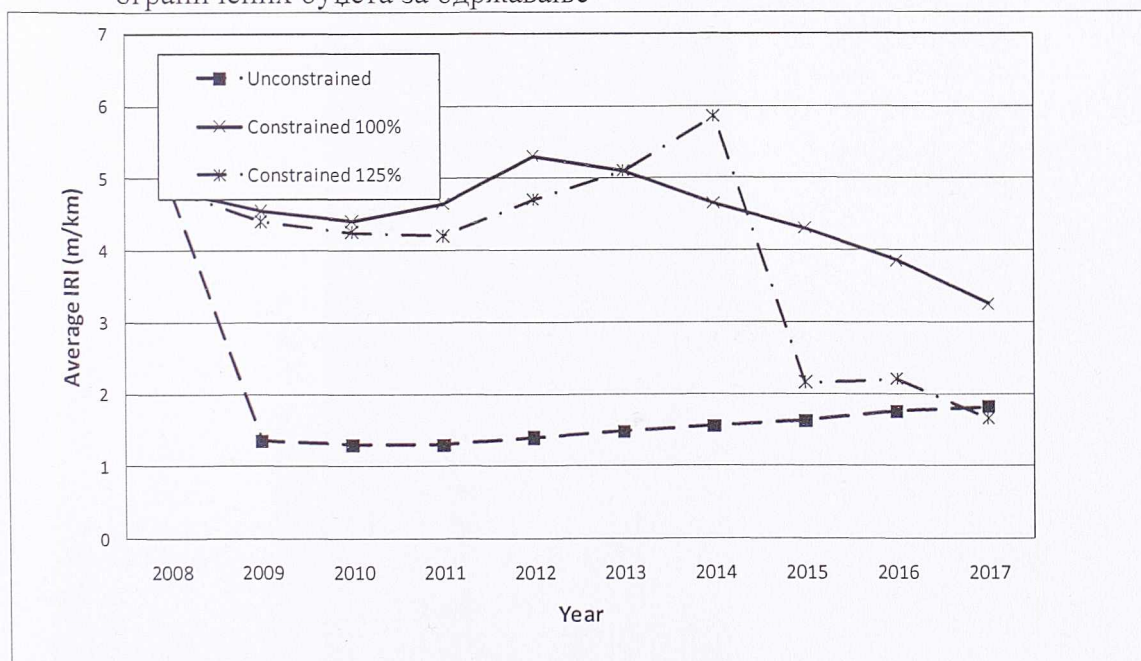
На слици 7.4 је приказано упоређење годишњих трошкова за неограничен буџет и два ограничена буџета. Просечно стање путне мреже је приказано на слици 7.5. Слично као и у случају анализе приказане у поглављу 7.4, због великог заостатка радова одржавања на нивоу мреже, потребно је значајно улагање у рехабилитацију путне мреже у наредних десет година како би се њено стање поправило.

На основу слике 7.5. се може закључити да се у случају буџетских ограничења стање мреже приближава стању израженом преко индекса равности IRI = 2-3 m/km, што је боље од оног добијеног у анализи у поглављу 7.4. (IRI = 4 m/km). То стање представља одрживо

стање путне мреже Србије за расположива буџетска средства. Разлике у годишњим буџетима углавном утичу на начин и брзину којом се стиже до одрживог стања мреже.



Слика 7.4. Упоређење годишњих трошкова за одржавање у случају неограниченог и ограничених буџета за одржавање



Слика 7.5. Упоређење вредности индекса равности IRI на путној мрежи за различите сценарије буџета

Литература за 7. поглавље

- Darter, M., Smith, R., Shahin, M. (1985). Use of life-cycle cost analysis as the basis for determining cost-effectiveness of maintenance and rehabilitation treatments for developing a network-level assignment procedure. Proceedings of the North American Pavement Management Conference, vol.2, pp. 7.5 – 7.18.,
- Ouyang, Y. and Madanat, S. (2004). “An analytical solution for the finite-horizon pavement resurfacing planning horizon”, *Transportation Research, Part B: Methodology*, Vol.40, pp. 767–778.
- Tsunokawa, K. and R. Ul-Islam, (2007). Pitfalls of HDM-4 Strategy Analysis, *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 8, Issue 1, pp. 67 – 77.

Поглавље 8

Закључна разматрања и препоруке за даљи рад

8.1 Закључна разматрања

Приказано истраживање обухвата развој програма за анализу трошкова током животног века коловоза LCCAGT, који се може применити за анализу оптималних пројеката на нивоу пројекта. Поред тога развијена је и методологија хармонизације управљања одржавањем на нивоу пројекта и на нивоу мреже.

На почетку истраживања извршен је детаљан преглед литературе који је обухватио и моделе пропадања и моделе трошкова корисника, као и оптимизационе поступке примењене у системима за управљање одржавањем коловоза.

У раду су вредновани модели пропадања коловоза различитих нивоа комплексности и закључено је да би примена модела из програма HDM-4 била оптимална. Њихова основна предност је што су свеобухватни и укључују сва доминантна оштећења на флексибилним коловозима, као и то да могу бити калибрисани на локалне услове. Међутим, због њихове комплексности, они се могу тешко уклопити у поједностављен модел, какав је LCCAGT који је развијен у оквиру овог истраживања. Стога је одлучено да се примени поједностављен модел пропадања коловоза који представља промену равности у зависности од саобраћајног оптерећења, носивости коловоза, утицаја околине и времена. Показано је да се вредности равности прогнозиране са два модела врло добро слажу. Примењени модел такође може бити калибрисан, и та могућност је примењена и у програму LCCAGT.

Модел трошкова корисника садржани у програму HDM-4 су још комплекснији од модела пропадања и било је потребно развити упрошћене моделе за сваку категорију возила која ће бити примењена у LCCAGT. Модел је развијен на основу карактеристика најзаступљенијих возила за сваку категорију у возном парку у Србији. Како је један од најзначајнијих улазних параметара у овим моделима цена горива, која изузетно пуно флукутира у последње време, спроведена је и анализа осетљивости модела с обзиром на цену горива. Закључено је да у просеку, за све разматране нивое равности (IRI од 2 m/km до 10 m/km), промена цене горива од 20 % резултује у промени трошкова корисника за приближно 5 %.

На основу претходно описаних модела развијен је програм LCCAGT у окружењу MS Excel применом програмског језика Visual Basic for Applications (VBA). Модел је кориснички оријентисан и омогућава једноставну и брзу анализу алтернатива одржавања на нивоу

пројекта. С обзиром на своју једноставност, програм је нарочито погодан за анализу осетљивости одговарајуће алтернативе услед промена једног или више улазних параметара.

Преглед различитих оптимизационих модела који се примењују у системима за управљање одржавањем коловозних конструкција на нивоу мреже и на нивоу пројекта је показао да су многи од њих развијени само за поједине сегменте процеса управљања, или да нису довољно робустни како би избегли локалне минимуме. У овој фази је одлучено да се примени метод градијента са најбржим падом (SDGSA), који са једне стране обухвата целокупан процес управљања, од почетног стања до постизања одрживог стања, укључујући и одржавање тог стања.

У раду је такође развијена и методологија хармонизације одлучивања на нивоу пројекта и на нивоу мреже, са циљем да се развију оптималне стратегије одржавања на нивоу мреже у условима различитих буџетских окружења. У овој дисертацији ова методологија је примењена и у циљу валидације модела LCCAGT. Поступак се састоји из две фазе. У првој фази врши се анализа на нивоу пројекта за карактеристичне деонице путне мреже добијене статистичком анализом података о свим деоницама и њиховим груписањем у погледу стања коловоза и саобраћајног оптерећења. За одређивање оптималне стратегије користи се градијентни метод са најбржим падом. Резултат прве фазе се користи да се дефинишу стратегије одржавања на нивоу мреже и затим је примењен Expenditure Budgeting Model (EBM) програма HDM-4. Примена ове методологије и програма LCCAGT и HDM-4 је илустрована на путној мрежи Србије.

Упоређење два сета резултата је показало да резултати добијени програмом LCCAGT дају сличне резултате као и програм HDM-4. Неке разлике између програма LCCAGT и HDM-4 су објашњене у дисертацији у светлу различитог моделовања пропадања коловозне конструкције. Поред тога програм LCCAGT је приступачнији и лакши за употребу и омогућава брзу анализу и вредновање алтернатива одржавања.

8.2 Препоруке за даљи рад

Програм LCCAGT који је развијен у оквиру овог истраживања пружа пуно могућности за даљи истраживачки рад. У овом поглављу биће поменуте само неке од њих.

Тренутно, пројектна алтернатива може садржати до три третмана ојачања током анализираних периода. У будућности би било потребно развити опцију са неограниченим бројем различитих третмана, који би укључили и превентивно одржавање, стругање са ојачањем или реконструкцију, поред класичног ојачања. То се може урадити са увођењем додатног кода за тип третмана за сваки од третмана одржавања примењених у анализи.

Иако програм LCCAGT са SDGSA је врло робустан и у већини случајева доводи до глобалног оптимума, дешава се понекад да дође до решења у погледу локалног оптимума. Сто га би било погодно истражити могућност примене неког другог поступка попут генетских алгоритама за оптимизацију.

Многе земље у развоју, попут Србије, се суочавају са смањеним буџетима одржавања и ограниченим ресурсима за унапређење деоница на путној мрежи. Стога ове земље траже алтернативне изворе финансирања који неће преоптеретити државне буџете. Један од тих извора је коришћење приватних фондова за изградњу и одржавање инфраструктурних објеката кроз партнерство приватног и јавног сектора (PPP). Програм LCCAGT може бити изузетно погодна основа за развој програма за финансијску анализу пројеката, који може послужити за подршку одлучивању за потенцијалне концесионаре, не само током припреме понуда, већ и за избор оптималних стратегија одржавања и рехабилитације у условима дефинисаним концесионим уговором, како би се задовољили захтевани стандарди одржавања. Програм би се користио за оптимизацију времена и интензитета третмана одржавања како би се максимизовала добит.

До сада је анализа трошкова током животног века коловоза спровођена као детерминистичка, а за јединичне цене су коришћене најбоље процене, најчешће на основу историјских података. Међутим, код оваквих анализа увек постоји одређена несигурност, односно варијабилност везана за одређивање параметара анализе и тренд је да се уместо дискретних вредности параметара користе њихове расподеле вероватноћа и да се као резултат може добити расподела вероватноћа трошкова корисника, или трошкова агенције. Програм LCCAGT може бити добра полазна основа за развој таквог софтвера.

Такође би било потребно истражити однос између остваривог дугорочног стања путне мреже за одређена буџетска ограничења и оптималног стања на нивоу пројекта за сваку репрезентативну деоницу.

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Прилог I

Програмски код програма LCCAGT

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Table of Contents

Workbook

Option Explicit

```
Private Sub Workbook_Activate()  
    Call Layout.SaveCurrentAppSettings
```

```
    If Not Layout.EnableReactors Then Exit Sub  
    Call Layout.SetNewAppSettings  
End Sub
```

```
Private Sub Workbook_BeforeClose(Cancel As Boolean)  
    Call Parameters.Terminate  
End Sub
```

```
Private Sub Workbook_Deactivate()  
    If Not Layout.EnableReactors Then Exit Sub  
    Call Layout.RestoreOldAppSettings  
    Call Layout.RestoreCmdBars  
End Sub
```

```
Private Sub Workbook_Open()  
  
    Application.Caption = ""  
  
    Call Parameters.Initialize  
    Call Parameters.Verify_CellNames_Integrity  
  
    Layout.bkpVarsInitialized = False  
    Set Layout.bkpCmdBars = New Collection  
  
    If Not Layout.EnableReactors Then Exit Sub  
    If AutoHideHiddenSheets Then Call Layout.HideTabs  
  
    'Call Recalculation  
    Call Graphs.SynchronizeYAxes  
  
End Sub
```

```
Private Sub Workbook_WindowActivate(ByVal Wn As Excel.Window)  
    If Not Layout.EnableReactors Then Exit Sub  
    Call Layout.SetNewWindowSettings(Wn)  
End Sub
```


Module Comments

Option Explicit

```
Private Const DB_Comment_ColIndex_Msg = 2
Private Const DB_Comment_ColIndex_DestCellName = 3
Private Const DB_Comment_ColIndex_ModifCellName = 4
Private Const DB_Comment_ColIndex_ModifCellValue = 5
```

Public Sub Update()

```
Static rge As Range
Static sht As Worksheet
Dim MaxRow As Long
```

```
Dim li As Long
Dim co As Long
Dim li0 As Long
```

```
Dim CollDst As Collection
Dim msg As String
Dim dst As Range
Dim tmp As Range
Dim nam As String
Dim chg As Range
Dim fct As Double
```

```
Set CollDst = Nothing
Set CollDst = New Collection
```

If Not CellNames_Defined Then Call Parameters.Initialize

```
Set rge = Application.Range(CellName_DB_Comments).Cells(1, 1)
li0 = rge.Row
```

```
If InStr(1, "!", rge.Address) > 0 Then
    Set sht = ThisWorkbook.Worksheets.Item(Mid$(rge.Address, 1, InStr(1, "!",
rge.Address)))
Else
    Set sht = ActiveSheet
End If
```

```
With sht.UsedRange
    MaxRow = .Row + .Rows.Count
End With
```

```
For li = 0 To MaxRow - 1
```



```
nam = rge.Offset(0, DB_Comment_ColIndex_DestCellName - 1).Value
Set dst = Parameters.GetRangeReferredByName(nam)
```

```
If Not dst Is Nothing Then
    Set tmp = Nothing
    On Error Resume Next
    Set tmp = CollDst.Item(nam)
    On Error GoTo 0
```

```
If tmp Is Nothing Then
    dst.Value = ""
    CollDst.Add dst, nam
End If
End If
```

```
If rge.Value = True Then
    Application.Calculation = xlCalculationManual
```

```
    Debug.Print "Event comment line" & li + li0
```

```
    msg = rge.Offset(0, DB_Comment_ColIndex_Msg - 1).Value
    Debug.Print msg
```

```
If Not dst Is Nothing Then
    dst.Value = dst.Value & Chr$(10) & msg
End If
```

```
nam = rge.Offset(0, DB_Comment_ColIndex_ModifCellName - 1).Value
Set chg = Parameters.GetRangeReferredByName("z" & nam)
```

```
If Not chg Is Nothing Then
    fct = Parameters.GetValueReferredByName("x" & nam)
    chg.Value = CInt(rge.Offset(0, DB_Comment_ColIndex_ModifCellValue -
1).Value / fct)
    Debug.Print "Valeur x" & nam & " -> " & chg.Value & " et " & nam & " -> " &
chg.Value * fct
End If
```

```
    Application.Calculation = xlCalculationAutomatic
End If
```

```
    Set rge = rge.Offset(1, 0)
Next li
```

```
'Call Update_TextBoxes
```

```
Set CollDst = Nothing
End Sub
```



```
Private Sub Update_TextBoxes()  
    Dim sht As Worksheet  
    Dim shp As Shape  
    Dim cel As Range  
  
    Set cel = Parameters.GetRangeReferredByName(TextBoxes_RefTo)  
  
    For Each sht In ActiveWorkbook.Worksheets  
        If sht.Visible Then  
            Set shp = Nothing  
            On Error Resume Next  
            Set shp = sht.Shapes(TextBoxes_Name)  
            On Error GoTo 0  
  
            If Not shp Is Nothing Then  
                shp.DrawingObject.Text = cel.Value  
            End If  
        End If  
    Next sht  
End Sub
```


Module Controls

```

*****
*****
' CONTROL of the change of parameters through recalculation of data on sheet
' COSTS&BENEFITS and update of chart on the worksheet
*****
*****

```

```

' Subs on which controls in the sheets of graph are dependent.
' All controls call the sub of update of the comment - not used for LCCA

```

```

Public Sub Analysis_Period_Modified()
    Call Comments.Update
    Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

```

```

Public Sub Discount_Rate_Modified()
    Call Comments.Update
    Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

```

```

Public Sub Initial_Traffic_Modified()
    Call Comments.Update
    Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

```

```

Public Sub Initial_YE4_Modified()
    Call Comments.Update
    Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

```

```

Public Sub Traffic_Growth_Modified()
    Call Comments.Update
    Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

```

```

Public Sub REC_Year_Modified()
    Call Comments.Update
    Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

```

```

Public Sub REC_Cost_Modified()
    Call Comments.Update

    Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

```



```
Public Sub Number_of_Treatments_Modified()
    Call Comments.Update

    'Check if treatment is moved beyond analysis period
    If Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = 3 Then
        If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value >
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value Then
            Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value =
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value
            ElseIf Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value >
(Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value -
Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value) Then
                Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value =
(Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value -
Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value)
                ElseIf Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT1_Year").Value >=
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value - 2 *
(Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value) Then
                    Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value =
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value - 2 *
(Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value)
                    End If
                ElseIf Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = 2 Then
                    If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value >
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value Then
                        Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value =
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value
                        ElseIf Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT1_Year").Value >
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value -
Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value Then
                            Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT1_Year").Value =
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value -
Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value
                            End If
                        ElseIf Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = 1 Then
                            If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT1_Year").Value >
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value Then
                                Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT1_Year").Value =
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value
                                End If
                            End If
                        Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Calculate
                        Worksheets("Data").Calculate

                        Call Graphs.SynchronizeYAxes
```


End Sub

Public Sub T1_Year_Modified()

'Constraint when moving up

If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value -
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT1_Year").Value <

Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value Then

Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value =
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value + 1

If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value -
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value <

Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value Then

Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value =
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value + 1

End If

End If

'Check if treatment 3 is moved beyond analysis period

If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value >
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value Then

If Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value > 2 Then

Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value - 1

End If

End If

'Check if treatment 2 is moved beyond analysis period

If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value >
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value Then

If Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value > 1 Then

Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value - 1

End If

End If

'Check if treatment 1 is moved beyond analysis period

If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT1_Year").Value >
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value Then

If Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value > 0 Then

Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value - 1

End If

End If


```
'Check if Year of Treatment 1 is now within the Analysis Period (Only if No_treatments =
0)
  If Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = 0 Then
    If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT1_Year").Value <
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value + 1 Then
      Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = 1
    End If
  End If

  Call Comments.Update
  Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

Public Sub T1_Thickness_Modified()
  Call Comments.Update
  Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

Public Sub T1_Cost_Modified()
  Call Comments.Update
  Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

Public Sub T2_Year_Modified()

  'Constraint when moving up
  If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value -
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value <
Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value Then
    Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value =
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value + 1
  End If

  'Constraint when moving down
  If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value -
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT1_Year").Value <
Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value Then
    Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value =
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value + 1
  End If

  'Check if treatment 3 is moved beyond analysis period
  If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value >
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value Then
    If Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value > 2 Then
```



```
Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value - 1
End If
End If
'Check if treatment 2 is moved beyond analysis period
If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value >
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value Then
If Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value > 1 Then
Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value - 1
End If
End If

'Check if Year of Treatment 2 is now within the Analysis Period (Only if No_treatments =
1)
If Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = 1 Then
If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value <
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value + 1 Then
Worksheets("COMPARISON of
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = 2
End If
End If

Call Comments.Update
Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

Public Sub T2_Thickness_Modified()
Call Comments.Update
Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub

Public Sub T2_Cost_Modified()
Call Comments.Update
Call Graphs.SynchronizeYAxes
End Sub
```



```
Public Sub T3_Year_Modified()
```

```
    'Constraint when moving down
```

```
    If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value -  
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT2_Year").Value <  
Worksheets("_Parameters").Range("Min_Interval").Value Then  
        Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value =  
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value + 1  
    End If
```

```
    'Check if treatment is moved beyond analysis period
```

```
    If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value >  
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value Then  
        If Worksheets("COMPARISON of  
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value > 2 Then  
            Worksheets("COMPARISON of  
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = Worksheets("COMPARISON of  
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value - 1  
        End If  
    End If
```

```
    'Check if Year of Treatment 3 is now within the Analysis Period (Only if No_treatments =  
2)
```

```
    If Worksheets("COMPARISON of  
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = 2 Then  
        If Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zT3_Year").Value <  
Worksheets("COMPARISON of Alternatives").Range("zAnalysis_Period").Value + 1 Then  
            Worksheets("COMPARISON of  
Alternatives").Range("zNumber_of_Treatments").Value = 3  
        End If  
    End If
```

```
    Call Comments.Update
```

```
    Call Graphs.SynchronizeYAxes
```

```
End Sub
```

```
Public Sub T3_Thickness_Modified()
```

```
    Call Comments.Update
```

```
    Call Graphs.SynchronizeYAxes
```

```
End Sub
```

```
Public Sub T3_Cost_Modified()
```

```
    Call Comments.Update
```

```
    Call Graphs.SynchronizeYAxes
```

```
End Sub
```

```
Public Sub Worksheet_Deactivate()
```

```
    Call Graphs.SynchronizeYAxes
```

```
End Sub
```

```
Module Graphs
```


Option Explicit

```
*****
```

```
' SynchronizeYAxes
```

```
*****
```

```
Public Sub SynchronizeYAxes()
```

```
    Call SynchronizeYAxesOnSheet(ActiveSheet)
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
' SynchronizeYAxes on Sheet
```

```
*****
```

```
' goes through all charts on all the sheets of the workbook
```

```
Public Sub SynchronizeYAxesOnSheet(sht As Excel.Worksheet)
```

```
    Dim cho As ChartObject
```

```
    ' loops on all charts on the worksheet
```

```
    For Each cho In sht.ChartObjects
```

```
        Call SynchronizeYAxesOnChart(cho.Chart)
```

```
    Next cho
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
' SynchronizeYAxes on Chart
```

```
*****
```

```
' on the chart provided in argument
```

```
Public Sub SynchronizeYAxesOnChart(graph As Excel.Chart)
```

```
    Dim ax1st As Axis
```

```
    Dim ax2nd As Axis
```

```
    Dim pctMin1 As Double
```

```
    Dim pctMax1 As Double
```

```
    Dim delta1 As Double
```

```
    Dim pctMin2 As Double
```

```
    Dim pctMax2 As Double
```

```
    Dim delta2 As Double
```

```
    Dim AxeToBeModified As Axis
```

```
    Dim pctMin As Double
```

```
    Dim pctMax As Double
```

```
    Dim delta As Double
```



```

Dim MaxScale As Double
Dim MinScale As Double
Dim MinScale2 As Double
Dim pct As Double

' recovery of the axes of value (primary and secondary)
Set ax1st = Nothing
Set ax2nd = Nothing
On Error Resume Next
Set ax1st = graph.Axes(XlAxisType.xlValue, XlAxisGroup.xlPrimary)      'Primary, left
axis
Set ax2nd = graph.Axes(XlAxisType.xlValue, XlAxisGroup.xlSecondary)  'Secondary,
right axis
On Error GoTo 0

' Transformation is performed only if there are two value axes
If (Not ax1st Is Nothing) And (Not ax2nd Is Nothing) Then

' with the primary axis
With ax1st
' force the recalculation of the automatic parameters
.MajorUnitIsAuto = True
.MinorUnitIsAuto = True
.MaximumScaleIsAuto = True
.MinimumScaleIsAuto = True

' cancels the automatic recalculation
.MajorUnitIsAuto = False
.MinorUnitIsAuto = False
.MaximumScaleIsAuto = False
.MinimumScaleIsAuto = False

' calculates % relative of Min and Max of the axis
delta1 = .MaximumScale - .MinimumScale
pctMin1 = .MinimumScale / delta1
pctMax1 = .MaximumScale / delta1
End With

' with the secondary axis
With ax2nd

' force the recalculation of the automatic parameters
.MajorUnitIsAuto = True
.MinorUnitIsAuto = True
.MaximumScaleIsAuto = True
.MinimumScaleIsAuto = True

' cancels the automatic recalualtion
.MajorUnitIsAuto = False
.MinorUnitIsAuto = False

```



```
.MaximumScaleIsAuto = False
.MinimumScaleIsAuto = False

' calculates % relative of Min and Max of the axis
delta2 = .MaximumScale - .MinimumScale
pctMin2 = .MinimumScale / delta2
pctMax2 = .MaximumScale / delta2
End With

' The axle with ratio closer to 50/50 is selected as basic axle
' i.e that for which ABS (pctMin - pctMax) is smallest - smaller relative range
If Abs(Abs(pctMin1) - Abs(pctMax1)) < Abs(Abs(pctMin2) - Abs(pctMax2)) Then

' axis1 is the basic axis, axis 2 is to be modified
Set AxeToBeModified = ax2nd

' basic ratios
pctMin = pctMin1
pctMax = pctMax1

' amplitude of the axis to be modified
delta = delta2
Else

' if the axis2 is the basic axis, the axis to be modified is then the axis1
Set AxeToBeModified = ax1st

' basic ratios
pctMin = pctMin2
pctMax = pctMax2

' amplitude of the axis to be modified
delta = delta1
End If

With AxeToBeModified

' first define the extreme values of the axis
MinScale = pctMin * delta
MaxScale = pctMax * delta

' checking which one does not pass in on this side extreme values
' if it is the case, application of a corrective factor to the two
' extreme values to preserve the good proportion.

' verification for Min value
If Abs(.MaximumScale - MinScale) < Abs(.MaximumScale - .MinimumScale) Then
pct = .MinimumScale / MinScale
MinScale = .MinimumScale
MaxScale = pct * MaxScale
```



```
' Variable Boolean (True/False) allowing to activate or decontaminate
' the response of the sheets of this sorter the events like the
' change of sheet (sheet or window_Activate/Deactivate),
' the fact of leaving the sorter (Workbook_Deactivate) or
' of returning above (Workbook_Activate)
' The main object of the reactivity of the sorter is to modify
' the appearance of Excel and the windows of this sorter all while maintaining
' appearance original when one returns on possible other
' sorters having nothing to do with Toolkit
```

```
'Global Const EnableReactors = True   'Active le lancement des macros'
'                                'Activate the launching of the macros'
Global Const EnableReactors = False   'Deactivate the launching of the macros
```

```
'+++++
Global Const AutoHideCmdbars = False
```

```
' True => the bar of formula is automatically hidden
Global Const AutoHideFormulaBar = False
```

```
' True => the bar of state is automatically hidden
Global Const AutoHideStatusBar = False
```

```
' True => the scroll bars are automatically hidden
Global Const AutoHideScrollBars = False
```

```
' True => the title the window is modified with the constants defined below
' ToolkitAppCaption and ToolkitWbkCaption
Global Const AutoChangeAppTitle = True
```

```
' True => the sheets defined in the ToolkitHiddenSheets constant are hidden
Global Const AutoHideHiddenSheets = False
```

```
'+++++
' VARIABLE TOOLKIT
```

```
*****
```

```
' variables TOOLKIT are used to modify posting
' and the environment when this sorter (the sorter of the toolkit)
' is active.
```

```
' Their values replace the values safeguarded in
' variables BKP
```

```
*****
```

```
' Entitled registers in the bar of title of the application when this
' sorter is active (replaces the text "Microsoft Excel")
```

```
Global Const ToolkitAppCaption As String = "HDM Project Level Rehabilitation Strategy"
```

```
' Entitled registers in the bar of title of the window when this
' sorter is active (replaces the name of the sorter)
```



```
Global Const ToolkitWbkCaption As String = "Graphic Simulation Tool"
```

```
' List of the names of the sheets of this sorter having to be invisible
' with the user. The names are separated by the sign from division/
' the sheets thus hidden do not appear by the means of " Window/Afficher...
' The orthography must be rigorously identical. The comparison
' does not take account of breakage however.
' (version K) - not to forget to put one/
' even at the beginning and the end of the chains: "/toto/titi/tutu"
```

```
Global Const ToolkitHiddenSheets As String =
"/_Parameters/_Comments/IRI_distresses/COSTS & BENEFITS/Guide/Analysis/IRI &
Distresses/COSTS&BENEFITS/"
```

```
'Global Const ToolkitHiddenSheets As String = "/Uses & Sources construction/Debt
Service/Operation/Income Statement/Cash Flows/Ratios/"
```

```
*****
```

```
' VARIABLE BKP (private)
```

```
*****
```

```
' Variable of BacKuP of the current state before activation of the sorter
' of toolkit which must modify certain parameters of environment
' and of posting.
```

```
' These variables collect the current prices of the parameters
' called to be modified by the values of variables TOOLKIT.
```

```
' They are then used to restore the values of
' modified parameters and to thus restore the environment and
' appearance initial.
```

```
*****
```

```
' True indicates that the variables bkp were indeed initialized
' to safeguard the state of initial posting. In this case they can
' be used to restore the state of posting if one leaves this
' sorter.
```

```
' If the variables are not initialized, therefore all False since
' it is the default value, then to use them at the time of the restoration
' of the initial state is an error
```

```
Public bkpVarsInitialized As Boolean
```

```
' Collection of variables of the String type containing the name of the bars
' of tools decontaminated during the activation of a sheet of the sorter
' of toolkit and to give in service if this sorter is left.
```

```
Global bkpCmdBars As Collection
```

```
Global bkpAppCaption As String ' Backup of the text of the bar of title of the application (a
priori "")
```

```
Global bkpDisplayStyleBar As Boolean ' Backup of the state of posting of the bar of
state
```



```
Global bkpDisplayFormulaBar As Boolean ' Backup of the state of posting of the bar of
formula
Global bkpDisplayScrollBars As Boolean ' Backup of the state of posting of the scroll bars
```

```
Public Sub DisableCmdBars()
    Dim obj As Office.CommandBar

    If bkpCmdBars Is Nothing Then
        Set bkpCmdBars = New Collection
    End If

    Debug.Print "***** Removed command bars :"

```

```
Public Sub RestoreCmdBars()
    Dim CmdBarName As Variant

    If Not bkpCmdBars Is Nothing Then
        With Application.CommandBars
            For Each CmdBarName In bkpCmdBars
                On Error Resume Next
                .Item(CmdBarName).Enabled = True

                bkpCmdBars.Remove CmdBarName
                On Error GoTo 0
            Next CmdBarName
        End With
    End If
End Sub
```

```
*****
' SetNewWindowSettings
*****
' This sub is called to fix the parameters of posting
' of a window on a sheet of the sorter of the toolkit. It
' is destined for each change of window (and thus of sheet)
' at the time of the WindowActivate event
' -> management of the toolbars
' -> management of the heading of the window
```



```
*****
```

```
Public Sub SetNewWindowSettings(ByVal Wn As Excel.Window)
```

```
    ' -> management of the toolbars
```

```
    ' It is necessary to call DisableCmdBars not
```

```
    ' only when one changes sorter but too
```

```
    ' when one changes sheet because certain bars
```

```
    ' of tools (typically menus) automatically
```

```
    ' are activated/decontaminated according to the type of the sheet
```

```
    ' (calculation or graph...)
```

```
    ' It makes some should be sufficient to call DisableCmdBars
```

```
    ' since SheetActivate but WindowActivate occurs more
```

```
    ' often and includes SheetActivate, therefore safety
```

```
If AutoHideCmdbars Then Call DisableCmdBars
```

```
    ' -> management of the heading of the window
```

```
With Wn
```

```
    If AutoChangeAppTitle Then .Caption = ToolkitWbkCaption
```

```
    .DisplayWorkbookTabs = True
```

```
    .DisplayOutline = False
```

```
    ' .DisplayOutline = True
```

```
    .DisplayGridlines = False
```

```
    ' .DisplayGridlines = True
```

```
End With
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
' Hidetabs
```

```
*****
```

```
' Mask mitres defined in the ToolkitHiddenSheets variable
```

```
*****
```

```
Public Sub HideTabs()
```

```
    Dim sht As Object
```

```
    For Each sht In Application.Sheets
```

```
        ' (version K) - addition of "/" in beginning and end to avoid Pb
```

```
        ' with the close names
```

```
        If InStr(1, ToolkitHiddenSheets, "/" & sht.Name & "/", vbTextCompare) > 0 Then
```

```
            sht.Visible = False
```

```
        End If
```

```
    Next sht
```

```
End Sub
```



```

*****
' UnHidetabs
*****
' Poster mitres defined in the ToolkitHiddenSheets variable
*****

Public Sub UnHideTabs()

    Dim sht As Object
    For Each sht In Application.Sheets
        ' (version K) - addition of "/" in beginning and end to avoid Pb
        ' with the close names

        If InStr(1, ToolkitHiddenSheets, "/" & sht.Name & "/", vbTextCompare) > 0 Then
            sht.Visible = True
        End If
    Next sht

End Sub

*****
' SaveCurrentAppSettings
*****
' This sub is called to memorize the current parameters of
' posting on the level of the application before their modification
' for a later restoration (RestoreOldAppsettings).
*****

Public Sub SaveCurrentAppSettings()
    With Application
        **Stop
        bkpDisplayStatusBar = .DisplayStatusBar
        bkpDisplayFormulaBar = .DisplayFormulaBar
        bkpDisplayScrollBars = .DisplayScrollBars
        bkpAppCaption = .Caption
        bkpVarsInitialized = True
    End With
End Sub

*****
' SetNewAppSettings
*****
' This sub is called to fix the parameters of posting at the
' level of the application when this sorter is active.
*****

Public Sub SetNewAppSettings()
    With Application
        If AutoHideStatusBar Then .DisplayStatusBar = False
    End With
End Sub

```



```

    If AutoHideFormulaBar Then .DisplayFormulaBar = False
    If AutoHideScrollBars Then .DisplayScrollBars = False
    If AutoChangeAppTitle Then .Caption = ToolkitAppCaption
End With
End Sub

```

```

*****
' RestoreOldAppSettings
*****
' This sub is called to fix the parameters of posting at the
' level of the application when this sorter is not active any more.
*****

```

```

Public Sub RestoreOldAppSettings()
    If Not bkpVarsInitialized Then Exit Sub

    With Application
        **Stop
        .DisplayStatusBar = bkpDisplayStatusBar
        .DisplayFormulaBar = bkpDisplayFormulaBar
        .DisplayScrollBars = bkpDisplayScrollBars
        .Caption = ""
    End With
End Sub

```

```

*****
' RestoreLayout
*****
' Sub “of breakdown service” to force the réaffichage usual options
' of posting including when this sorter is active.
*****

```

```

Public Sub Restore()
    Dim CmdBar As Office.CommandBar
    For Each CmdBar In Application.CommandBars
        CmdBar.Enabled = True
    Next

    With Application
        .DisplayStatusBar = True
        .DisplayFormulaBar = True
        .DisplayScrollBars = True
        .Caption = ""
    End With

    Dim sht As Object
    For Each sht In Application.Sheets
        sht.Visible = True
    Next sht
End Sub

```



```
Public Sub Btn_FullScreen_Clicked()
    Call DisableCmdBars
    With Application
        .DisplayFullScreen = True
        .DisplayFormulaBar = False
        .DisplayScrollBars = False
    End With
End Sub
```

```
Public Sub Btn_Restore_Clicked()
    Call RestoreCmdBars
    With Application
        .DisplayFullScreen = False
        .DisplayFormulaBar = True
        .DisplayScrollBars = True
    End With
End Sub
```

Module Parameters

Option Explicit

```
*****
*****
'
'      MODULE FOR MANAGEMENT OF THE PARAMETERS
'
*****
*****
```

Global CellNames_Defined As Boolean

```
Global CellName_Analysis_Period As String
Global CellName_Discount_Rate As String
Global CellName_Initial_Traffic As String
Global CellName_Initial_YE4 As String
Global CellName_Traffic_Growth As String
Global CellName_Number_of_Treatments As String
Global CellName_REC_Year As String
Global CellName_REC_Cost As String
Global CellName_T1_Year As String
Global CellName_T1_Thickness As String
Global CellName_T1_Cost As String
Global CellName_T2_Year As String
Global CellName_T2_Thickness As String
Global CellName_T2_Cost As String
Global CellName_T3_Year As String
Global CellName_T3_Thickness As String
```



```
Global CellName_T3_Cost As String
Global CellName_IRR1 As String
Global CellName_NPV1 As String
Global CellName_Agency_Cost1 As String
Global CellName_NPV_Cost_Ratio1 As String
Global CellName_Decrease_Users1 As String
```

```
Global CellNames As Collection
Global CellNameLocations As Collection
Global CellNameSpinButton
```

```
Global CellName_DB_MinMax As String
Global CellName_DB_Comments As String
```

```
Global TextBoxes_Name As String
Global TextBoxes_RefTo As String
```

```
*****
```

```
' INITIALIZATION OF PARAMETERS
```

```
*****
```

```
Public Sub Initialize()
    Call Initialize_CellNames
    Call Initialize_CellValues
    Call Initialize_SpinButton_MinMax
    Call Initialize_Comment_TextBoxes
End Sub
```

```
*****
```

```
' INITIALIZATION OF THE CELL NAMES
```

```
*****
```

```
' 3 lines per parameter:
```

```
,
```

```
' CellName_nomparametre = "nom_parametre"
```

```
' CellNames.Add CellName_nomparametre
```

```
' CellNameLocations "nom_feuille", CellName_nomparametre
```

```
,
```

```
' with:
```

```
' CellName_nomparametre: the variable used in the macros and containing the name defined in Excel
```

```
' nom_parametre: the name of the parameter preset in the Excel sheet (To define Name...)
```

```
' nom_feuille: the name of the sheet in which the name of the parameter is defined
```

```
,
```

```
' The elements to be updated are thus: nom_feuille
```

```
,
```

```
' As regards nomparametre, it is about the name of the cell inside the
```

```
' sorter. If for a reason or another, it was necessary to modify
```

```
' this noun, then
```


- ' - to put also up to date the mitres Parameters and Comments which use the names of the cells
- ' - to redefine the names of the cells directly related to interactive controls (gross amounts on the sheet "Cash-flow Structure" in the hidden line) whose names are those of the cells of the line of in lower parts prefixed with " _",
- ' - finally it is necessary to update the names of the dependent cells of all controls, in accordance with the nouns modified herebefore.

'All names on the sheet "COMPARISON OF ALTERNATIVES"

'Two cells on the sheet "COSTS&BENEFITS" (IRR & NPV)

Private Sub Initialize_CellNames()

Set CellNames = Nothing

Set CellNames = New Collection

Set CellNameLocations = Nothing

Set CellNameLocations = New Collection

CellName_DB_MinMax = "DB_MinMax"

CellNames.Add CellName_DB_MinMax

CellNameLocations.Add CellName_DB_MinMax

CellName_DB_Comments = "DB_Comments"

CellNames.Add CellName_DB_Comments

CellNameLocations.Add CellName_DB_Comments

CellName_Analysis_Period = "Analysis_Period"

CellNames.Add CellName_Analysis_Period

CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_Analysis_Period

CellName_Discount_Rate = "Discount_Rate"

CellNames.Add CellName_Discount_Rate

CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_Discount_Rate

CellName_Initial_Traffic = "Initial_Traffic"

CellNames.Add CellName_Initial_Traffic

CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_Initial_Traffic

CellName_Initial_YE4 = "Initial_YE4"

CellNames.Add CellName_Initial_YE4

CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_Initial_YE4

CellName_Traffic_Growth = "Traffic_Growth"

CellNames.Add CellName_Traffic_Growth

CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_Traffic_Growth

CellName_REC_Year = "REC_Year"

CellNames.Add CellName_REC_Year

CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_REC_Year


```
CellName_REC_Cost = "REC_Cost"  
CellNames.Add CellName_REC_Cost  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_REC_Cost
```

```
CellName_Number_of_Treatments = "Number_of_Treatments"  
CellNames.Add CellName_Number_of_Treatments  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives",  
CellName_Number_of_Treatments
```

```
CellName_T1_Year = "T1_Year"  
CellNames.Add CellName_T1_Year  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_T1_Year
```

```
CellName_T1_Thickness = "T1_Thickness"  
CellNames.Add CellName_T1_Thickness  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_T1_Thickness
```

```
CellName_T1_Cost = "T1_Cost"  
CellNames.Add CellName_T1_Cost  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_T1_Cost
```

```
CellName_T2_Year = "T2_Year"  
CellNames.Add CellName_T2_Year  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_T2_Year
```

```
CellName_T2_Thickness = "T2_Thickness"  
CellNames.Add CellName_T2_Thickness  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_T2_Thickness
```

```
CellName_T2_Cost = "T2_Cost"  
CellNames.Add CellName_T2_Cost  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_T2_Cost
```

```
CellName_T3_Year = "T3_Year"  
CellNames.Add CellName_T3_Year  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_T3_Year
```

```
CellName_T3_Thickness = "T3_Thickness"  
CellNames.Add CellName_T3_Thickness  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_T3_Thickness
```

```
CellName_T3_Cost = "T3_Cost"  
CellNames.Add CellName_T3_Cost  
CellNameLocations.Add "COMPARISON of Alternatives", CellName_T3_Cost
```

```
CellName_IRR1 = "IRR1"  
CellNames.Add CellName_IRR1  
CellNameLocations.Add "COSTS & BENEFITS", CellName_IRR1
```

```
CellName_NPV1 = "NPV1"
```



```
CellNames.Add CellName_NPV1
CellNameLocations.Add "COSTS & BENEFITS", CellName_NPV1
```

```
CellName_Agency_Cost1 = "Agency_Cost1"
CellNames.Add CellName_Agency_Cost1
CellNameLocations.Add "COSTS & BENEFITS", CellName_Agency_Cost1
```

```
CellName_Decrease_Users1 = "Decrease_Users1"
CellNames.Add CellName_Decrease_Users1
CellNameLocations.Add "COSTS & BENEFITS", CellName_Decrease_Users1
```

```
CellName_NPV_Cost_Ratio1 = "NPV_Cost_Ratio1"
CellNames.Add CellName_NPV_Cost_Ratio1
CellNameLocations.Add "COSTS & BENEFITS", CellName_NPV_Cost_Ratio1
```

```
CellNames_Defined = True
End Sub
```

```
*****
' INITIALIZATION OF THE CELL VALUES
*****
```

```
Private Sub Initialize_CellValues()
```

```
Call Comments.Update
```

```
End Sub
```

```
*****
' INITIALIZATION OF MIN AND MAX VALUES OF THE SPINBUTTONS
*****
```

```
Private Sub Initialize_Comment_TextBoxes()
```

```
' Name of the zone of text having to carry the comments
' inside a sheet. In all the sheets in front of
' having a zone of text for the comments, inserting a
' named zone of text "Comment".
TextBoxes_Name = "Comment"
```

```
' Name of the cell to which refer the zones of text
' carrying the comments. All the zones of text refer
' to the cell mentioned below. Their update is carried out
' at the end of the sub Comment.Update
TextBoxes_RefTo = "Cell_Comment"
```

```
End Sub
```

```
*****
' INITIALIZATION OF DEFAULT, MIN AND MAX VALUES OF THE SPINBUTTONS
```

' Assignment of the default, min and max values of the parameters
' defined in sheet PARAMETERS when opening the workbook with interactive
' controls in graphical sheets.
'
' The spinbuttons of the sheets with graphs are connected directly to the
' cells which one sees in lower part. Intermediate cells bearing the same name
' as the cells carrying the result posted and prefixed with "Z" are used.
' This is with the limitations of controls concerning the range of value that they
' support (- 32767 to +32767). Thus named cells (Analysis_Period, etc...) are
' used as parameters for the analysis model depend on the cells directly
' related to controls (zAnalysis_Period, etc...) with the help of a possible multiplicative
' factor being righth below of the directly dependent cells.

```
Private Sub Initialize_SpinButton_MinMax()
```

```
    Dim bkpCaption As String
    Dim bkpCalcMod As Boolean
```

```
    Dim sht As Worksheet
    Dim shp As Shape
    Dim rge As Range
    Dim rgeDB As Range
```

```
    Dim CellName As String
    Dim CellData As String
    Dim CellFactor As Double
    Dim DValue As Double
    Dim MinValue As Double
    Dim MaxValue As Double
    Dim IncValue As Double
```

```
If Not CellNames_Defined Then Initialize_CellNames
```

```
' (version K) - for more robustness
Set rgeDB = GetRangeReferredByName(CellName_DB_MinMax)
If rgeDB Is Nothing Then
    MsgBox "This workbook is corrupted." _
        & vbCrLf & "The parameters limits definition range " & CellName_DB_MinMax & " is
missing." _
        & vbCrLf & "Reload an original version of the LCCA Graphical Model." _
        , vbOKOnly + vbCritical, "Error : Min/Max definition named range not found."
    Exit Sub
End If
```

```
With Application
```

```
    bkpCaption = .Caption
    .Caption = ToolkitAppCaption & " - " & "Initializing..."
    bkpCalcMod = .Calculation
    .Calculation = xlCalculationManual
```

```

End With

' (version k)
On Error GoTo Error_Manager

' loops on the sheets of this workbook
For Each sht In ThisWorkbook.Worksheets

    ' loops on all objects SHAPE of the sheet
    For Each shp In sht.Shapes

        ' to retain only those of msoFormControl type
        ' i.e controls being used to vary the values in the graphs
        If shp.Type = msoFormControl Then

            ' (version K) added bus Pb following the addition of other controls (buttons)
            ' on the graphs
            If shp.FormControlType = xlSpinner Then

                ' name of the directly dependent cell (zAnalysi_Period, etc...)
                ' with control and containing the raw data, specified in the Format
Control/Control
                CellName = shp.ControlFormat.LinkedCell

                '(version K) if a control spinner would be added for
                ' another thing that to control a parameter limited in _Parameters
                Set rge = GetRangeReferredByName(CellName)
                If Not rge Is Nothing Then

                    ' cell containing the multiplicative factor:
                    ' given rough - > given model
                    ' this cell is right below the preceding one
                    CellFactor = rge.Offset(1, 0).Value

                    ' cell of the data for the analysis model
                    ' its name is that of the directly bound cell, with "Z" of the
                    ' beginning in less: zAnalysis_Period - > Analysis_Period
                    CellName = Mid$(CellName, 2) ' remove the 'z' at the beginning of the name

                    ' scan for the noun of the cell of data for the model, found above,
                    ' in the beach named by CellName_DB_Minmax (beach defined normallement
                    ' in the sheet _Parameters) to find the min and max values of this
                    ' parameter
                    With Application.WorksheetFunction
                        DValue = .VLookup(CellName, rgeDB, 2, False) 'Default value
                        MinValue = .VLookup(CellName, rgeDB, 3, False) 'Minimum value
                        MaxValue = .VLookup(CellName, rgeDB, 4, False) 'Maximum value
                        IncValue = .VLookup(CellName, rgeDB, 5, False) 'Increment value
                    End With
                End If
            End If
        End If
    End For
End For

```



```

' values found being those applied for the data of the model
' and not for the raw data related to controls, it is necessary to convert
' into using the multiplicative factor found previously.
' Conversion given -> given rough
DValue = DValue / CellFactor      'DEFAULT VALUE OF THE
PARAMETER *****
MinValue = MinValue / CellFactor
MaxValue = MaxValue / CellFactor
IncValue = IncValue / CellFactor

' Application of Min and max to the control/spinnbutton
On Error Resume Next
With shp.ControlFormat
    .Value = DValue
    .Value = IIf(IIf(.Value > MaxValue, MaxValue, .Value) < MinValue,
MinValue, .Value)
    .Min = CInt(MinValue)
    .Max = CInt(MaxValue)
    .SmallChange = CInt(IncValue)
End With
' (version k)
On Error GoTo Error_Manager
End If
End If
End If
Next shp
Next sht

With Application
    .Caption = bkpCaption
    .Calculation = xlCalculationAutomatic
End With

On Error GoTo 0

Call Graphs.SynchronizeYAxes      'preparation of charts

Exit Sub

' (version k)
Error_Manager:
With Application
    .Caption = bkpCaption
    .Calculation = bkpCalcMod
End With

With Err
    .Raise .Number, .Source, .Description, .HelpFile, .HelpContext
End With
End Sub

```

```

*****
' TERMINATION
*****

```

```
' Cleaning of the allocated variables (collections)
```

```

Public Sub Terminate()
    Set CellNames = Nothing
    Set CellNameLocations = Nothing
End Sub

```

```

*****
' CHECKING DEFINITION OF VARIABLES
*****

```

```

Public Function Verify_CellNames_Integrity() As Boolean
    Dim CellName As Variant
    Dim namRange As Excel.Range
    Dim msg As String

```

```
    If Not CellNames_Defined Then Initialize_CellNames
```

```

    For Each CellName In CellNames
        Set namRange = GetRangeReferredByName(CStr(CellName))

```

```

        If namRange Is Nothing Then
            msg = "The name " & CellName & " is not defined in this workbook." _
                & vbCrLf & "It should be defined in the worksheet ""
            On Error Resume Next
            msg = msg & CellNameLocations(CellName)
            On Error GoTo 0
            msg = msg & "... " _
                & vbCrLf & "Calculations and macros will not run properly." _
                & vbCrLf & "Please reload an undamaged version of this workbook." _
                & vbCrLf _
                & vbCrLf & "The workbook will now be closed."

```

```

        MsgBox msg, vbCritical + vbOKOnly, "Error found while checking predefined named
cells"

```

```

        Terminate
    End If
Next CellName
End Function

```

```

*****
' Function of access to the beach of cells to which a name refers
*****

```



```
Public Function GetRangeReferredByName(CellName As String) As Excel.Range
    Set GetRangeReferredByName = Nothing
    On Error Resume Next
    Set GetRangeReferredByName = ThisWorkbook.Names(CellName).RefersToRange
    On Error GoTo 0
End Function
```

```
Public Function GetValueReferredByName(CellName As String) As Variant
    Dim rge As Excel.Range
    Set rge = GetRangeReferredByName(CellName)
    If rge Is Nothing Then
        GetValueReferredByName = Empty
    Else
        GetValueReferredByName = rge.Value
    End If
End Function
```

Прилог II

Резултати анализе програмом LCCAGT

№	Име	Година	Износ	Промена	Промена (%)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/29/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)

Traffic

Initial AADT (2008)	3926 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	590000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI1-T2
Length	73.70 km
Width	6.78 m
# of Lanes	2
SNC	4.02
CBR	4.00 %
Current IRI (2007)	2.80 m/km
Year of Last Overlay	1984

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2025
Thickness (mm)	80	80	60
Cost (€/m2)	12.3	12.3	9.5

Calibration Coefficients**Road Deterioration Model RWE model**

m	0.06	Linear
Kgp	0.335	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	3,926	2.97	313,731	68,548,875	2.97	6,459,869	68,548,875	-6,146,138	0	
2009	4,044	3.15	296,958	65,700,760	1.00	267,640	62,491,596	29,317	3,209,164	
2010	4,165	3.34	281,168	62,988,007	1.08	252,708	59,687,590	28,460	3,300,417	
2011	4,290	3.54	266,326	60,418,675	1.17	238,693	57,021,771	27,634	3,396,904	
2012	4,419	3.75	252,366	57,984,266	1.27	225,529	54,485,592	26,837	3,498,674	
2013	4,551	3.97	239,203	55,664,848	1.37	213,134	52,059,868	26,069	3,604,980	
2014	4,688	4.20	226,831	53,478,707	1.47	201,503	49,761,261	25,328	3,717,446	
2015	4,828	4.45	215,152	51,395,700	1.58	190,538	47,561,177	24,614	3,834,523	
2016	4,973	4.70	204,162	49,431,986	1.70	180,237	45,474,163	23,925	3,957,824	
2017	5,123	4.98	193,813	47,580,094	1.82	170,553	43,492,724	23,259	4,087,370	
2018	5,276	5.26	184,026	45,815,908	1.95	3,008,260	41,594,336	-2,824,233	4,221,572	
2019	5,435	5.57	174,816	44,161,047	1.00	145,953	38,902,048	28,863	5,258,999	
2020	5,598	5.88	166,112	42,592,940	1.10	138,109	37,169,305	28,003	5,423,635	
2021	5,765	6.22	157,882	41,107,845	1.20	130,707	35,513,494	27,175	5,594,351	
2022	5,938	6.57	150,123	39,715,616	1.31	123,746	33,942,617	26,377	5,772,999	
2023	6,117	6.94	142,801	38,410,462	1.43	117,194	32,450,995	25,607	5,959,467	
2024	6,300	7.33	135,866	37,175,317	1.55	111,000	31,023,657	24,866	6,151,660	
2025	6,489	7.74	129,315	36,018,576	1.68	105,163	29,667,237	24,152	6,351,340	
2026	6,684	8.17	123,122	34,935,663	1.81	99,660	28,377,387	23,462	6,558,276	
2027	6,884	8.43	3,937,447	33,659,601	1.87	94,193	27,098,350	3,843,254	6,561,251	
TOTAL			7,791,220	966,784,894		12,474,389	876,324,042	-4,683,169	90,460,852	

Net Present Value (NPV)

85,777,683 Euro (€)

Internal Rate of Return

67.91 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI1-T2
Analysis Period	20 years	Length	73.70 km
Discount rate	8 %	Width	6.78 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	4.02
Initial AADT (2008)	3926 vehicles/day	CBR	4.00 %
Initial YE4 (2008)	590000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	2.80 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1984

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative			
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	3		
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2	T3
Calibration Coefficients		Year	2008	2017	2022
Road Deterioration Model	RWE model	Thickness (mm)	80	80	30
m	0.06	Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3
Kgp	0.335				
Kgm	0.5				

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	3,926	2.97	313,731	68,548,875	2.97	6,459,869	68,548,875	-6,146,138	0
2009	4,044	3.15	296,958	65,700,760	1.00	267,640	62,491,596	29,317	3,209,164
2010	4,165	3.34	281,168	62,988,007	1.08	252,708	59,687,590	28,460	3,300,417
2011	4,290	3.54	266,326	60,418,675	1.17	238,693	57,021,771	27,634	3,396,904
2012	4,419	3.75	252,366	57,984,266	1.27	225,529	54,485,592	26,837	3,498,674
2013	4,551	3.97	239,203	55,664,848	1.37	213,134	52,059,868	26,069	3,604,980
2014	4,688	4.20	226,831	53,478,707	1.47	201,503	49,761,261	25,328	3,717,446
2015	4,828	4.45	215,152	51,395,700	1.58	190,538	47,561,177	24,614	3,834,523
2016	4,973	4.70	204,162	49,431,986	1.70	180,237	45,474,163	23,925	3,957,824
2017	5,123	4.98	193,813	47,580,094	1.82	3,245,153	43,492,724	-3,051,340	4,087,370
2018	5,276	5.26	184,026	45,815,908	1.00	154,915	40,785,093	29,111	5,030,815
2019	5,435	5.57	174,816	44,161,047	1.10	146,569	38,972,569	28,247	5,188,478
2020	5,598	5.88	166,112	42,592,940	1.20	138,697	37,240,688	27,415	5,352,252
2021	5,765	6.22	157,882	41,107,845	1.31	131,269	35,585,773	26,613	5,522,072
2022	5,938	6.57	150,123	39,715,616	1.42	1,025,938	34,015,846	-875,815	5,699,770
2023	6,117	6.94	142,801	38,410,462	1.21	116,179	32,310,129	26,622	6,100,332
2024	6,300	7.33	135,866	37,175,317	1.32	110,024	30,879,885	25,842	6,295,433
2025	6,489	7.74	129,315	36,018,576	1.44	104,225	29,520,417	25,090	6,498,159
2026	6,684	8.17	123,122	34,935,663	1.56	98,758	28,227,383	24,365	6,708,280
2027	6,884	8.43	3,937,447	33,659,601	1.61	93,325	26,947,768	3,844,122	6,711,832
TOTAL			7,791,220	966,784,894		13,594,903	875,070,170	-5,803,683	91,714,724

Net Present Value (NPV) 85,911,040 Euro (€)**Internal Rate of Return** 67.76 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)

Traffic

Initial AADT (2008)	6460 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	560000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI1-T3
Length	268.41 km
Width	10.32 m
# of Lanes	2
SNC	5.33
CBR	8.00 %
Current IRI (2007)	2.70 m/km
Year of Last Overlay	2000

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2019	2025
Thickness (mm)	80	80	60
Cost (€/m2)	12.3	12.3	9.5

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.532
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	6,460	2.82	1,474,477	317,008,854	2.82	35,545,369	317,008,854	-34,070,892	0
2009	6,654	2.94	1,395,529	303,228,849	1.00	1,299,055	291,894,170	96,475	11,334,679
2010	6,853	3.07	1,321,105	290,083,284	1.06	1,228,641	278,623,287	92,464	11,459,997
2011	7,059	3.21	1,251,123	277,620,949	1.13	1,162,492	266,021,774	88,631	11,599,175
2012	7,271	3.36	1,185,168	265,760,846	1.21	1,100,199	254,010,763	84,968	11,750,083
2013	7,489	3.51	1,122,969	254,470,572	1.28	1,041,502	242,558,274	81,467	11,912,298
2014	7,714	3.68	1,064,366	243,751,997	1.37	986,245	231,665,029	78,121	12,086,968
2015	7,945	3.85	1,009,032	233,541,747	1.46	934,110	221,269,689	74,922	12,272,058
2016	8,183	4.03	956,832	223,842,387	1.56	884,968	211,373,719	71,864	12,468,667
2017	8,429	4.23	907,623	214,650,727	1.66	838,683	201,972,920	68,941	12,677,807
2018	8,682	4.43	861,139	205,911,582	1.77	794,993	193,014,147	66,145	12,897,436
2019	8,942	4.64	817,202	197,601,266	1.88	753,666	184,474,218	-14,548,949	13,127,049
2020	9,210	4.86	775,705	189,718,548	1.00	693,363	173,277,010	82,342	16,441,539
2021	9,487	5.10	736,537	182,258,282	1.09	657,515	165,502,787	79,022	16,755,495
2022	9,771	5.34	699,447	175,158,464	1.19	623,600	158,077,595	75,847	17,080,868
2023	10,064	5.60	664,396	168,435,938	1.30	591,585	151,015,510	72,811	17,420,429
2024	10,366	5.87	631,249	162,068,506	1.41	561,341	144,295,153	69,907	17,773,352
2025	10,677	6.15	599,882	156,035,858	1.53	532,752	137,897,072	67,130	18,138,786
2026	10,998	6.45	570,217	150,333,018	1.65	505,744	131,815,496	64,473	18,517,523
2027	11,328	6.67	21,721,666	144,450,624	1.71	479,214	125,838,091	21,242,453	18,612,533
TOTAL			39,765,663	4,355,932,300		65,827,521	4,081,605,557	-26,061,857	274,326,743

Net Present Value (NPV)

248,264,885 Euro (€)

Internal Rate of Return

45.31 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	6460 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	560000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI1-T3
Length	268.41 km
Width	10.32 m
# of Lanes	2
SNC	5.33
CBR	8.00 %
Current IRI (2007)	2.70 m/km
Year of Last Overlay	2000

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative				
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	3			
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2	T3	
Calibration Coefficients		Year	2008	2018	2024	
Road Deterioration Model	RWE model	Thickness (mm)	80	80	30	
m	0.06	Linear	Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3
Kgp	0.532					
Kgm	0.5					

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	6,460	2.82	1,474,477	317,008,854	2.82	35,545,369	317,008,854	-34,070,892	0
2009	6,654	2.94	1,395,529	303,228,849	1.00	1,299,055	291,894,170	96,475	11,334,679
2010	6,853	3.07	1,321,105	290,083,284	1.06	1,228,641	278,623,287	92,464	11,459,997
2011	7,059	3.21	1,251,123	277,620,949	1.13	1,162,492	266,021,774	88,631	11,599,175
2012	7,271	3.36	1,185,168	265,760,846	1.21	1,100,199	254,010,763	84,968	11,750,083
2013	7,489	3.51	1,122,969	254,470,572	1.28	1,041,502	242,558,274	81,467	11,912,298
2014	7,714	3.68	1,064,366	243,751,997	1.37	986,245	231,665,029	78,121	12,086,968
2015	7,945	3.85	1,009,032	233,541,747	1.46	934,110	221,269,689	74,922	12,272,058
2016	8,183	4.03	956,832	223,842,387	1.56	884,968	211,373,719	71,864	12,468,667
2017	8,429	4.23	907,623	214,650,727	1.66	838,683	201,972,920	68,941	12,677,807
2018	8,682	4.43	861,139	205,911,582	1.77	16,576,408	193,014,147	-15,715,270	12,897,436
2019	8,942	4.64	817,202	197,601,266	1.00	733,407	181,693,644	83,795	15,907,622
2020	9,210	4.86	775,705	189,718,548	1.09	695,291	173,516,139	80,415	16,202,410
2021	9,487	5.10	736,537	182,258,282	1.19	659,355	165,745,674	77,182	16,512,608
2022	9,771	5.34	699,447	175,158,464	1.29	625,357	158,324,453	74,091	16,834,011
2023	10,064	5.60	664,396	168,435,938	1.40	593,262	151,266,585	71,134	17,169,353
2024	10,366	5.87	631,249	162,068,506	1.51	4,848,173	144,550,678	-4,216,924	17,517,828
2025	10,677	6.15	599,882	156,035,858	1.26	528,813	137,262,717	71,070	18,773,142
2026	10,998	6.45	570,217	150,333,018	1.37	501,968	131,166,494	68,249	19,166,525
2027	11,328	6.67	21,721,666	144,450,624	1.41	475,595	125,188,239	21,246,071	19,262,385
TOTAL			39,765,663	4,355,932,300		71,258,889	4,078,127,248	-31,493,226	277,805,052

Net Present Value (NPV) 246,311,826 Euro (€)**Internal Rate of Return** 45.10 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	9236 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	500000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI1-T4
Length	22.33 km
Width	7.10 m
# of Lanes	2
SNC	5.13
CBR	9.00 %
Current IRI (2007)	2.70 m/km
Year of Last Overlay	2001

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	
Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2019	2025
Thickness (mm)	80	80	60
Cost (€/m2)	12.3	12.3	9.5

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.467
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	9,236	2.81	153,631	31,869,228	2.81	2,103,710	31,869,228	-1,950,079	0	
2009	9,513	2.93	145,597	30,468,446	1.00	137,629	29,482,510	7,967	985,936	
2010	9,798	3.05	138,012	29,134,240	1.06	130,380	28,136,627	7,632	997,613	
2011	10,092	3.18	130,857	27,865,802	1.12	123,546	26,855,424	7,312	1,010,378	
2012	10,395	3.32	124,103	26,659,269	1.18	117,097	25,635,076	7,006	1,024,193	
2013	10,707	3.46	117,722	25,511,121	1.25	111,009	24,472,103	6,713	1,039,019	
2014	11,028	3.62	111,691	24,418,148	1.33	105,258	23,363,331	6,434	1,054,816	
2015	11,359	3.78	105,994	23,379,464	1.41	99,828	22,307,822	6,167	1,071,643	
2016	11,700	3.95	100,609	22,391,935	1.50	94,698	21,302,480	5,911	1,089,456	
2017	12,051	4.13	95,515	21,452,700	1.59	89,848	20,344,487	5,668	1,108,213	
2018	12,412	4.31	90,695	20,559,142	1.69	85,260	19,431,270	5,434	1,127,873	
2019	12,785	4.51	86,140	19,711,943	1.79	917,284	18,563,372	-831,144	1,148,571	
2020	13,168	4.72	81,824	18,905,382	1.00	75,232	17,502,717	6,591	1,402,665	
2021	13,563	4.93	77,740	18,140,137	1.08	71,418	16,709,963	6,323	1,430,174	
2022	13,970	5.16	73,874	17,413,808	1.17	67,809	15,954,948	6,066	1,458,859	
2023	14,389	5.40	70,213	16,724,202	1.27	64,392	15,235,541	5,820	1,488,661	
2024	14,821	5.65	66,745	16,070,395	1.36	61,160	14,550,778	5,585	1,519,617	
2025	15,266	5.91	63,459	15,450,321	1.47	58,099	13,898,662	5,361	1,551,659	
2026	15,724	6.18	60,344	14,862,088	1.58	55,199	13,277,373	5,146	1,584,715	
2027	16,195	6.39	1,269,602	14,265,738	1.63	52,381	12,672,151	1,217,221	1,593,586	
TOTAL			3,164,369	435,253,509		4,621,235	411,565,862	-1,456,866	23,687,647	

Net Present Value (NPV)

22,230,781 Euro (€)

Internal Rate of Return

64.34 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	9236 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	500000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI1-T4
Length	22.33 km
Width	7.10 m
# of Lanes	2
SNC	5.13
CBR	9.00 %
Current IRI (2007)	2.70 m/km
Year of Last Overlay	2001

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	
Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2023
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.467
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	9,236	2.81	153,631	31,869,228	2.81	2,103,710	31,869,228	-1,950,079	0
2009	9,513	2.93	145,597	30,468,446	1.00	137,629	29,482,510	7,967	985,936
2010	9,798	3.05	138,012	29,134,240	1.06	130,380	28,136,627	7,632	997,613
2011	10,092	3.18	130,857	27,865,802	1.12	123,546	26,855,424	7,312	1,010,378
2012	10,395	3.32	124,103	26,659,269	1.18	117,097	25,635,076	7,006	1,024,193
2013	10,707	3.46	117,722	25,511,121	1.25	111,009	24,472,103	6,713	1,039,019
2014	11,028	3.62	111,691	24,418,148	1.33	105,258	23,363,331	6,434	1,054,816
2015	11,359	3.78	105,994	23,379,464	1.41	99,828	22,307,822	6,167	1,071,643
2016	11,700	3.95	100,609	22,391,935	1.50	94,698	21,302,480	5,911	1,089,456
2017	12,051	4.13	95,515	21,452,700	1.59	89,848	20,344,487	5,668	1,108,213
2018	12,412	4.31	90,695	20,559,142	1.69	85,524	19,431,270	-897,829	1,127,873
2019	12,785	4.51	86,140	19,711,943	1.00	79,417	18,353,130	6,723	1,358,813
2020	13,168	4.72	81,824	18,905,382	1.08	75,375	17,520,591	6,449	1,384,791
2021	13,563	4.93	77,740	18,140,137	1.17	71,554	16,728,151	6,186	1,411,986
2022	13,970	5.16	73,874	17,413,808	1.26	67,939	15,973,468	5,936	1,440,340
2023	14,389	5.40	70,213	16,724,202	1.35	329,407	15,254,411	-259,195	1,469,791
2024	14,821	5.65	66,745	16,070,395	1.18	60,915	14,513,073	5,830	1,557,322
2025	15,266	5.91	63,459	15,450,321	1.27	57,864	13,860,012	5,595	1,590,308
2026	15,724	6.18	60,344	14,862,088	1.38	54,974	13,237,734	5,371	1,624,355
2027	16,195	6.39	1,269,602	14,265,738	1.42	52,166	12,632,353	1,217,437	1,633,385
TOTAL			3,164,369	435,253,509		4,951,137	411,273,279	-1,786,768	23,980,230

Net Present Value (NPV)**22,193,462 Euro (€)****Internal Rate of Return****64.23 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	12663 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	1E+06 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI1-T5
Length	34.58 km
Width	6.59 m
# of Lanes	2
SNC	5.16
CBR	5.00 %
Current IRI (2007)	2.70 m/km
Year of Last Overlay	1980

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	
Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2017	2025
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.293
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative		Project Alternative			Comparison of Alternatives		
		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	12,663	2.85	297,473	81,463,615	2.85	3,100,424	81,463,615	-2,802,951	0
2009	13,043	3.02	282,564	78,007,665	1.00	269,644	74,836,947	12,920	3,170,718
2010	13,434	3.19	268,445	74,720,501	1.08	255,959	71,464,300	12,486	3,256,201
2011	13,837	3.37	255,080	71,598,425	1.17	243,011	68,252,509	12,068	3,345,916
2012	14,252	3.56	242,420	68,632,217	1.26	230,753	65,192,353	11,667	3,439,864
2013	14,680	3.76	230,435	65,817,945	1.36	219,153	62,279,664	11,282	3,538,281
2014	15,120	3.97	219,069	63,142,803	1.46	208,157	59,501,885	10,912	3,640,918
2015	15,574	4.18	208,306	60,607,566	1.57	197,749	56,859,322	10,557	3,748,244
2016	16,041	4.41	198,098	58,200,558	1.68	187,883	54,340,560	10,215	3,859,998
2017	16,522	4.66	188,419	55,918,569	1.80	1,580,706	51,942,176	-1,392,287	3,976,394
2018	17,018	4.91	179,246	53,758,006	1.00	166,723	48,846,482	12,523	4,911,524
2019	17,529	5.17	170,546	51,712,052	1.10	158,445	46,656,351	12,101	5,055,701
2020	18,054	5.45	162,284	49,771,719	1.19	150,587	44,566,690	11,696	5,205,029
2021	18,596	5.75	154,452	47,939,561	1.30	143,144	42,579,283	11,308	5,360,278
2022	19,154	6.05	147,018	46,206,865	1.41	136,084	40,685,818	10,934	5,521,047
2023	19,729	6.37	139,964	44,570,595	1.52	129,388	38,883,104	10,576	5,687,491
2024	20,320	6.71	133,260	43,023,322	1.64	123,028	37,164,157	10,231	5,859,165
2025	20,930	7.07	126,900	41,566,503	1.77	117,000	35,529,753	9,900	6,036,751
2026	21,558	7.44	120,859	40,192,984	1.90	111,278	33,973,238	9,582	6,219,746
2027	22,205	7.69	1,857,398	38,693,111	1.96	105,727	32,441,988	1,751,671	6,251,123
TOTAL			5,582,237	1,135,544,583		7,834,845	1,047,460,194	-2,252,608	88,084,389

Net Present Value (NPV)**85,831,781 Euro (€)****Internal Rate of Return****133.58 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	12663 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	1E+06 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI1-T5
Length	34.58 km
Width	6.59 m
# of Lanes	2
SNC	5.16
CBR	5.00 %
Current IRI (2007)	2.70 m/km
Year of Last Overlay	1980

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	
Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2016	2022
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.293
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	12,663	2.85	297,473	81,463,615	2.85	3,100,424	81,463,615	-2,802,951	0
2009	13,043	3.02	282,564	78,007,665	1.00	269,644	74,836,947	12,920	3,170,718
2010	13,434	3.19	268,445	74,720,501	1.08	255,959	71,464,300	12,486	3,256,201
2011	13,837	3.37	255,080	71,598,425	1.17	243,011	68,252,509	12,068	3,345,916
2012	14,252	3.56	242,420	68,632,217	1.26	230,753	65,192,353	11,667	3,439,864
2013	14,680	3.76	230,435	65,817,945	1.36	219,153	62,279,664	11,282	3,538,281
2014	15,120	3.97	219,069	63,142,803	1.46	208,157	59,501,885	10,912	3,640,918
2015	15,574	4.18	208,306	60,607,566	1.57	197,749	56,859,322	10,557	3,748,244
2016	16,041	4.41	198,098	58,200,558	1.68	1,702,230	54,340,560	-1,504,132	3,859,998
2017	16,522	4.66	188,419	55,918,569	1.00	175,771	51,216,647	12,648	4,701,922
2018	17,018	4.91	179,246	53,758,006	1.09	167,023	48,918,618	12,223	4,839,388
2019	17,529	5.17	170,546	51,712,052	1.19	158,731	46,729,724	11,815	4,982,328
2020	18,054	5.45	162,284	49,771,719	1.29	150,860	44,641,337	11,423	5,130,382
2021	18,596	5.75	154,452	47,939,561	1.40	143,405	42,655,251	11,047	5,284,310
2022	19,154	6.05	147,018	46,206,865	1.51	547,533	40,763,147	-400,515	5,443,718
2023	19,729	6.37	139,964	44,570,595	1.26	128,807	38,701,235	11,157	5,869,360
2024	20,320	6.71	133,260	43,023,322	1.37	122,471	36,978,076	10,788	6,045,246
2025	20,930	7.07	126,900	41,566,503	1.48	116,466	35,339,306	10,435	6,227,197
2026	21,558	7.44	120,859	40,192,984	1.60	110,765	33,778,288	10,095	6,414,696
2027	22,205	7.69	1,857,398	38,693,111	1.66	105,235	32,246,295	1,752,163	6,446,816
TOTAL			5,582,237	1,135,544,583		8,354,149	1,046,159,079	-2,771,912	89,385,504

Net Present Value (NPV)

86,613,593 Euro (€)

Internal Rate of Return

133.53 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI1-T6
Analysis Period	20 years	Length	107.32 km
Discount rate	8 %	Width	22.00 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	4
Traffic		SNC	6.46
Initial AADT (2008)	21037 vehicles/day	CBR	6.00 %
Initial YE4 (2008)	620000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	2.70 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1980

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	2	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2019
		Thickness (mm)	80	80
		Cost (€/m2)	12.3	12.3
				2025
				30
				5.3

Calibration Coefficients		RWE model
Road Deterioration Model		Linear
m	0.06	
Kgp	0.285	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives		
	AADT 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	21,037	2.83	1,372,040	352,006,651	2.83	30,412,832	352,006,651	-29,040,792	0
2009	21,668	2.97	1,304,466	336,682,935	1.00	1,265,382	325,473,676	39,084	11,209,259
2010	22,318	3.11	1,240,360	322,094,588	1.08	1,202,980	310,711,329	37,380	11,383,259
2011	22,988	3.26	1,179,551	308,213,533	1.16	1,143,799	296,649,666	35,752	11,563,868
2012	23,677	3.41	1,121,797	294,986,507	1.24	1,087,598	283,236,379	34,199	11,750,128
2013	24,388	3.57	1,067,027	282,413,620	1.33	1,034,312	270,470,548	32,715	11,943,072
2014	25,119	3.74	1,014,986	270,434,122	1.43	983,688	258,292,885	31,299	12,141,237
2015	25,873	3.92	965,610	259,046,864	1.53	935,664	246,701,265	29,946	12,345,599
2016	26,649	4.10	918,703	248,207,492	1.63	890,049	235,652,319	28,654	12,555,173
2017	27,449	4.29	874,174	237,903,320	1.74	846,753	225,132,927	27,421	12,770,393
2018	28,272	4.49	831,851	228,095,100	1.85	805,608	215,104,832	26,243	12,990,267
2019	29,120	4.70	791,652	218,771,025	1.97	764,632	205,555,843	-12,429,980	13,215,182
2020	29,994	4.91	753,470	209,910,301	1.00	720,121	193,228,027	33,350	16,682,275
2021	30,894	5.14	717,184	201,486,040	1.09	685,278	184,504,802	31,906	16,981,239
2022	31,820	5.37	682,681	193,473,625	1.19	652,154	176,188,212	30,527	17,285,413
2023	32,775	5.61	649,908	185,867,457	1.30	620,698	168,271,799	29,211	17,595,658
2024	33,758	5.87	618,745	178,637,994	1.40	590,792	160,727,367	27,953	17,910,627
2025	34,771	6.13	589,126	171,773,982	1.52	562,374	153,543,427	26,753	18,230,555
2026	35,814	6.40	560,959	165,254,003	1.63	535,353	146,699,425	25,606	18,554,578
2027	36,889	6.61	18,587,484	158,660,395	1.68	509,315	140,021,408	18,078,169	18,638,986
TOTAL			35,841,775	4,823,919,554		58,706,382	4,548,172,786	-22,864,606	275,746,768

Net Present Value (NPV) 252,882,162 Euro (€)**Internal Rate of Return** 51.34 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	21037 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	620000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI1-T6
Length	107.32 km
Width	22.00 m
# of Lanes	4
SNC	6.46
CBR	6.00 %
Current IRI (2007)	2.70 m/km
Year of Last Overlay	1980

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	
Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2023
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.285
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives		
	AADT 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	21,037	2.83	1,372,040	352,006,651	2.83	30,412,832	352,006,651	-29,040,792	0
2009	21,668	2.97	1,304,466	336,682,935	1.00	1,265,382	325,473,676	39,084	11,209,259
2010	22,318	3.11	1,240,360	322,094,588	1.08	1,202,980	310,711,329	37,380	11,383,259
2011	22,988	3.26	1,179,551	308,213,533	1.16	1,143,799	296,649,666	35,752	11,563,868
2012	23,677	3.41	1,121,797	294,986,507	1.24	1,087,598	283,236,379	34,199	11,750,128
2013	24,388	3.57	1,067,027	282,413,620	1.33	1,034,312	270,470,548	32,715	11,943,072
2014	25,119	3.74	1,014,986	270,434,122	1.43	983,688	258,292,885	31,299	12,141,237
2015	25,873	3.92	965,610	259,046,864	1.53	935,664	246,701,265	29,946	12,345,599
2016	26,649	4.10	918,703	248,207,492	1.63	890,049	235,652,319	28,654	12,555,173
2017	27,449	4.29	874,174	237,903,320	1.74	846,753	225,132,927	27,421	12,770,393
2018	28,272	4.49	831,851	228,095,100	1.85	14,257,114	215,104,832	-13,425,263	12,990,267
2019	29,120	4.70	791,652	218,771,025	1.00	757,616	202,605,326	34,036	16,165,699
2020	29,994	4.91	753,470	209,910,301	1.09	720,909	193,456,276	32,562	16,454,025
2021	30,894	5.14	717,184	201,486,040	1.19	686,030	184,737,864	31,154	16,748,177
2022	31,820	5.37	682,681	193,473,625	1.29	652,871	176,426,198	29,810	17,047,427
2023	32,775	5.61	649,908	185,867,457	1.40	4,566,163	168,514,831	-3,916,255	17,352,626
2024	33,758	5.87	618,745	178,637,994	1.20	589,508	160,265,527	29,237	18,372,466
2025	34,771	6.13	589,126	171,773,982	1.30	561,147	153,070,779	27,979	18,703,203
2026	35,814	6.40	560,959	165,254,003	1.42	534,182	146,215,734	26,778	19,038,269
2027	36,889	6.61	18,587,484	158,660,395	1.46	508,195	139,537,902	18,079,289	19,122,493
TOTAL			35,841,775	4,823,919,554		63,636,792	4,544,262,913	-27,795,017	279,656,641

Net Present Value (NPV)

251,861,624 Euro (€)

Internal Rate of Return

51.18 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	1488 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	90000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI2-T1
Length	222.38 km
Width	6.71 m
# of Lanes	2
SNC	4.25
CBR	12.00 %
Current IRI (2007)	3.80 m/km
Year of Last Overlay	1978

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2020	2025
Thickness (mm)	80	30	30
Cost (€/m2)	12.3	5.3	5.3

Calibration Coefficients**Road Deterioration Model** RWE model

m	0.06	Linear
Kgp	0.396	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	1,488	3.99	720,750	55,027,466	3.99	19,074,439	55,027,466	-18,353,689	0
2009	1,533	4.18	679,964	52,760,917	1.00	549,052	49,439,203	130,912	3,321,714
2010	1,579	4.38	641,682	50,594,132	1.10	516,561	47,214,119	125,121	3,380,013
2011	1,626	4.59	605,735	48,523,184	1.20	486,142	45,084,229	119,593	3,438,955
2012	1,675	4.81	572,051	46,572,128	1.31	457,734	43,071,646	114,316	3,500,483
2013	1,725	5.04	540,390	44,705,794	1.43	431,110	41,143,490	109,279	3,562,304
2014	1,777	5.28	510,690	42,945,314	1.55	406,218	39,319,009	104,471	3,626,305
2015	1,830	5.53	482,747	41,260,332	1.68	382,866	37,570,092	99,882	3,690,240
2016	1,885	5.79	456,509	39,669,381	1.81	361,009	35,913,440	95,500	3,755,941
2017	1,942	6.06	431,857	38,165,808	1.95	340,540	34,342,637	91,317	3,823,171
2018	2,000	6.34	408,630	36,725,245	2.10	321,306	32,835,498	87,324	3,889,747
2019	2,060	6.63	386,787	35,363,006	2.25	303,275	31,405,589	83,512	3,957,417
2020	2,122	6.93	366,233	34,073,889	2.41	3,426,935	30,047,956	-3,060,702	4,025,933
2021	2,185	7.25	346,841	32,838,126	1.70	256,209	28,280,554	90,633	4,557,572
2022	2,251	7.57	328,617	31,682,399	1.85	241,944	27,044,098	86,673	4,638,301
2023	2,318	7.92	311,407	30,573,494	2.00	228,514	25,856,277	82,893	4,717,217
2024	2,388	8.27	295,216	29,534,961	2.16	215,932	24,736,846	79,284	4,798,116
2025	2,459	8.64	279,913	28,537,749	2.33	204,075	23,661,106	75,838	4,876,643
2026	2,533	9.02	265,500	27,602,647	2.50	192,953	22,646,172	72,548	4,956,476
2027	2,609	9.30	11,660,483	26,591,457	2.58	181,408	21,631,788	11,479,075	4,959,669
TOTAL			20,292,004	773,747,430		28,578,223	696,271,211	-8,286,220	77,476,219

Net Present Value (NPV)

69,189,999 Euro (€)

Internal Rate of Return

29.36 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	1488 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	90000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI2-T1
Length	222.38 km
Width	6.71 m
# of Lanes	2
SNC	4.25
CBR	12.00 %
Current IRI (2007)	3.80 m/km
Year of Last Overlay	1978

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	
Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2019	2023
Thickness (mm)	80	30	30
Cost (€/m2)	12.3	5.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.396
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	1,488	3.99	720,750	55,027,466	3.99	19,074,439	55,027,466	-18,353,689	0
2009	1,533	4.18	679,964	52,760,917	1.00	549,052	49,439,203	130,912	3,321,714
2010	1,579	4.38	641,682	50,594,132	1.10	516,561	47,214,119	125,121	3,380,013
2011	1,626	4.59	605,735	48,523,184	1.20	486,142	45,084,229	119,593	3,438,955
2012	1,675	4.81	572,051	46,572,128	1.31	457,734	43,071,646	114,316	3,500,483
2013	1,725	5.04	540,390	44,705,794	1.43	431,110	41,143,490	109,279	3,562,304
2014	1,777	5.28	510,690	42,945,314	1.55	406,218	39,319,009	104,471	3,626,305
2015	1,830	5.53	482,747	41,260,332	1.68	382,866	37,570,092	99,882	3,690,240
2016	1,885	5.79	456,509	39,669,381	1.81	361,009	35,913,440	95,500	3,755,941
2017	1,942	6.06	431,857	38,165,808	1.95	340,540	34,342,637	91,317	3,823,171
2018	2,000	6.34	408,630	36,725,245	2.10	321,306	32,835,498	87,324	3,889,747
2019	2,060	6.63	386,787	35,363,006	2.25	3,695,095	31,405,589	-3,308,308	3,957,417
2020	2,122	6.93	366,233	34,073,889	1.62	272,517	29,623,318	93,716	4,450,571
2021	2,185	7.25	346,841	32,838,126	1.77	257,224	28,310,189	89,617	4,527,937
2022	2,251	7.57	328,617	31,682,399	1.91	242,913	27,074,495	85,704	4,607,904
2023	2,318	7.92	311,407	30,573,494	2.07	2,722,528	25,887,433	-2,411,120	4,686,061
2024	2,388	8.27	295,216	29,534,961	1.53	207,774	24,467,968	87,442	5,066,993
2025	2,459	8.64	279,913	28,537,749	1.68	196,289	23,385,114	83,624	5,152,634
2026	2,533	9.02	265,500	27,602,647	1.84	185,522	22,362,893	79,979	5,239,754
2027	2,609	9.30	11,660,483	26,591,457	1.89	174,316	21,348,585	11,486,167	5,242,872
TOTAL			20,292,004	773,747,430		31,281,156	694,826,412	-10,989,152	78,921,018

Net Present Value (NPV) 67,931,866 Euro (€)**Internal Rate of Return** 29.14 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	3261 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	184000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI2-T2
Length	514.98 km
Width	7.40 m
# of Lanes	2
SNC	33.53
CBR	6.00 %
Current IRI (2007)	4.05 m/km
Year of Last Overlay	1974

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	
Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2019	2025
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.486	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	3,261	4.26	2,153,978	272,740,813	4.26	49,027,457	272,740,813	-46,873,480	0
2009	3,359	4.48	2,038,737	261,670,530	1.00	1,706,825	243,572,633	331,912	18,097,897
2010	3,460	4.71	1,930,227	251,157,015	1.12	1,613,680	232,690,560	316,546	18,466,454
2011	3,563	4.95	1,827,790	241,100,162	1.26	1,525,898	222,267,217	301,892	18,832,945
2012	3,670	5.20	1,731,435	231,610,097	1.39	1,443,520	212,403,405	287,915	19,206,692
2013	3,780	5.45	1,640,557	222,586,849	1.54	1,365,971	203,005,808	274,586	19,581,041
2014	3,894	5.72	1,554,965	214,060,081	1.69	1,293,091	194,100,299	261,874	19,959,782
2015	4,011	6.00	1,474,144	205,944,092	1.85	1,224,394	185,607,767	249,750	20,336,325
2016	4,131	6.29	1,397,794	198,217,820	2.01	1,159,606	177,508,526	238,188	20,709,294
2017	4,255	6.59	1,325,765	190,906,421	2.18	1,098,604	169,824,168	227,161	21,082,253
2018	4,383	6.91	1,257,772	183,982,706	2.37	1,041,128	162,529,095	216,644	21,453,612
2019	4,514	7.23	1,193,439	177,382,508	2.55	21,090,057	155,565,584	-19,896,618	21,816,925
2020	4,649	7.57	1,132,652	171,127,259	1.00	863,934	144,582,830	268,718	26,544,429
2021	4,789	7.92	1,075,278	165,229,881	1.15	819,001	138,183,196	256,277	27,046,685
2022	4,933	8.28	1,021,001	159,631,637	1.31	776,588	132,090,347	244,413	27,541,290
2023	5,081	8.66	969,628	154,314,474	1.48	736,531	126,288,304	233,098	28,026,169
2024	5,233	9.05	920,984	149,261,556	1.66	698,678	120,762,339	222,306	28,499,217
2025	5,390	9.46	874,974	144,483,931	1.84	662,959	115,520,260	212,014	28,963,671
2026	5,552	9.88	831,430	139,961,994	2.03	629,231	110,544,853	202,199	29,417,141
2027	5,718	10.18	29,926,656	134,985,425	2.09	593,980	105,531,974	29,332,675	29,453,451
TOTAL			56,279,205	3,870,355,250		89,371,134	3,425,319,979	-33,091,929	445,035,272

Net Present Value (NPV) 411,943,343 Euro (€)**Internal Rate of Return** 52.22 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI2-T2
Analysis Period	20 years	Length	514.98 km
Discount rate	8 %	Width	7.40 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	33.53
Initial AADT (2008)	3261 vehicles/day	CBR	6.00 %
Initial YE4 (2008)	184000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	4.05 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1974

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	3	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2018
		Thickness (mm)	80	30
		Cost (€/m2)	12.3	5.3
			2023	2023

Calibration Coefficients		RWE model	
Road Deterioration Model		Linear	
m	0.06		
Kgp	0.486		
Kgm	0.5		

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	3,261	4.26	2,153,978	272,740,813	4.26	49,027,457	272,740,813	-46,873,480	0
2009	3,359	4.48	2,038,737	261,670,530	1.00	1,706,825	243,572,633	331,912	18,097,897
2010	3,460	4.71	1,930,227	251,157,015	1.12	1,613,680	232,690,560	316,546	18,466,454
2011	3,563	4.95	1,827,790	241,100,162	1.26	1,525,898	222,267,217	301,892	18,832,945
2012	3,670	5.20	1,731,435	231,610,097	1.39	1,443,520	212,403,405	287,915	19,206,692
2013	3,780	5.45	1,640,557	222,586,849	1.54	1,365,971	203,005,808	274,586	19,581,041
2014	3,894	5.72	1,554,965	214,060,081	1.69	1,293,091	194,100,299	261,874	19,959,782
2015	4,011	6.00	1,474,144	205,944,092	1.85	1,224,394	185,607,767	249,750	20,336,325
2016	4,131	6.29	1,397,794	198,217,820	2.01	1,159,606	177,508,526	238,188	20,709,294
2017	4,255	6.59	1,325,765	190,906,421	2.18	1,098,604	169,824,168	227,161	21,082,253
2018	4,383	6.91	1,257,772	183,982,706	2.37	1,039,648	162,529,095	-9,138,714	21,453,612
2019	4,514	7.23	1,193,439	177,382,508	1.68	948,307	153,122,316	245,132	24,260,192
2020	4,649	7.57	1,132,652	171,127,259	1.85	898,868	146,434,520	233,784	24,692,739
2021	4,789	7.92	1,075,278	165,229,881	2.03	852,318	140,105,435	222,961	25,124,446
2022	4,933	8.28	1,021,001	159,631,637	2.22	808,362	134,083,581	212,638	25,548,056
2023	5,081	8.66	969,628	154,314,474	2.42	7,133,933	128,352,818	-6,164,305	25,961,656
2024	5,233	9.05	920,984	149,261,556	1.71	700,183	120,859,997	220,801	28,401,560
2025	5,390	9.46	874,974	144,483,931	1.89	664,395	115,621,653	210,579	28,862,277
2026	5,552	9.88	831,430	139,961,994	2.09	630,599	110,650,001	200,830	29,311,993
2027	5,718	10.18	29,926,656	134,985,425	2.15	595,286	105,636,985	29,331,370	29,348,439
TOTAL			56,279,205	3,870,355,250		85,087,784	3,431,117,598	-28,808,579	439,237,652

Net Present Value (NPV) **410,429,073 Euro (€)**

Internal Rate of Return **52.31 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	5829 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	370000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI2-T3
Length	624.27 km
Width	7.80 m
# of Lanes	2
SNC	3.81
CBR	4.19 %
Current IRI (2007)	3.81 m/km
Year of Last Overlay	1978

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	
Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2025
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.497
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	5,829	4.06	3,387,844	620,925,704	4.06	63,280,308	620,925,704	-59,892,464	0
2009	6,004	4.33	3,218,186	596,462,896	1.00	2,833,492	556,108,548	384,694	40,354,348
2010	6,184	4.61	3,057,950	573,304,744	1.12	2,685,071	531,269,113	372,880	42,035,631
2011	6,370	4.90	2,906,772	551,473,280	1.26	2,545,263	507,678,822	361,509	43,794,458
2012	6,561	5.21	2,763,803	530,810,974	1.39	2,413,239	485,187,403	350,563	45,623,570
2013	6,757	5.54	2,628,525	511,263,788	1.54	2,288,501	463,741,644	340,025	47,522,144
2014	6,960	5.89	2,500,856	492,922,921	1.69	2,170,981	443,419,669	329,875	49,503,253
2015	7,169	6.25	2,380,085	475,647,831	1.85	2,059,985	424,089,173	320,100	51,558,658
2016	7,384	6.63	2,265,769	459,383,455	2.02	1,955,088	405,696,805	310,681	53,686,650
2017	7,606	7.03	2,157,658	444,137,054	2.20	1,856,051	388,244,671	301,606	55,892,384
2018	7,834	7.45	2,055,196	429,795,389	2.39	1,764,135	371,629,468	-27,448,940	58,165,921
2019	8,069	7.90	1,958,174	416,365,895	1.00	1,588,895	346,179,262	369,278	70,186,633
2020	8,311	8.36	1,866,244	403,797,621	1.15	1,508,496	330,828,832	357,748	72,968,789
2021	8,560	8.85	1,779,087	392,042,806	1.30	1,432,431	316,219,082	346,656	75,823,724
2022	8,817	9.37	1,696,515	381,099,531	1.46	1,360,532	302,345,207	335,983	78,754,324
2023	9,081	9.91	1,618,135	370,876,751	1.63	1,292,423	289,132,051	325,711	81,744,699
2024	9,354	10.48	1,543,879	361,410,810	1.81	1,228,055	276,606,118	315,824	84,804,692
2025	9,634	11.08	1,473,310	352,576,419	2.00	1,167,005	264,669,622	306,305	87,906,798
2026	9,923	11.70	1,406,373	344,404,685	2.19	1,109,235	253,346,433	297,138	91,058,251
2027	10,221	12.07	38,567,458	333,082,879	2.27	1,050,726	241,966,652	37,516,732	91,116,227
TOTAL			81,231,820	9,041,785,432		125,329,913	7,819,284,278	-44,098,093	1,222,501,154

Net Present Value (NPV) 1,178,403,060 Euro (€)**Internal Rate of Return** 85.82 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	5829 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	370000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI2-T3
Length	624.27 km
Width	7.80 m
# of Lanes	2
SNC	3.81
CBR	4.19 %
Current IRI (2007)	3.81 m/km
Year of Last Overlay	1978

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	
Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2017	2022
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.497
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	5,829	4.06	3,387,844	620,925,704	4.06	63,280,308	620,925,704	-59,892,464	0
2009	6,004	4.33	3,218,186	596,462,896	1.00	2,833,492	556,108,548	384,694	40,354,348
2010	6,184	4.61	3,057,950	573,304,744	1.12	2,685,071	531,269,113	372,880	42,035,631
2011	6,370	4.90	2,906,772	551,473,280	1.26	2,545,263	507,678,822	361,509	43,794,458
2012	6,561	5.21	2,763,803	530,810,974	1.39	2,413,239	485,187,403	350,563	45,623,570
2013	6,757	5.54	2,628,525	511,263,788	1.54	2,288,501	463,741,644	340,025	47,522,144
2014	6,960	5.89	2,500,856	492,922,921	1.69	2,170,981	443,419,669	329,875	49,503,253
2015	7,169	6.25	2,380,085	475,647,831	1.85	2,059,985	424,089,173	320,100	51,558,658
2016	7,384	6.63	2,265,769	459,383,455	2.02	1,955,088	405,696,805	310,681	53,686,650
2017	7,606	7.03	2,157,658	444,137,054	2.20	31,817,194	388,244,671	-29,659,537	55,892,384
2018	7,834	7.45	2,055,196	429,795,389	1.00	1,682,031	362,984,980	373,165	66,810,409
2019	8,069	7.90	1,958,174	416,365,895	1.14	1,596,628	346,877,420	361,546	69,488,476
2020	8,311	8.36	1,866,244	403,797,621	1.30	1,515,877	331,553,683	350,367	72,243,938
2021	8,560	8.85	1,779,087	392,042,806	1.46	1,439,478	316,971,066	339,609	75,071,739
2022	8,817	9.37	1,696,515	381,099,531	1.62	10,153,647	303,124,799	-8,457,132	77,974,732
2023	9,081	9.91	1,618,135	370,876,751	1.31	1,279,711	287,648,224	338,424	83,228,527
2024	9,354	10.48	1,543,879	361,410,810	1.48	1,215,859	275,059,330	328,020	86,351,480
2025	9,634	11.08	1,473,310	352,576,419	1.65	1,155,303	263,058,632	318,007	89,517,787
2026	9,923	11.70	1,406,373	344,404,685	1.83	1,098,005	251,669,752	308,369	92,734,933
2027	10,221	12.07	38,567,458	333,082,879	1.89	1,039,947	240,280,083	37,527,512	92,802,796
TOTAL			81,231,820	9,041,785,432		136,225,608	7,805,589,519	-54,993,788	1,236,195,913

Net Present Value (NPV) 1,181,202,126 Euro (€)**Internal Rate of Return** 85.73 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	9096 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	560000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI2-T4
Length	246.53 km
Width	10.08 m
# of Lanes	2
SNC	4.84
CBR	7.00 %
Current IRI (2007)	4.00 m/km
Year of Last Overlay	1978

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2025
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.332
Kgm	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	9,096	4.20	1,747,240	376,324,709	4.20	32,313,016	376,324,709	-30,565,776	0
2009	9,369	4.40	1,658,367	360,906,994	1.00	1,503,034	336,260,713	155,333	24,646,280
2010	9,650	4.62	1,574,319	346,252,766	1.09	1,425,254	321,083,244	149,064	25,169,522
2011	9,939	4.84	1,494,790	332,320,568	1.19	1,351,720	306,611,160	143,070	25,709,408
2012	10,238	5.08	1,419,682	319,134,639	1.29	1,282,345	292,864,440	137,337	26,270,200
2013	10,545	5.32	1,348,527	306,589,109	1.39	1,216,672	279,743,325	131,855	26,845,783
2014	10,861	5.58	1,281,166	294,679,509	1.51	1,154,556	267,241,763	126,611	27,437,746
2015	11,187	5.85	1,217,436	283,396,395	1.62	1,095,842	255,348,842	121,595	28,047,553
2016	11,523	6.13	1,157,103	272,702,734	1.75	1,040,307	244,028,680	116,796	28,674,054
2017	11,868	6.42	1,099,891	262,542,530	1.87	987,685	233,228,955	112,206	29,313,576
2018	12,224	6.73	1,045,730	252,930,358	2.01	15,095,784	222,960,552	-14,050,054	29,969,805
2019	12,591	7.05	994,425	243,833,258	1.00	866,531	209,317,510	127,894	34,515,748
2020	12,969	7.38	945,797	235,221,023	1.11	822,955	199,920,067	122,842	35,300,956
2021	13,358	7.73	899,682	227,065,854	1.22	781,672	190,964,783	118,009	36,101,070
2022	13,759	8.09	855,969	219,358,000	1.34	742,583	182,441,063	113,385	36,916,938
2023	14,171	8.47	814,470	212,055,707	1.46	705,509	174,311,830	108,961	37,743,876
2024	14,596	8.87	775,130	205,165,042	1.59	670,403	166,579,962	104,727	38,585,080
2025	15,034	9.28	737,813	198,660,275	1.73	637,137	159,222,088	100,675	39,438,187
2026	15,485	9.71	702,394	192,517,581	1.87	605,597	152,216,917	96,797	40,300,664
2027	15,950	10.02	19,668,859	185,718,155	1.93	574,702	145,325,990	19,094,157	40,392,165
TOTAL			41,438,789	5,327,375,206		64,873,305	4,715,996,595	-23,434,516	611,378,611

Net Present Value (NPV)

587,944,095 Euro (€)

Internal Rate of Return

97.85 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI2-T4
Analysis Period	20 years	Length	246.53 km
Discount rate	8 %	Width	10.08 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	4.84
Initial AADT (2008)	9096 vehicles/day	CBR	7.00 %
Initial YE4 (2008)	560000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	4.00 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1978

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	3	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2017
		Thickness (mm)	80	80
		Cost (€/m2)	12.3	12.3
				2022
				30
				5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.332
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives		
		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	9,096	4.20	1,747,240	376,324,709	4.20	32,313,016	376,324,709	-30,565,776	0	
2009	9,369	4.40	1,658,367	360,906,994	1.00	1,503,034	336,260,713	155,333	24,646,280	
2010	9,650	4.62	1,574,319	346,252,766	1.09	1,425,254	321,083,244	149,064	25,169,522	
2011	9,939	4.84	1,494,790	332,320,568	1.19	1,351,720	306,611,160	143,070	25,709,408	
2012	10,238	5.08	1,419,682	319,134,639	1.29	1,282,345	292,864,440	137,337	26,270,200	
2013	10,545	5.32	1,348,527	306,589,109	1.39	1,216,672	279,743,325	131,855	26,845,783	
2014	10,861	5.58	1,281,166	294,679,509	1.51	1,154,556	267,241,763	126,611	27,437,746	
2015	11,187	5.85	1,217,436	283,396,395	1.62	1,095,842	255,348,842	121,595	28,047,553	
2016	11,523	6.13	1,157,103	272,702,734	1.75	1,040,307	244,028,680	116,796	28,674,054	
2017	11,868	6.42	1,099,891	262,542,530	1.87	16,278,182	233,228,955	-15,178,292	29,313,576	
2018	12,224	6.73	1,045,730	252,930,358	1.00	914,899	219,473,674	130,831	33,456,684	
2019	12,591	7.05	994,425	243,833,258	1.11	868,768	209,615,211	125,657	34,218,047	
2020	12,969	7.38	945,797	235,221,023	1.22	825,090	200,225,158	120,707	34,995,865	
2021	13,358	7.73	899,682	227,065,854	1.33	783,710	191,277,427	115,971	35,788,427	
2022	13,759	8.09	855,969	219,358,000	1.45	5,228,611	182,761,430	-4,372,642	36,596,570	
2023	14,171	8.47	814,470	212,055,707	1.23	701,855	173,702,796	112,615	38,352,911	
2024	14,596	8.87	775,130	205,165,042	1.35	666,903	165,953,380	108,227	39,211,662	
2025	15,034	9.28	737,813	198,660,275	1.48	633,786	158,577,510	104,027	40,082,765	
2026	15,485	9.71	702,394	192,517,581	1.61	602,387	151,553,917	100,007	40,963,664	
2027	15,950	10.02	19,668,859	185,718,155	1.66	571,627	144,661,103	19,097,232	41,057,052	
TOTAL			41,438,789	5,327,375,206		70,458,566	4,710,537,437	-29,019,777	616,837,769	

Net Present Value (NPV) 587,817,992 Euro (€)**Internal Rate of Return** 97.78 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	12431 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	410000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI2-T5
Length	108.86 km
Width	22.00 m
# of Lanes	4
SNC	5.00
CBR	5.00 %
Current IRI (2007)	4.00 m/km
Year of Last Overlay	1986

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2019	2025
Thickness (mm)	80	30	30
Cost (€/m2)	12.3	5.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.296
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	12,431	4.17	952,371	231,382,635	4.17	30,409,887	231,382,635	-29,457,516	0
2009	12,804	4.34	904,103	221,709,933	1.00	836,811	206,694,975	67,293	15,014,958
2010	13,188	4.52	858,413	212,503,373	1.07	794,063	197,314,500	64,351	15,188,873
2011	13,584	4.71	815,183	203,752,060	1.15	753,641	188,381,542	61,542	15,370,518
2012	13,991	4.90	774,215	195,415,169	1.22	715,355	179,857,037	58,860	15,558,133
2013	14,411	5.11	735,448	187,497,077	1.31	679,148	171,743,757	56,300	15,753,320
2014	14,843	5.32	698,705	179,960,343	1.39	644,849	164,006,031	53,856	15,954,312
2015	15,289	5.54	663,927	172,806,960	1.48	612,406	156,644,369	51,521	16,162,590
2016	15,747	5.77	630,929	165,992,279	1.58	581,637	149,616,943	49,292	16,375,336
2017	16,220	6.01	599,689	159,528,572	1.68	552,525	142,933,591	47,164	16,594,981
2018	16,706	6.26	570,043	153,375,586	1.79	524,912	136,556,861	45,131	16,818,725
2019	17,207	6.52	541,944	147,534,167	1.90	5,942,596	130,486,314	-5,400,652	17,047,852
2020	17,724	6.79	515,318	141,993,835	1.45	469,111	123,517,700	46,206	18,476,136
2021	18,255	7.07	490,031	136,721,099	1.55	445,804	117,986,148	44,227	18,734,950
2022	18,803	7.37	466,063	131,722,948	1.66	423,725	112,723,503	42,337	18,999,445
2023	19,367	7.67	443,312	126,975,736	1.77	402,780	107,708,079	40,532	19,267,657
2024	19,948	7.99	421,723	122,471,209	1.88	382,916	102,931,577	38,807	19,539,633
2025	20,547	8.32	401,240	118,200,655	2.01	364,080	98,385,320	37,160	19,815,335
2026	21,163	8.66	381,782	114,144,265	2.13	346,195	94,051,517	35,587	20,092,748
2027	21,798	8.93	18,675,620	109,942,046	2.20	328,899	89,813,204	18,346,720	20,128,842
TOTAL			30,540,060	3,233,629,947		46,211,340	2,902,735,604	-15,671,280	330,894,343

Net Present Value (NPV)**315,223,063 Euro (€)****Internal Rate of Return****64.51 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI2-T5
Analysis Period	20 years	Length	108.86 km
Discount rate	8 %	Width	22.00 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	4
Traffic		SNC	5.00
Initial AADT (2008)	12431 vehicles/day	CBR	5.00 %
Initial YE4 (2008)	410000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	4.00 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1986

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	3	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2018
		Thickness (mm)	80	30
		Cost (€/m2)	12.3	5.3
				2022
				30
				5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.296	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	12,431	4.17	952,371	231,382,635	4.17	30,409,887	231,382,635	-29,457,516	0
2009	12,804	4.34	904,103	221,709,933	1.00	836,811	206,694,975	67,293	15,014,958
2010	13,188	4.52	858,413	212,503,373	1.07	794,063	197,314,500	64,351	15,188,873
2011	13,584	4.71	815,183	203,752,060	1.15	753,641	188,381,542	61,542	15,370,518
2012	13,991	4.90	774,215	195,415,169	1.22	715,355	179,857,037	58,860	15,558,133
2013	14,411	5.11	735,448	187,497,077	1.31	679,148	171,743,757	56,300	15,753,320
2014	14,843	5.32	698,705	179,960,343	1.39	644,849	164,006,031	53,856	15,954,312
2015	15,289	5.54	663,927	172,806,960	1.48	612,406	156,644,369	51,521	16,162,590
2016	15,747	5.77	630,929	165,992,279	1.58	581,637	149,616,943	49,292	16,375,336
2017	16,220	6.01	599,689	159,528,572	1.68	552,525	142,933,591	47,164	16,594,981
2018	16,706	6.26	570,043	153,375,586	1.79	6,404,262	136,556,861	-5,834,219	16,818,725
2019	17,207	6.52	541,944	147,534,167	1.39	494,057	129,396,669	47,887	18,137,497
2020	17,724	6.79	515,318	141,993,835	1.49	469,485	123,602,317	45,833	18,391,518
2021	18,255	7.07	490,031	136,721,099	1.59	446,161	118,072,142	43,870	18,648,957
2022	18,803	7.37	466,063	131,722,948	1.70	4,745,565	112,810,924	-4,279,502	18,912,023
2023	19,367	7.67	443,312	126,975,736	1.35	399,923	106,981,011	43,390	19,994,725
2024	19,948	7.99	421,723	122,471,209	1.45	380,185	102,191,451	41,539	20,279,758
2025	20,547	8.32	401,240	118,200,655	1.56	361,470	97,631,720	39,771	20,568,935
2026	21,163	8.66	381,782	114,144,265	1.67	343,700	93,284,096	38,082	20,860,170
2027	21,798	8.93	18,675,620	109,942,046	1.73	326,514	89,045,153	18,349,105	20,896,893
TOTAL			30,540,060	3,233,629,947		50,951,641	2,898,147,725	-20,411,581	335,482,222

Net Present Value (NPV) 315,070,641 Euro (€)**Internal Rate of Return** 64.45 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI2-T6
Analysis Period	20 years	Length	44.60 km
Discount rate	8 %	Width	22.00 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	4
Traffic		SNC	4.79
Initial AADT (2008)	20012 vehicles/day	CBR	5.50 %
Initial YE4 (2008)	460000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	4.00 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1981

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	2	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2019
		Thickness (mm)	80	70
		Cost (€/m2)	12.3	10.9
				2025
				30
				5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.220	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	20,012	4.16	559,230	133,390,780	4.16	12,627,990	133,390,780	-12,068,760	0
2009	20,612	4.33	531,606	127,763,585	1.00	504,063	119,942,505	27,543	7,821,079
2010	21,231	4.51	505,422	122,414,283	1.07	479,069	114,480,752	26,353	7,933,531
2011	21,868	4.70	480,572	117,320,945	1.14	455,355	109,271,615	25,217	8,049,330
2012	22,524	4.89	456,991	112,474,582	1.21	432,859	104,306,023	24,132	8,168,559
2013	23,199	5.09	434,603	107,861,314	1.29	411,508	99,570,388	23,095	8,290,926
2014	23,895	5.30	413,366	103,477,077	1.37	391,260	95,060,235	22,106	8,416,842
2015	24,612	5.52	393,207	99,308,397	1.45	372,047	90,762,415	21,160	8,545,982
2016	25,351	5.74	374,075	95,346,724	1.54	353,817	86,668,359	20,258	8,678,365
2017	26,111	5.98	355,894	91,576,506	1.63	336,499	82,763,194	19,395	8,813,312
2018	26,894	6.22	338,632	87,993,968	1.73	320,060	79,042,808	18,571	8,951,159
2019	27,701	6.48	322,241	84,591,333	1.83	4,891,393	75,499,461	-4,569,152	9,091,872
2020	28,532	6.74	306,669	81,358,061	1.08	286,615	71,275,421	20,054	10,082,640
2021	29,388	7.02	291,876	78,287,154	1.16	272,670	68,042,013	19,205	10,245,140
2022	30,270	7.31	277,822	75,371,692	1.25	259,428	64,961,211	18,394	10,410,482
2023	31,178	7.61	264,465	72,602,545	1.34	246,845	62,024,340	17,620	10,578,204
2024	32,113	7.92	251,768	69,973,496	1.43	234,889	59,225,322	16,879	10,748,174
2025	33,077	8.24	239,706	67,480,468	1.53	223,534	56,559,913	16,172	10,920,555
2026	34,069	8.57	228,234	65,113,250	1.63	212,738	54,018,765	15,496	11,094,486
2027	35,091	8.84	7,719,901	62,681,749	1.68	202,366	51,556,231	7,517,534	11,125,519
TOTAL			14,746,280	1,856,387,909		23,515,007	1,678,421,750	-8,768,727	177,966,159

Net Present Value (NPV) 169,197,432 Euro (€)**Internal Rate of Return** 79.73 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/18/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI2-T6
Analysis Period	20 years	Length	44.60 km
Discount rate	8 %	Width	22.00 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	4
Traffic		SNC	4.79
Initial AADT (2008)	20012 vehicles/day	CBR	5.50 %
Initial YE4 (2008)	460000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	4.00 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1981

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	3	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2017
		Thickness (mm)	80	30
		Cost (€/m2)	12.3	5.3
				2021
				30
				5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.220	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives		
		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	20,012	4.16	559,230	133,390,780	4.16	12,627,990	133,390,780	-12,068,760	0	
2009	20,612	4.33	531,606	127,763,585	1.00	504,063	119,942,505	27,543	7,821,079	
2010	21,231	4.51	505,422	122,414,283	1.07	479,069	114,480,752	26,353	7,933,531	
2011	21,868	4.70	480,572	117,320,945	1.14	455,355	109,271,615	25,217	8,049,330	
2012	22,524	4.89	456,991	112,474,582	1.21	432,859	104,306,023	24,132	8,168,559	
2013	23,199	5.09	434,603	107,861,314	1.29	411,508	99,570,388	23,095	8,290,926	
2014	23,895	5.30	413,366	103,477,077	1.37	391,260	95,060,235	22,106	8,416,842	
2015	24,612	5.52	393,207	99,308,397	1.45	372,047	90,762,415	21,160	8,545,982	
2016	25,351	5.74	374,075	95,346,724	1.54	353,817	86,668,359	20,258	8,678,365	
2017	26,111	5.98	355,894	91,576,506	1.63	2,937,974	82,763,194	-2,582,080	8,813,312	
2018	26,894	6.22	338,632	87,993,968	1.32	318,353	78,588,920	20,279	9,405,047	
2019	27,701	6.48	322,241	84,591,333	1.40	302,822	75,036,546	19,419	9,554,787	
2020	28,532	6.74	306,669	81,358,061	1.49	288,071	71,650,754	18,598	9,707,307	
2021	29,388	7.02	291,876	78,287,154	1.59	2,186,224	68,424,611	-1,894,348	9,862,543	
2022	30,270	7.31	277,822	75,371,692	1.29	259,563	64,997,938	18,259	10,373,754	
2023	31,178	7.61	264,465	72,602,545	1.39	246,974	62,061,786	17,490	10,540,759	
2024	32,113	7.92	251,768	69,973,496	1.48	235,012	59,263,503	16,756	10,709,992	
2025	33,077	8.24	239,706	67,480,468	1.58	223,652	56,598,849	16,054	10,881,618	
2026	34,069	8.57	228,234	65,113,250	1.68	212,851	54,058,473	15,384	11,054,778	
2027	35,091	8.84	7,719,901	62,681,749	1.73	202,474	51,595,993	7,517,427	11,085,756	
TOTAL			14,746,280	1,856,387,909		23,441,938	1,678,493,640	-8,695,658	177,894,269	

Net Present Value (NPV) **169,198,612 Euro (€)**

Internal Rate of Return **79.67 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI3-T1
Analysis Period	20 years	Length	351.90 km
Discount rate	8 %	Width	5.70 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	4.26
Initial AADT (2008)	1274 vehicles/day	CBR	8.30 %
Initial YE4 (2008)	80000 st.axes of 80 kN/year	Current IRI (2007)	5.50 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1987

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	2	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
Calibration Coefficients		Year	2008	2021
Road Deterioration Model	RWE model	Thickness (mm)	80	30
m	0.06	Cost (€/m2)	12.3	5.3
Kgp	0.362			
Kgm	0.5			

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	1,274	5.71	1,224,301	79,849,348	5.71	25,896,010	79,849,348	-24,671,709	0	
2009	1,312	5.93	1,154,083	76,670,189	1.00	832,830	68,155,397	321,253	8,514,792	
2010	1,352	6.16	1,088,384	73,694,276	1.08	781,755	65,098,724	306,629	8,595,552	
2011	1,392	6.39	1,026,594	70,801,374	1.16	733,916	62,130,343	292,678	8,671,031	
2012	1,434	6.64	968,732	68,090,328	1.24	689,363	59,336,884	279,369	8,753,444	
2013	1,477	6.90	914,393	65,500,776	1.33	647,721	56,664,714	266,672	8,836,062	
2014	1,521	7.16	863,344	63,027,202	1.42	608,786	54,108,688	254,558	8,918,514	
2015	1,567	7.44	815,470	60,703,132	1.52	572,469	51,696,956	243,001	9,006,176	
2016	1,614	7.73	770,452	58,479,872	1.63	538,477	49,387,175	231,976	9,092,697	
2017	1,662	8.03	728,105	56,353,256	1.74	506,649	47,175,550	221,457	9,177,706	
2018	1,712	8.33	688,338	54,351,027	1.85	476,918	45,084,785	211,421	9,266,242	
2019	1,764	8.66	650,973	52,463,309	1.97	449,127	43,105,706	201,846	9,357,603	
2020	1,816	8.99	615,705	50,625,454	2.09	422,995	41,184,758	192,710	9,440,696	
2021	1,871	9.34	582,609	48,918,264	2.23	4,307,574	39,387,527	-3,724,965	9,530,737	
2022	1,927	9.69	551,407	47,279,841	1.61	357,757	37,149,418	193,650	10,130,423	
2023	1,985	10.07	522,038	45,730,798	1.73	337,131	35,504,551	184,907	10,226,248	
2024	2,044	10.45	494,330	44,242,880	1.86	317,765	33,925,801	176,565	10,317,080	
2025	2,106	10.85	468,275	42,854,638	1.99	299,671	32,442,250	168,605	10,412,388	
2026	2,169	11.27	443,672	41,518,367	2.13	282,662	31,016,921	161,010	10,501,446	
2027	2,234	11.61	15,756,582	40,112,392	2.19	265,435	29,616,785	15,491,147	10,495,606	
TOTAL			30,327,787	1,141,266,721		39,325,010	962,022,279	-8,997,223	179,244,442	

Net Present Value (NPV) **170,247,219 Euro (€)**

Internal Rate of Return **47.37 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI3-T1
Analysis Period	20 years	Length	351.90 km
Discount rate	8 %	Width	5.70 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	4.26
Initial AADT (2008)	1274 vehicles/day	CBR	8.30 %
Initial YE4 (2008)	80000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	5.50 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1987

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	3	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2020
				2024
		Thickness (mm)	80	30
		Cost (€/m2)	12.3	5.3

Calibration Coefficients		RWE model
Road Deterioration Model		Linear
m	0.06	
Kgp	0.362	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	1,274	5.71	1,224,301	79,849,348	5.71	25,896,010	79,849,348	-24,671,709	0
2009	1,312	5.93	1,154,083	76,670,189	1.00	832,830	68,155,397	321,253	8,514,792
2010	1,352	6.16	1,088,384	73,694,276	1.08	781,755	65,098,724	306,629	8,595,552
2011	1,392	6.39	1,026,594	70,801,374	1.16	733,916	62,130,343	292,678	8,671,031
2012	1,434	6.64	968,732	68,090,328	1.24	689,363	59,336,884	279,369	8,753,444
2013	1,477	6.90	914,393	65,500,776	1.33	647,721	56,664,714	266,672	8,836,062
2014	1,521	7.16	863,344	63,027,202	1.42	608,786	54,108,688	254,558	8,918,514
2015	1,567	7.44	815,470	60,703,132	1.52	572,469	51,696,956	243,001	9,006,176
2016	1,614	7.73	770,452	58,479,872	1.63	538,477	49,387,175	231,976	9,092,697
2017	1,662	8.03	728,105	56,353,256	1.74	506,649	47,175,550	221,457	9,177,706
2018	1,712	8.33	688,338	54,351,027	1.85	476,918	45,084,785	211,421	9,266,242
2019	1,764	8.66	650,973	52,463,309	1.97	449,127	43,105,706	201,846	9,357,603
2020	1,816	8.99	615,705	50,625,454	2.09	4,644,671	41,184,758	-4,028,966	9,440,696
2021	1,871	9.34	582,609	48,918,264	1.55	381,057	38,913,505	201,552	10,004,759
2022	1,927	9.69	551,407	47,279,841	1.66	358,961	37,180,599	192,446	10,099,241
2023	1,985	10.07	522,038	45,730,798	1.78	338,281	35,536,312	183,758	10,194,486
2024	2,044	10.45	494,330	44,242,880	1.91	3,421,920	33,958,145	-2,927,590	10,284,735
2025	2,106	10.85	468,275	42,854,638	1.46	289,522	32,147,873	178,754	10,706,765
2026	2,169	11.27	443,672	41,518,367	1.58	272,977	30,716,685	170,695	10,801,681
2027	2,234	11.61	15,756,582	40,112,392	1.62	256,191	29,316,986	15,500,391	10,795,405
TOTAL			30,327,787	1,141,266,721		42,697,599	960,749,134	-12,369,812	180,517,587

Net Present Value (NPV) 168,147,775 Euro (€)**Internal Rate of Return** 47.30 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI3-T2
Analysis Period	20 years	Length	752.61 km
Discount rate	8 %	Width	6.30 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	3.99
Initial AADT (2008)	3175 vehicles/day	CBR	9.00 %
Initial YE4 (2008)	190000 st.axes of 80 kN/year	Current IRI (2007)	5.39 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1973
Rehabilitation alternatives			
Base Alternative		Project Alternative	
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	2
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1 T2 T3
		Year	2008 2019 2025
		Thickness (mm)	80 50 30
		Cost (€/m2)	12.3 8.1 5.3
Calibration Coefficients			
Road Deterioration Model	RWE model		
m	0.06	Linear	
Kgp	0.267		
Kgm	0.5		

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	3,175	5.62	3,319,770	413,913,210	5.62	61,639,519	413,913,210	-58,319,749	0	
2009	3,270	5.85	3,139,961	397,644,140	1.00	2,463,404	354,920,310	676,557	42,723,830	
2010	3,368	6.10	2,970,774	382,201,135	1.09	2,323,561	338,865,849	647,213	43,335,286	
2011	3,469	6.36	2,811,501	367,534,221	1.17	2,192,308	323,574,139	619,193	43,960,083	
2012	3,573	6.62	2,661,489	353,597,715	1.27	2,069,051	309,001,478	592,437	44,596,237	
2013	3,681	6.90	2,520,387	340,442,207	1.37	1,953,500	295,188,165	566,887	45,254,042	
2014	3,791	7.19	2,387,107	327,838,161	1.47	1,844,619	281,931,459	542,488	45,906,702	
2015	3,905	7.49	2,261,625	315,929,806	1.58	1,742,439	269,353,235	519,186	46,576,571	
2016	4,022	7.80	2,143,209	304,592,857	1.69	1,646,278	257,343,588	496,931	47,249,269	
2017	4,143	8.12	2,031,607	293,868,625	1.81	1,555,930	245,934,390	475,677	47,934,235	
2018	4,267	8.46	1,926,191	283,649,564	1.93	1,470,816	235,032,200	455,376	48,617,363	
2019	4,395	8.81	1,826,747	273,972,955	2.06	1,386,233	224,665,319	-16,035,557	49,307,637	
2020	4,527	9.17	1,732,885	264,803,611	1.32	1,263,287	211,667,690	469,598	53,135,920	
2021	4,663	9.55	1,644,250	256,109,206	1.43	1,194,632	202,211,471	449,618	53,897,735	
2022	4,802	9.94	1,560,381	247,808,322	1.54	1,129,849	193,160,338	430,533	54,647,984	
2023	4,947	10.35	1,481,358	240,028,164	1.66	1,069,057	184,610,555	412,301	55,417,610	
2024	5,095	10.78	1,406,512	232,588,229	1.79	1,011,628	176,419,061	394,884	56,169,169	
2025	5,248	11.22	1,335,810	225,559,095	1.92	957,566	168,637,624	378,245	56,921,471	
2026	5,405	11.67	1,268,892	218,870,265	2.05	906,545	161,210,495	362,347	57,659,770	
2027	5,567	12.03	37,456,812	211,559,100	2.12	855,747	153,923,741	36,601,065	57,635,359	
TOTAL			77,887,268	5,952,510,587		107,152,039	5,001,564,316	-29,264,772	950,946,271	

Net Present Value (NPV) 921,681,500 Euro (€)**Internal Rate of Return** 89.80 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI3-T2
Analysis Period	20 years	Length	752.61 km
Discount rate	8 %	Width	6.30 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	3.99
Initial AADT (2008)	3175 vehicles/day	CBR	9.00 %
Initial YE4 (2008)	190000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	5.39 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1973

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	Project Alternative				
Reconstruction Year	2027	Number of treatments			
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	T1	T2	T3	
		2008	2017	2022	
		Thickness (mm)	80	30	30
		Cost (€/m2)	12.3	5.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.267	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative		Project Alternative				Comparison of Alternatives	
		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	3,175	5.62	3,319,770	413,913,210	5.62	61,639,519	413,913,210	-58,319,749	0
2009	3,270	5.85	3,139,961	397,644,140	1.00	2,463,404	354,920,310	676,557	42,723,830
2010	3,368	6.10	2,970,774	382,201,135	1.09	2,323,561	338,865,849	647,213	43,335,266
2011	3,469	6.36	2,811,501	367,534,221	1.17	2,192,308	323,574,139	619,193	43,960,083
2012	3,573	6.62	2,661,489	353,597,715	1.27	2,069,051	309,001,478	592,437	44,596,237
2013	3,681	6.90	2,520,387	340,442,207	1.37	1,953,500	295,188,165	566,887	45,254,042
2014	3,791	7.19	2,387,107	327,838,161	1.47	1,844,619	281,931,459	542,488	45,906,702
2015	3,905	7.49	2,261,625	315,929,806	1.58	1,742,439	269,353,235	519,186	46,576,571
2016	4,022	7.80	2,143,209	304,592,857	1.69	1,646,278	257,343,588	496,931	47,249,269
2017	4,143	8.12	2,031,607	293,868,625	1.81	1,549,011	245,934,390	-12,095,404	47,934,235
2018	4,267	8.46	1,926,191	283,649,564	1.40	1,434,192	233,010,280	491,999	50,639,284
2019	4,395	8.81	1,826,747	273,972,955	1.51	1,355,731	222,601,274	471,015	51,371,681
2020	4,527	9.17	1,732,885	264,803,611	1.63	1,281,913	212,694,107	450,972	52,109,504
2021	4,663	9.55	1,644,250	256,109,206	1.75	1,212,424	203,259,434	431,826	52,849,772
2022	4,802	9.94	1,560,381	247,808,322	1.87	1,149,702	194,230,055	-8,142,129	53,578,267
2023	4,947	10.35	1,481,358	240,028,164	1.44	1,058,362	183,950,270	422,995	56,077,895
2024	5,095	10.78	1,406,512	232,588,229	1.56	1,001,414	175,744,460	405,098	56,843,770
2025	5,248	11.22	1,335,810	225,559,095	1.68	947,810	167,948,381	388,000	57,610,714
2026	5,405	11.67	1,268,892	218,870,265	1.81	897,227	160,506,447	371,665	58,363,819
2027	5,567	12.03	37,456,812	211,559,100	1.86	846,846	153,219,541	36,609,966	58,339,559
TOTAL			77,887,268	5,952,510,587		111,740,120	4,997,190,070	-33,852,853	955,320,517

Net Present Value (NPV) 921,467,665 Euro (€)**Internal Rate of Return** 89.75 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	6200 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	340000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI3-T3
Length	326.61 km
Width	6.90 m
# of Lanes	2
SNC	4.07
CBR	7.60 %
Current IRI (2007)	5.30 m/km
Year of Last Overlay	1972

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2025
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.263
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative			Comparison of Alternatives	
	AADT 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	6,200	5.54	1,929,357	337,496,776	5.54	29,648,748	337,496,776	-27,719,391	0
2009	6,386	5.78	1,829,458	324,297,826	1.00	1,540,208	290,863,268	289,250	33,434,558
2010	6,578	6.04	1,735,200	311,784,880	1.09	1,457,891	277,725,552	277,308	34,059,327
2011	6,775	6.31	1,646,082	299,871,991	1.18	1,380,187	265,176,422	265,895	34,695,569
2012	6,978	6.59	1,561,911	288,571,200	1.27	1,306,926	253,224,123	254,985	35,347,076
2013	7,187	6.88	1,482,370	277,847,046	1.38	1,237,814	241,834,680	244,556	36,012,365
2014	7,403	7.18	1,407,269	267,703,121	1.48	1,172,682	231,008,263	234,586	36,694,857
2015	7,625	7.50	1,336,219	258,068,603	1.59	1,111,164	220,680,709	225,055	37,387,894
2016	7,854	7.82	1,269,061	248,947,902	1.71	1,053,119	210,853,239	215,942	38,094,663
2017	8,090	8.17	1,205,545	240,309,669	1.83	998,317	201,496,401	207,228	38,813,268
2018	8,332	8.52	1,145,366	232,097,237	1.95	13,785,912	192,560,258	-12,640,546	39,536,979
2019	8,582	8.90	1,088,470	224,341,453	1.00	867,219	181,055,166	221,250	43,286,288
2020	8,840	9.29	1,034,642	217,012,533	1.10	822,309	172,905,570	212,334	44,106,962
2021	9,105	9.69	983,630	210,060,036	1.20	779,822	165,127,651	203,807	44,932,385
2022	9,378	10.11	935,320	203,484,514	1.31	739,667	157,719,642	195,653	45,764,872
2023	9,659	10.55	889,548	197,262,236	1.43	701,694	150,660,694	187,854	46,601,542
2024	9,949	11.01	846,206	191,390,318	1.55	665,811	143,946,209	180,394	47,444,108
2025	10,248	11.49	805,141	185,844,712	1.67	631,882	137,555,560	173,259	48,289,152
2026	10,555	11.98	766,173	180,585,906	1.80	599,740	131,457,524	166,433	49,128,382
2027	10,872	12.35	17,959,177	174,626,893	1.86	568,171	125,494,295	17,391,006	49,132,597
TOTAL			41,856,145	4,871,604,850		61,069,286	4,088,842,005	-19,213,141	782,762,846

Net Present Value (NPV)**763,549,705 Euro (€)****Internal Rate of Return****141.35 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI3-T3
Analysis Period	20 years	Length	326.61 km
Discount rate	8 %	Width	6.90 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	4.07
Initial AADT (2008)	6200 vehicles/day	CBR	7.60 %
Initial YE4 (2008)	340000 st.axes of 80 kN/year	Current IRI (2007)	5.30 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1972

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	3	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2017
		Thickness (mm)	80	80
		Cost (€/m2)	12.3	12.3
				2023
				30
				5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.263	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	6,200	5.54	1,929,357	337,496,776	5.54	29,648,748	337,496,776	-27,719,391	0	
2009	6,386	5.78	1,829,458	324,297,826	1.00	1,540,208	290,863,268	289,250	33,434,558	
2010	6,578	6.04	1,735,200	311,784,880	1.09	1,457,891	277,725,552	277,308	34,059,327	
2011	6,775	6.31	1,646,082	299,871,991	1.18	1,380,187	265,176,422	265,895	34,695,569	
2012	6,978	6.59	1,561,911	288,571,200	1.27	1,306,926	253,224,123	254,985	35,347,076	
2013	7,187	6.88	1,482,370	277,847,046	1.38	1,237,814	241,834,680	244,556	36,012,365	
2014	7,403	7.18	1,407,269	267,703,121	1.48	1,172,682	231,008,263	234,586	36,694,857	
2015	7,625	7.50	1,336,219	258,068,603	1.59	1,111,164	220,680,709	225,055	37,387,894	
2016	7,854	7.82	1,269,061	248,947,902	1.71	1,053,119	210,853,239	215,942	38,094,663	
2017	8,090	8.17	1,205,545	240,309,669	1.83	14,864,914	201,496,401	-13,659,369	38,813,268	
2018	8,332	8.52	1,145,366	232,097,237	1.00	917,686	189,843,367	227,680	42,253,871	
2019	8,582	8.90	1,088,470	224,341,453	1.10	869,982	181,284,468	218,488	43,056,985	
2020	8,840	9.29	1,034,642	217,012,533	1.20	824,945	173,140,292	209,697	43,872,241	
2021	9,105	9.69	983,630	210,060,036	1.31	782,338	165,367,882	201,292	44,692,154	
2022	9,378	10.11	935,320	203,484,514	1.42	742,068	157,965,486	193,252	45,519,028	
2023	9,659	10.55	889,548	197,262,236	1.54	4,469,272	150,912,244	-3,579,724	46,349,993	
2024	9,949	11.01	846,206	191,390,318	1.27	660,518	143,362,971	185,687	48,027,347	
2025	10,248	11.49	805,141	185,844,712	1.38	626,819	136,956,844	178,322	48,887,868	
2026	10,555	11.98	766,173	180,585,906	1.50	594,896	130,843,070	171,277	49,742,836	
2027	10,872	12.35	17,959,177	174,626,893	1.55	563,535	124,878,714	17,395,642	49,748,178	
TOTAL			41,856,145	4,871,604,850		65,825,714	4,084,914,772	-23,969,569	786,690,078	

Net Present Value (NPV) 762,720,509 Euro (€)**Internal Rate of Return** 141.32 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	9457 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	450000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI3-T4
Length	99.03 km
Width	7.50 m
# of Lanes	2
SNC	4.69
CBR	5.50 %
Current IRI (2007)	5.20 m/km
Year of Last Overlay	1978

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2019	2025
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients**Road Deterioration Model RWE model**

m	0.06	Linear
Kgp	0.319	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	9,457	5.43	744,114	147,417,676	5.43	9,879,632	147,417,676	-9,135,518	0
2009	9,741	5.67	706,370	141,583,653	1.00	620,817	127,950,306	85,552	13,633,347
2010	10,033	5.91	670,646	136,035,279	1.09	588,729	122,152,246	81,917	13,883,033
2011	10,334	6.17	636,858	130,770,014	1.18	558,414	116,631,068	78,444	14,138,947
2012	10,644	6.44	604,882	125,771,296	1.28	529,756	111,370,864	75,126	14,400,433
2013	10,963	6.72	574,606	121,023,940	1.38	502,649	106,357,124	71,957	14,666,817
2014	11,292	7.01	545,955	116,524,296	1.49	477,026	101,585,566	68,929	14,938,730
2015	11,631	7.32	518,826	112,257,459	1.60	452,790	97,042,045	66,036	15,215,414
2016	11,980	7.63	493,124	108,209,759	1.72	429,853	92,713,672	63,271	15,496,087
2017	12,339	7.96	468,762	104,368,610	1.84	408,132	88,588,671	60,630	15,779,939
2018	12,709	8.31	445,681	100,730,302	1.97	387,575	84,662,907	58,106	16,067,394
2019	13,091	8.67	423,824	97,289,984	2.11	4,286,197	80,931,199	-3,862,373	16,358,785
2020	13,483	9.04	403,073	94,020,997	1.00	339,837	75,956,161	63,236	18,064,836
2021	13,888	9.43	383,420	90,933,848	1.11	322,810	72,534,079	60,609	18,399,769
2022	14,305	9.83	364,777	88,010,222	1.22	306,678	69,273,771	58,099	18,736,451
2023	14,734	10.25	347,083	85,240,024	1.33	291,383	66,166,349	55,700	19,073,675
2024	15,176	10.69	330,298	82,619,287	1.46	276,891	63,207,832	53,407	19,411,455
2025	15,631	11.15	314,366	80,138,244	1.58	263,151	60,389,831	51,215	19,748,413
2026	16,100	11.63	299,248	77,792,602	1.72	250,128	57,708,258	49,120	20,084,344
2027	16,583	11.99	5,963,520	75,192,637	1.77	237,392	55,082,545	5,726,128	20,110,093
TOTAL			15,239,431	2,115,930,130		21,409,839	1,797,722,170	-6,170,408	318,207,960

Net Present Value (NPV)**312,037,552 Euro (€)****Internal Rate of Return****172.13 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI3-T4
Analysis Period	20 years	Length	99.03 km
Discount rate	8 %	Width	7.50 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	4.69
Initial AADT (2008)	9457 vehicles/day	CBR	5.50 %
Initial YE4 (2008)	450000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	5.20 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1978

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	3	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2018
		Thickness (mm)	80	80
		Cost (€/m2)	12.3	12.3
				2023
				30
				5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.319	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	9,457	5.43	744,114	147,417,676	5.43	9,879,632	147,417,676	-9,135,518	0	
2009	9,741	5.67	706,370	141,583,653	1.00	620,817	127,950,306	85,552	13,633,347	
2010	10,033	5.91	670,646	136,035,279	1.09	588,729	122,152,246	81,917	13,883,033	
2011	10,334	6.17	636,858	130,770,014	1.18	558,414	116,631,068	78,444	14,138,947	
2012	10,644	6.44	604,882	125,771,296	1.28	529,756	111,370,864	75,126	14,400,433	
2013	10,963	6.72	574,606	121,023,940	1.38	502,649	106,357,124	71,957	14,666,817	
2014	11,292	7.01	545,955	116,524,296	1.49	477,026	101,585,566	68,929	14,938,730	
2015	11,631	7.32	518,826	112,257,459	1.60	452,790	97,042,045	66,036	15,215,414	
2016	11,980	7.63	493,124	108,209,759	1.72	429,853	92,713,672	63,271	15,496,087	
2017	12,339	7.96	468,762	104,368,610	1.84	408,132	88,588,671	60,630	15,779,939	
2018	12,709	8.31	445,681	100,730,302	1.97	4,619,088	84,662,907	-4,173,406	16,067,394	
2019	13,091	8.67	423,824	97,289,984	1.00	358,700	79,647,666	65,125	17,642,318	
2020	13,483	9.04	403,073	94,020,997	1.10	340,658	76,050,705	62,415	17,970,292	
2021	13,888	9.43	383,420	90,933,848	1.21	323,593	72,631,394	59,826	18,302,455	
2022	14,305	9.83	364,777	88,010,222	1.33	307,425	69,373,910	57,352	18,636,312	
2023	14,734	10.25	347,083	85,240,024	1.45	1,533,027	66,269,360	-1,185,944	18,970,664	
2024	15,176	10.69	330,298	82,619,287	1.22	275,554	63,012,637	54,744	19,606,650	
2025	15,631	11.15	314,366	80,138,244	1.34	261,870	60,188,314	52,495	19,949,929	
2026	16,100	11.63	299,248	77,792,602	1.47	248,903	57,500,277	50,345	20,292,325	
2027	16,583	11.99	5,963,520	75,192,637	1.51	236,218	54,873,905	5,727,301	20,318,732	
TOTAL			15,239,431	2,115,930,130		22,952,832	1,796,020,313	-7,713,401	319,909,817	

Net Present Value (NPV) 312,196,417 Euro (€)**Internal Rate of Return** 172.12 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	12995 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	950000 st.axes of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI3-T5
Length	40.41 km
Width	11.00 m
# of Lanes	2
SNC	4.75
CBR	5.00 %
Current IRI (2007)	5.20 m/km
Year of Last Overlay	1978

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2025
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.236
Kgm	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	12,995	5.42	375,097	96,352,822	5.42	5,842,570	96,352,822	-5,467,473	0
2009	13,385	5.66	356,357	92,569,848	1.00	321,503	82,826,146	34,854	9,743,702
2010	13,786	5.90	338,596	88,972,263	1.08	305,159	79,073,525	33,437	9,898,738
2011	14,200	6.16	321,789	85,562,336	1.16	289,706	75,502,672	32,082	10,059,664
2012	14,626	6.42	305,857	82,323,023	1.24	275,070	72,097,615	30,787	10,225,407
2013	15,065	6.70	290,762	79,250,283	1.33	261,214	68,853,974	29,548	10,396,309
2014	15,517	6.99	276,453	76,334,520	1.42	248,089	65,762,540	28,364	10,571,979
2015	15,982	7.29	262,880	73,566,924	1.52	235,649	62,814,906	27,231	10,752,019
2016	16,462	7.60	250,022	70,948,004	1.62	223,875	60,010,663	26,147	10,937,341
2017	16,956	7.93	237,823	68,464,583	1.72	212,713	57,337,778	25,111	11,126,806
2018	17,464	8.28	226,244	66,109,056	1.83	2,734,623	54,789,121	-2,508,379	11,319,935
2019	17,988	8.63	215,266	63,881,484	1.00	188,806	51,557,803	26,460	12,323,680
2020	18,528	9.01	204,851	61,774,015	1.09	179,430	49,232,381	25,420	12,541,634
2021	19,084	9.40	194,964	59,779,419	1.18	170,539	47,015,941	24,425	12,763,478
2022	19,656	9.80	185,575	57,891,003	1.27	162,102	44,902,456	23,473	12,988,548
2023	20,246	10.23	176,667	56,108,083	1.37	154,105	42,890,640	22,562	13,217,443
2024	20,853	10.67	168,204	54,421,256	1.47	146,514	40,972,536	21,690	13,448,720
2025	21,479	11.13	160,171	52,829,582	1.58	139,316	39,146,758	20,855	13,682,824
2026	22,123	11.61	152,537	51,324,394	1.70	132,481	37,406,203	20,057	13,918,191
2027	22,787	11.98	3,543,977	49,642,020	1.75	125,880	35,709,728	3,418,096	13,932,292
TOTAL			8,244,092	1,388,104,917		12,349,343	1,164,256,207	-4,105,252	223,848,710

Net Present Value (NPV)

219,743,458 Euro (€)

Internal Rate of Return

202.87 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	12995 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	950000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI3-T5
Length	40.41 km
Width	11.00 m
# of Lanes	2
SNC	4.75
CBR	5.00 %
Current IRI (2007)	5.20 m/km
Year of Last Overlay	1978

Rehabilitation alternatives

Base Alternative	
Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2017	2022
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model		RWE model
m	0.06	Linear
Kgp	0.236	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	AADT veh/day	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives	
		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	12,995	5.42	375,097	96,352,822	5.42	5,842,570	96,352,822	-5,467,473	0
2009	13,385	5.66	356,357	92,569,848	1.00	321,503	82,826,146	34,854	9,743,702
2010	13,786	5.90	338,596	88,972,263	1.08	305,159	79,073,525	33,437	9,898,738
2011	14,200	6.16	321,789	85,562,336	1.16	289,706	75,502,672	32,082	10,059,664
2012	14,626	6.42	305,857	82,323,023	1.24	275,070	72,097,615	30,787	10,225,407
2013	15,065	6.70	290,762	79,250,283	1.33	261,214	68,853,974	29,548	10,396,309
2014	15,517	6.99	276,453	76,334,520	1.42	248,089	65,762,540	28,364	10,571,979
2015	15,982	7.29	262,880	73,566,924	1.52	235,649	62,814,906	27,231	10,752,019
2016	16,462	7.60	250,022	70,948,004	1.62	223,875	60,010,663	26,147	10,937,341
2017	16,956	7.93	237,823	68,464,583	1.72	2,947,810	57,337,778	-2,709,987	11,126,806
2018	17,464	8.28	226,244	66,109,056	1.00	199,006	54,060,369	27,238	12,048,688
2019	17,988	8.63	215,266	63,881,484	1.09	189,101	51,620,284	26,165	12,261,200
2020	18,528	9.01	204,851	61,774,015	1.17	179,712	49,295,821	25,138	12,478,194
2021	19,084	9.40	194,964	59,779,419	1.27	170,808	47,080,375	24,156	12,699,044
2022	19,656	9.80	185,575	57,891,003	1.37	964,452	44,967,913	-778,877	12,923,090
2023	20,246	10.23	176,667	56,108,083	1.18	153,625	42,766,448	23,042	13,341,635
2024	20,853	10.67	168,204	54,421,256	1.28	146,053	40,845,617	22,151	13,575,638
2025	21,479	11.13	160,171	52,829,582	1.38	138,874	39,017,008	21,298	13,812,573
2026	22,123	11.61	152,537	51,324,394	1.49	132,056	37,273,527	20,481	14,050,867
2027	22,787	11.98	3,543,977	49,642,020	1.53	125,472	35,576,460	3,418,504	14,065,560
TOTAL			8,244,092	1,388,104,917		13,349,806	1,163,136,464	-5,105,714	224,968,453

Net Present Value (NPV) **219,862,739 Euro (€)**

Internal Rate of Return **202.87 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	16729 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	850000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI3-T6
Length	29.88 km
Width	22.00 m
# of Lanes	4
SNC	4.94
CBR	5.25 %
Current IRI (2007)	4.80 m/km
Year of Last Overlay	2004

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2019	2025
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.632
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	16,729	4.99	330,522	105,652,879	4.99	8,416,050	105,652,879	-8,085,528	0	
2009	17,231	5.18	314,069	101,399,960	1.00	290,929	91,251,938	23,140	10,148,021	
2010	17,748	5.39	298,490	97,363,350	1.06	276,314	87,115,484	22,176	10,247,866	
2011	18,280	5.61	283,728	93,531,074	1.13	262,475	83,174,110	21,254	10,356,964	
2012	18,829	5.84	269,755	89,901,700	1.20	249,383	79,425,716	20,372	10,475,984	
2013	19,393	6.08	256,499	86,454,311	1.28	236,969	75,850,986	19,530	10,603,325	
2014	19,975	6.34	243,945	83,192,211	1.37	225,220	72,452,070	18,725	10,740,141	
2015	20,575	6.61	232,048	80,104,435	1.46	214,092	69,218,553	17,956	10,885,882	
2016	21,192	6.89	220,757	77,177,317	1.56	203,537	66,137,853	17,221	11,039,464	
2017	21,828	7.19	210,052	74,409,181	1.67	193,535	63,207,822	16,518	11,201,359	
2018	22,482	7.51	199,889	71,787,670	1.78	184,043	60,417,231	15,846	11,370,439	
2019	23,157	7.84	190,254	69,313,928	1.91	3,642,795	57,766,356	-3,452,541	11,547,572	
2020	23,852	8.19	181,108	66,976,201	1.00	164,056	54,174,524	17,052	12,801,677	
2021	24,567	8.55	172,421	64,766,780	1.09	156,040	51,746,467	16,381	13,020,313	
2022	25,304	8.93	164,176	62,683,462	1.20	148,437	49,436,279	15,739	13,247,183	
2023	26,063	9.33	156,345	60,718,684	1.30	141,220	47,237,256	15,125	13,481,427	
2024	26,845	9.75	148,908	58,867,609	1.42	134,371	45,144,967	14,537	13,722,642	
2025	27,650	10.20	141,841	57,123,293	1.54	127,867	43,153,459	13,974	13,969,835	
2026	28,480	10.66	135,130	55,483,130	1.67	121,694	41,260,189	13,436	14,222,941	
2027	29,334	11.02	5,155,079	53,674,854	1.73	115,719	39,396,086	5,039,360	14,278,768	
TOTAL			9,305,017	1,510,582,029		15,504,745	1,283,220,227	-6,199,728	227,361,802	

Net Present Value (NPV)**221,162,074 Euro (€)****Internal Rate of Return****144.97 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI3-T6
Analysis Period	20 years	Length	29.88 km
Discount rate	8 %	Width	22.00 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	4
Traffic		SNC	4.94
Initial AADT (2008)	16729 vehicles/day	CBR	5.25 %
Initial YE4 (2008)	850000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	4.80 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	2004

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	3	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2018
		Thickness (mm)	80	80
		Cost (€/m2)	12.3	12.3
				2023
				30
				5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.632	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative			Comparison of Alternatives	
	AADT 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	16,729	4.99	330,522	105,652,879	4.99	8,416,050	105,652,879	-8,085,528	0
2009	17,231	5.18	314,069	101,399,960	1.00	290,929	91,251,938	23,140	10,148,021
2010	17,748	5.39	298,490	97,363,350	1.06	276,314	87,115,484	22,176	10,247,866
2011	18,280	5.61	283,728	93,531,074	1.13	262,475	83,174,110	21,254	10,356,964
2012	18,829	5.84	269,755	89,901,700	1.20	249,383	79,425,716	20,372	10,475,984
2013	19,393	6.08	256,499	86,454,311	1.28	236,969	75,850,986	19,530	10,603,325
2014	19,975	6.34	243,945	83,192,211	1.37	225,220	72,452,070	18,725	10,740,141
2015	20,575	6.61	232,048	80,104,435	1.46	214,092	69,218,553	17,956	10,885,882
2016	21,192	6.89	220,757	77,177,317	1.56	203,537	66,137,853	17,221	11,039,464
2017	21,828	7.19	210,052	74,409,181	1.67	193,535	63,207,822	16,518	11,201,359
2018	22,482	7.51	199,889	71,787,670	1.78	3,929,207	60,417,231	-3,729,318	11,370,439
2019	23,157	7.84	190,254	69,313,928	1.00	172,727	56,803,665	17,527	12,510,263
2020	23,852	8.19	181,108	66,976,201	1.09	164,273	54,256,378	16,835	12,719,823
2021	24,567	8.55	172,421	64,766,780	1.19	156,247	51,829,538	16,174	12,937,242
2022	25,304	8.93	164,176	62,683,462	1.29	148,635	49,520,673	15,541	13,162,789
2023	26,063	9.33	156,345	60,718,684	1.41	1,239,714	47,323,074	-1,083,369	13,395,609
2024	26,845	9.75	148,908	58,867,609	1.20	133,992	44,969,624	14,917	13,897,986
2025	27,650	10.20	141,841	57,123,293	1.32	127,500	42,973,098	14,341	14,150,196
2026	28,480	10.66	135,130	55,483,130	1.44	121,340	41,074,498	13,790	14,408,632
2027	29,334	11.02	5,155,079	53,674,854	1.49	115,377	39,208,635	5,039,702	14,466,218
TOTAL			9,305,017	1,510,582,029		16,877,512	1,281,863,826	-7,572,495	228,718,203

Net Present Value (NPV) 221,145,707 Euro (€)**Internal Rate of Return** 144.96 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	1970 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	80000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI4-T1
Length	236.08 km
Width	6.60 m
# of Lanes	2
SNC	3.40
CBR	12.00 %
Current IRI (2007)	6.60 m/km
Year of Last Overlay	1970

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2020	2025
Thickness (mm)	80	30	30
Cost (€/m2)	12.3	5.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.238
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	1,970	6.86	957,695	81,163,967	6.86	20,122,669	81,163,967	-19,164,974	0	
2009	2,029	7.13	904,919	78,104,789	1.00	637,088	66,967,087	267,831	11,137,703	
2010	2,090	7.40	855,318	75,205,107	1.08	599,412	63,939,504	255,905	11,265,603	
2011	2,153	7.69	808,677	72,454,361	1.17	564,154	61,058,828	244,523	11,395,533	
2012	2,217	7.99	764,714	69,811,452	1.26	531,054	58,289,750	233,660	11,521,702	
2013	2,284	8.30	723,426	67,332,593	1.35	500,134	55,678,591	223,292	11,654,003	
2014	2,352	8.62	684,477	64,948,494	1.45	471,080	53,166,956	213,397	11,781,537	
2015	2,423	8.96	647,865	62,708,738	1.56	443,913	50,794,920	203,952	11,913,818	
2016	2,496	9.30	613,364	60,577,053	1.66	418,428	48,531,914	194,936	12,045,139	
2017	2,570	9.66	580,781	58,524,373	1.78	394,450	46,354,217	186,331	12,170,156	
2018	2,648	10.04	550,168	56,613,167	1.89	372,051	44,310,706	178,116	12,302,461	
2019	2,727	10.42	521,232	54,769,660	2.01	350,957	42,342,437	170,275	12,427,223	
2020	2,809	10.82	493,972	53,030,387	2.14	3,610,578	40,477,374	-3,116,606	12,553,013	
2021	2,893	11.24	468,233	51,369,414	1.57	300,396	38,227,232	167,837	13,142,182	
2022	2,980	11.67	443,962	49,799,136	1.69	283,490	36,526,946	160,472	13,272,190	
2023	3,069	12.11	421,028	48,296,790	1.81	267,587	34,900,297	153,441	13,396,493	
2024	3,161	12.58	399,385	46,873,485	1.93	252,656	33,354,820	146,729	13,518,666	
2025	3,256	13.06	378,950	45,523,102	2.06	238,630	31,885,381	140,320	13,637,721	
2026	3,354	13.55	359,648	44,239,981	2.20	225,446	30,487,328	134,202	13,752,653	
2027	3,454	13.96	12,254,430	42,834,385	2.26	212,219	29,107,397	12,042,211	13,726,987	
TOTAL			23,832,243	1,184,180,433		30,796,392	947,565,650	-6,964,150	236,614,782	

Net Present Value (NPV)**229,650,632 Euro (€)****Internal Rate of Return****73.33 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)

Traffic

Initial AADT (2008)	1970 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	80000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI4-T1
Length	236.08 km
Width	6.60 m
# of Lanes	2
SNC	3.40
CBR	12.00 %
Current IRI (2007)	6.60 m/km
Year of Last Overlay	1970

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2019	2023
Thickness (mm)	80	30	30
Cost (€/m2)	12.3	5.3	5.3

Calibration Coefficients**Road Deterioration Model RWE model**

m	0.06	Linear
Kgp	0.238	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	1,970	6.86	957,695	81,163,967	6.86	20,122,669	81,163,967	-19,164,974	0	
2009	2,029	7.13	904,919	78,104,789	1.00	637,088	66,967,087	267,831	11,137,703	
2010	2,090	7.40	855,318	75,205,107	1.08	599,412	63,939,504	255,905	11,265,603	
2011	2,153	7.69	808,677	72,454,361	1.17	564,154	61,058,828	244,523	11,395,533	
2012	2,217	7.99	764,714	69,811,452	1.26	531,054	58,289,750	233,660	11,521,702	
2013	2,284	8.30	723,426	67,332,593	1.35	500,134	55,678,591	223,292	11,654,003	
2014	2,352	8.62	684,477	64,948,494	1.45	471,080	53,166,956	213,397	11,781,537	
2015	2,423	8.96	647,865	62,708,738	1.56	443,913	50,794,920	203,952	11,913,818	
2016	2,496	9.30	613,364	60,577,053	1.66	418,428	48,531,914	194,936	12,045,139	
2017	2,570	9.66	580,781	58,524,373	1.78	394,450	46,354,217	186,331	12,170,156	
2018	2,648	10.04	550,168	56,613,167	1.89	372,051	44,310,706	178,116	12,302,461	
2019	2,727	10.42	521,232	54,769,660	2.01	3,892,705	42,342,437	-3,371,473	12,427,223	
2020	2,809	10.82	493,972	53,030,387	1.51	319,301	40,047,265	174,671	12,983,122	
2021	2,893	11.24	468,233	51,369,414	1.62	301,237	38,256,455	166,996	13,112,959	
2022	2,980	11.67	443,962	49,799,136	1.74	284,293	36,556,740	159,669	13,242,395	
2023	3,069	12.11	421,028	48,296,790	1.86	2,871,644	34,930,665	-2,450,616	13,366,125	
2024	3,161	12.58	399,385	46,873,485	1.43	245,742	33,085,192	153,643	13,788,294	
2025	3,256	13.06	378,950	45,523,102	1.54	232,029	31,610,205	146,921	13,912,896	
2026	3,354	13.55	359,648	44,239,981	1.66	219,145	30,206,515	140,503	14,033,466	
2027	3,454	13.96	12,254,430	42,834,385	1.71	206,203	28,826,675	12,048,226	14,007,710	
TOTAL			23,832,243	1,184,180,433		33,626,733	946,118,589	-9,794,491	238,061,844	

Net Present Value (NPV)**228,267,353 Euro (€)****Internal Rate of Return****73.31 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data			Inventory & Condition		
First Year of the Anal.	2008		Section Name	IRI4-T2	
Analysis Period	20 years		Length	234.12 km	
Discount rate	8 %		Width	6.21 m	
Currency	Euro (€)		# of Lanes	2	
Traffic			SNC	3.47	
Initial AADT (2008)	3002 vehicles/day		CBR	9.00 %	
Initial YE4 (2008)	190000 st.axes of 80 kN/year		Current IRI (2007)	6.50 m/km	
Traffic growth	3 % per year		Year of Last Overlay	1977	
Rehabilitation alternatives					
Base Alternative			Project Alternative		
Reconstruction Year	2027		Number of treatments	2	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0		Treatment	T1	T2
			Year	2008	2019
			Thickness (mm)	80	30
			Cost (€/m2)	12.3	5.3
				2025	30
Calibration Coefficients					
Road Deterioration Model			RWE model		
m	0.06	Linear			
Kgp	0.231				
Kgm	0.5				

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	3,002	6.75	1,065,644	129,266,029	6.75	18,948,432	129,266,029	-17,882,788	0	
2009	3,092	7.02	1,007,891	124,389,790	1.00	747,016	106,622,683	260,874	17,767,108	
2010	3,185	7.29	953,566	119,767,375	1.07	703,976	101,797,536	249,590	17,969,839	
2011	3,280	7.58	902,348	115,347,276	1.15	663,534	97,174,858	238,815	18,172,419	
2012	3,379	7.87	854,218	111,187,206	1.23	625,693	92,802,041	228,525	18,385,165	
2013	3,480	8.18	808,798	107,205,167	1.32	590,100	88,608,939	218,698	18,596,228	
2014	3,585	8.50	766,072	103,452,263	1.41	556,760	84,636,744	209,313	18,815,519	
2015	3,692	8.83	725,719	99,857,089	1.50	525,370	80,825,525	200,349	19,031,564	
2016	3,803	9.18	687,725	96,464,841	1.60	495,936	77,210,970	191,789	19,253,871	
2017	3,917	9.54	651,871	93,236,860	1.70	468,259	73,760,577	183,612	19,476,283	
2018	4,034	9.91	618,024	90,164,017	1.80	442,222	70,466,148	175,802	19,697,868	
2019	4,155	10.30	586,109	87,258,773	1.92	3,722,564	67,336,306	-3,136,455	19,922,468	
2020	4,280	10.70	556,001	84,509,344	1.46	384,121	63,727,093	171,880	20,782,251	
2021	4,409	11.12	527,582	81,904,916	1.56	362,960	60,884,146	164,622	21,020,770	
2022	4,541	11.56	500,704	79,418,046	1.66	343,016	58,163,854	157,688	21,254,193	
2023	4,677	12.01	475,314	77,059,038	1.77	324,251	55,573,031	151,063	21,486,008	
2024	4,817	12.48	451,318	74,819,122	1.89	306,585	53,104,314	144,734	21,714,808	
2025	4,962	12.97	428,662	72,704,762	2.01	289,976	50,761,206	138,685	21,943,557	
2026	5,111	13.48	407,228	70,691,980	2.13	274,323	48,525,833	132,906	22,166,147	
2027	5,264	13.88	11,502,767	68,461,958	2.20	258,885	46,336,410	11,243,881	22,125,548	
TOTAL			24,477,561	1,887,165,854		31,033,979	1,507,584,241	-6,556,418	379,581,613	

Net Present Value (NPV) 373,025,195 Euro (€)

Internal Rate of Return 118.02 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	3002 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	190000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI4-T2
Length	234.12 km
Width	6.21 m
# of Lanes	2
SNC	3.47
CBR	9.00 %
Current IRI (2007)	6.50 m/km
Year of Last Overlay	1977

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2022
Thickness (mm)	80	30	30
Cost (€/m2)	12.3	5.3	5.3

Calibration Coefficients**Road Deterioration Model RWE model**

m	0.06	Linear
Kgp	0.231	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	3,002	6.75	1,065,644	129,266,029	6.75	18,948,432	129,266,029	-17,882,788	0	
2009	3,092	7.02	1,007,891	124,389,790	1.00	747,016	106,622,683	260,874	17,767,108	
2010	3,185	7.29	953,566	119,767,375	1.07	703,976	101,797,536	249,590	17,969,839	
2011	3,280	7.58	902,348	115,347,276	1.15	663,534	97,174,858	238,815	18,172,419	
2012	3,379	7.87	854,218	111,187,206	1.23	625,693	92,802,041	228,525	18,385,165	
2013	3,480	8.18	808,798	107,205,167	1.32	590,100	88,608,939	218,698	18,596,228	
2014	3,585	8.50	766,072	103,452,263	1.41	556,760	84,636,744	209,313	18,815,519	
2015	3,692	8.83	725,719	99,857,089	1.50	525,370	80,825,525	200,349	19,031,564	
2016	3,803	9.18	687,725	96,464,841	1.60	495,936	77,210,970	191,789	19,253,871	
2017	3,917	9.54	651,871	93,236,860	1.70	468,259	73,760,577	183,612	19,476,283	
2018	4,034	9.91	618,024	90,164,017	1.80	4,011,402	70,466,148	-3,393,378	19,697,868	
2019	4,155	10.30	586,109	87,258,773	1.40	407,460	66,756,843	178,649	20,501,931	
2020	4,280	10.70	556,001	84,509,344	1.50	384,912	63,770,474	171,088	20,738,869	
2021	4,409	11.12	527,582	81,904,916	1.60	363,716	60,928,224	163,866	20,976,692	
2022	4,541	11.56	500,704	79,418,046	1.71	2,967,193	58,208,640	-2,466,488	21,209,406	
2023	4,677	12.01	475,314	77,059,038	1.35	318,058	55,192,209	157,257	21,866,830	
2024	4,817	12.48	451,318	74,819,122	1.46	300,664	52,716,836	150,655	22,102,286	
2025	4,962	12.97	428,662	72,704,762	1.56	284,315	50,366,829	144,347	22,337,933	
2026	5,111	13.48	407,228	70,691,980	1.67	268,909	48,124,410	138,319	22,567,570	
2027	5,264	13.88	11,502,767	68,461,958	1.72	253,709	45,934,546	11,249,058	22,527,412	
TOTAL			24,477,561	1,887,165,854		33,885,414	1,505,171,061	-9,407,853	381,994,793	

Net Present Value (NPV)**372,586,939 Euro (€)****Internal Rate of Return****118.01 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data**

Basic Project Data		Inventory & Condition	
First Year of the Anal.	2008	Section Name	IRI4-T3
Analysis Period	20 years	Length	157.07 km
Discount rate	8 %	Width	6.14 m
Currency	Euro (€)	# of Lanes	2
Traffic		SNC	4.07
Initial AADT (2008)	5739 vehicles/day	CBR	8.00 %
Initial YE4 (2008)	310000 st.axles of 80 kN/year	Current IRI (2007)	8.00 m/km
Traffic growth	3 % per year	Year of Last Overlay	1975

Rehabilitation alternatives

Base Alternative		Project Alternative		
Reconstruction Year	2027	Number of treatments	2	
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0	Treatment	T1	T2
		Year	2008	2019
		Thickness (mm)	80	80
		Cost (€/m2)	12.3	12.3
				2025
				30
				5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.225	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative			Project Alternative			Comparison of Alternatives		
	AADT 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	5,739	8.30	978,426	163,617,633	8.30	12,840,667	163,617,633	-11,862,241	0
2009	5,911	8.61	927,475	157,773,969	1.00	706,161	128,709,611	221,314	29,064,357
2010	6,089	8.93	879,423	152,241,709	1.08	667,863	122,881,585	211,560	29,360,124
2011	6,271	9.26	833,953	146,952,428	1.15	631,704	117,301,042	202,249	29,651,386
2012	6,459	9.61	791,031	141,939,200	1.24	597,671	111,992,905	193,360	29,946,295
2013	6,653	9.97	750,492	137,183,486	1.32	565,617	106,940,321	184,875	30,243,165
2014	6,853	10.34	712,184	132,668,303	1.41	535,409	102,128,003	176,775	30,540,300
2015	7,058	10.73	675,919	128,359,850	1.51	506,877	97,528,231	169,041	30,831,620
2016	7,270	11.13	641,662	124,281,182	1.61	480,004	93,156,967	161,658	31,124,216
2017	7,488	11.55	609,245	120,399,592	1.71	454,636	88,987,719	154,609	31,411,872
2018	7,713	11.98	578,593	116,717,788	1.82	430,714	85,020,881	147,879	31,696,908
2019	7,944	12.43	549,559	113,207,264	1.93	5,495,618	81,234,050	-4,946,058	31,973,214
2020	8,182	12.90	522,081	109,870,721	1.00	373,687	76,409,645	148,395	33,461,076
2021	8,428	13.38	496,092	106,708,394	1.09	354,121	72,958,011	141,971	33,750,383
2022	8,681	13.88	471,469	103,694,587	1.18	335,632	69,665,496	135,837	34,029,091
2023	8,941	14.40	448,133	100,818,559	1.27	318,153	66,523,687	129,980	34,294,872
2024	9,209	14.94	426,030	98,080,826	1.37	301,644	63,531,745	124,386	34,549,081
2025	9,486	15.50	405,106	95,480,082	1.48	286,062	60,687,423	119,044	34,792,659
2026	9,770	16.00	384,615	92,716,361	1.59	271,307	57,969,576	113,308	34,746,785
2027	10,063	16.00	7,735,815	88,423,058	1.64	256,904	55,327,989	7,478,911	33,095,069
TOTAL			19,817,305	2,431,134,993		26,410,452	1,822,572,521	-6,593,147	608,562,472

Net Present Value (NPV) 601,969,325 Euro (€)

Internal Rate of Return 275.68 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)

Traffic

Initial AADT (2008)	5739 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	310000 st.axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI4-T3
Length	157.07 km
Width	6.14 m
# of Lanes	2
SNC	4.07
CBR	8.00 %
Current IRI (2007)	8.00 m/km
Year of Last Overlay	1975

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2017	2021
Thickness (mm)	80	30	30
Cost (€/m2)	12.3	5.3	5.3

Calibration Coefficients**Road Deterioration Model RWE model**

m	0.06	Linear
Kgp	0.225	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	5,739	8.30	978,426	163,617,633	8.30	12,840,667	163,617,633	-11,862,241	0	
2009	5,911	8.61	927,475	157,773,969	1.00	706,161	128,709,611	221,314	29,064,357	
2010	6,089	8.93	879,423	152,241,709	1.08	667,863	122,881,585	211,560	29,360,124	
2011	6,271	9.26	833,953	146,952,428	1.15	631,704	117,301,042	202,249	29,651,386	
2012	6,459	9.61	791,031	141,939,200	1.24	597,671	111,992,905	193,360	29,946,295	
2013	6,653	9.97	750,492	137,183,486	1.32	565,617	106,940,321	184,875	30,243,165	
2014	6,853	10.34	712,184	132,668,303	1.41	535,409	102,128,003	176,775	30,540,300	
2015	7,058	10.73	675,919	128,359,850	1.51	506,877	97,528,231	169,041	30,831,620	
2016	7,270	11.13	641,662	124,281,182	1.61	480,004	93,156,967	161,658	31,124,216	
2017	7,488	11.55	609,245	120,399,592	1.71	3,011,595	88,987,719	-2,402,349	31,411,872	
2018	7,713	11.98	578,593	116,717,788	1.36	423,976	84,416,310	154,617	32,301,479	
2019	7,944	12.43	549,559	113,207,264	1.45	401,653	80,617,253	147,907	32,590,011	
2020	8,182	12.90	522,081	109,870,721	1.55	380,582	76,998,455	141,499	32,872,266	
2021	8,428	13.38	496,092	106,708,394	1.66	2,240,151	73,558,409	-1,744,060	33,149,985	
2022	8,681	13.88	471,469	103,694,587	1.33	337,237	69,809,731	134,232	33,884,856	
2023	8,941	14.40	448,133	100,818,559	1.43	319,687	66,670,813	128,446	34,147,747	
2024	9,209	14.94	426,030	98,080,826	1.53	303,109	63,681,835	122,921	34,398,991	
2025	9,486	15.50	405,106	95,480,082	1.64	287,462	60,840,561	117,644	34,639,521	
2026	9,770	16.00	384,615	92,716,361	1.76	272,644	58,125,806	111,971	34,590,555	
2027	10,063	16.00	7,735,815	88,423,058	1.81	258,182	55,484,305	7,477,633	32,938,752	
TOTAL			19,817,305	2,431,134,993		25,768,251	1,823,447,496	-5,950,946	607,687,498	

Net Present Value (NPV)**601,736,552 Euro (€)****Internal Rate of Return****275.68 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)

Traffic

Initial AADT (2008)	9650 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	400000 st.axes of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI4-T4
Length	9.59 km
Width	6.60 m
# of Lanes	2
SNC	5.17
CBR	5.00 %
Current IRI (2007)	7.00 m/km
Year of Last Overlay	2004

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2019	2025
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.681	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative			Comparison of Alternatives	
	AADT 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	9,650	7.24	76,454	14,871,826	7.24	854,971	14,871,826	-778,516	0
2009	9,940	7.48	72,519	14,301,182	1.00	61,003	12,227,664	11,516	2,073,517
2010	10,238	7.74	68,800	13,758,466	1.06	57,803	11,668,820	10,997	2,089,647
2011	10,545	8.02	65,287	13,243,441	1.12	54,785	11,136,511	10,502	2,106,930
2012	10,861	8.30	61,966	12,754,473	1.19	51,936	10,629,247	10,029	2,125,226
2013	11,187	8.60	58,829	12,291,158	1.26	49,250	10,146,573	9,579	2,144,585
2014	11,523	8.91	55,863	11,851,897	1.34	46,715	9,687,047	9,148	2,164,851
2015	11,868	9.24	53,055	11,434,258	1.43	44,317	9,248,575	8,738	2,185,683
2016	12,224	9.58	50,400	11,038,872	1.52	42,053	8,831,575	8,346	2,207,297
2017	12,591	9.93	47,888	10,664,305	1.62	39,915	8,434,784	7,972	2,229,521
2018	12,969	10.30	45,509	10,309,233	1.73	37,894	8,057,052	7,616	2,252,182
2019	13,358	10.69	43,257	9,972,435	1.85	36,874	7,697,331	-326,617	2,275,104
2020	13,759	11.09	41,123	9,653,475	1.00	33,435	7,259,098	7,688	2,394,376
2021	14,171	11.52	39,101	9,350,506	1.10	31,752	6,930,195	7,348	2,420,311
2022	14,596	11.95	37,185	9,063,784	1.20	30,161	6,617,343	7,024	2,446,441
2023	15,034	12.41	35,369	8,792,161	1.31	28,655	6,319,612	6,714	2,472,550
2024	15,485	12.89	33,647	8,534,568	1.42	27,229	6,036,154	6,418	2,498,415
2025	15,950	13.38	32,014	8,290,524	1.55	25,878	5,766,557	6,136	2,523,966
2026	16,428	13.90	30,465	8,058,506	1.68	24,598	5,509,701	5,867	2,548,805
2027	16,921	14.34	512,928	7,809,918	1.73	23,348	5,258,888	489,580	2,551,030
TOTAL			1,461,657	216,044,989		1,935,571	172,334,553	-473,915	43,710,436

Net Present Value (NPV)**43,236,521 Euro (€)****Internal Rate of Return****298.08 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)

Traffic

Initial AADT (2008)	9650 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	400000 st. axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI4-T4
Length	9.59 km
Width	6.60 m
# of Lanes	2
SNC	5.17
CBR	5.00 %
Current IRI (2007)	7.00 m/km
Year of Last Overlay	2004

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2023
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.3	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model
m	0.06 Linear
Kgp	0.681
Kgm	0.5

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	9,650	7.24	76,454	14,871,826	7.24	854,971	14,871,826	-778,516	0	
2009	9,940	7.48	72,519	14,301,182	1.00	61,003	12,227,664	11,516	2,073,517	
2010	10,238	7.74	68,800	13,758,466	1.06	57,803	11,668,820	10,997	2,089,647	
2011	10,545	8.02	65,287	13,243,441	1.12	54,785	11,136,511	10,502	2,106,930	
2012	10,861	8.30	61,966	12,754,473	1.19	51,936	10,629,247	10,029	2,125,226	
2013	11,187	8.60	58,829	12,291,158	1.26	49,250	10,146,573	9,579	2,144,585	
2014	11,523	8.91	55,863	11,851,897	1.34	46,715	9,687,047	9,148	2,164,851	
2015	11,868	9.24	53,055	11,434,258	1.43	44,317	9,248,575	8,738	2,185,683	
2016	12,224	9.58	50,400	11,038,872	1.52	42,053	8,831,575	8,346	2,207,297	
2017	12,591	9.93	47,888	10,664,305	1.62	39,915	8,434,784	7,972	2,229,521	
2018	12,969	10.30	45,509	10,309,233	1.73	398,497	8,057,052	-352,988	2,252,182	
2019	13,358	10.69	43,257	9,972,435	1.00	35,285	7,611,338	7,971	2,361,097	
2020	13,759	11.09	41,123	9,653,475	1.09	33,505	7,266,689	7,618	2,386,786	
2021	14,171	11.52	39,101	9,350,506	1.19	31,819	6,937,991	7,282	2,412,515	
2022	14,596	11.95	37,185	9,063,784	1.30	30,225	6,625,357	6,960	2,438,427	
2023	15,034	12.41	35,369	8,792,161	1.41	134,466	6,327,856	-99,097	2,464,306	
2024	15,485	12.89	33,647	8,534,568	1.20	27,106	6,019,289	6,541	2,515,279	
2025	15,950	13.38	32,014	8,290,524	1.32	25,761	5,749,096	6,254	2,541,427	
2026	16,428	13.90	30,465	8,058,506	1.44	24,485	5,491,616	5,980	2,566,890	
2027	16,921	14.34	512,928	7,809,918	1.49	23,240	5,240,696	489,688	2,569,222	
TOTAL			1,461,657	216,044,989		2,067,136	172,209,600	-605,479	43,835,388	

Net Present Value (NPV)

43,229,909 Euro (€)

Internal Rate of Return

298.08 %

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)
Traffic	
Initial AADT (2008)	13888 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	550000 st. axles of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI4-T5
Length	11.43 km
Width	7.00 m
# of Lanes	2
SNC	4.59
CBR	7.00 %
Current IRI (2007)	6.60 m/km
Year of Last Overlay	1988

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	2		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2018	2025
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.0	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.273	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative				Comparison of Alternatives	
	AADT 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	13,888	6.84	114,447	24,740,738	6.84	1,098,570	24,740,738	-984,123	0	
2009	14,305	7.10	108,714	23,790,601	1.00	95,806	20,624,262	12,909	3,166,339	
2010	14,734	7.36	103,282	22,886,718	1.07	90,941	19,683,667	12,341	3,203,050	
2011	15,176	7.64	98,135	22,027,960	1.14	86,336	18,787,365	11,799	3,240,595	
2012	15,631	7.92	93,258	21,211,666	1.21	81,976	17,932,846	11,281	3,278,819	
2013	16,100	8.22	88,637	20,436,657	1.29	77,849	17,118,884	10,787	3,317,773	
2014	16,583	8.53	84,256	19,700,432	1.37	73,940	16,343,145	10,316	3,357,287	
2015	17,080	8.85	80,100	19,000,695	1.46	70,235	15,603,503	9,865	3,397,193	
2016	17,593	9.19	76,164	18,337,413	1.55	66,728	14,899,704	9,436	3,437,709	
2017	18,121	9.53	72,428	17,707,255	1.64	63,403	14,228,807	9,025	3,478,447	
2018	18,664	9.89	68,883	17,108,245	1.74	504,971	13,589,025	-436,088	3,519,220	
2019	19,224	10.27	65,521	16,540,275	1.00	56,433	12,837,982	9,087	3,702,293	
2020	19,801	10.66	62,330	16,001,324	1.08	53,635	12,254,610	8,696	3,746,714	
2021	20,395	11.06	59,302	15,489,531	1.16	50,980	11,698,492	8,322	3,791,039	
2022	21,007	11.48	56,428	15,003,884	1.25	48,463	11,168,663	7,965	3,835,220	
2023	21,637	11.92	53,698	14,542,647	1.34	46,074	10,663,638	7,624	3,879,009	
2024	22,286	12.38	51,106	14,104,840	1.44	43,808	10,182,514	7,298	3,922,326	
2025	22,955	12.85	48,646	13,689,442	1.54	41,658	9,724,369	6,987	3,965,072	
2026	23,643	13.34	46,307	13,294,276	1.64	39,617	9,287,491	6,690	4,006,785	
2027	24,353	13.75	655,832	12,872,952	1.70	37,651	8,864,444	618,181	4,008,508	
TOTAL			2,087,473	358,487,550		2,729,074	290,234,149	-641,601	68,253,400	

Net Present Value (NPV)**67,611,800 Euro (€)****Internal Rate of Return****358.13 %**

Life Cycle Cost Analysis Graph Tool

ver. 1.6

6/19/2008

LCCAGT**Input Data****Basic Project Data**

First Year of the Anal.	2008
Analysis Period	20 years
Discount rate	8 %
Currency	Euro (€)

Traffic

Initial AADT (2008)	13888 vehicles/day
Initial YE4 (2008)	550000 st.axes of 80 kN/year
Traffic growth	3 % per year

Inventory & Condition

Section Name	IRI4-T5
Length	11.43 km
Width	7.00 m
# of Lanes	2
SNC	4.59
CBR	7.00 %
Current IRI (2007)	6.60 m/km
Year of Last Overlay	1988

Rehabilitation alternatives**Base Alternative**

Reconstruction Year	2027
Cost of reconstr.(€/m2)	33.0

Project Alternative

Number of treatments	3		
Treatment	T1	T2	T3
Year	2008	2017	2022
Thickness (mm)	80	80	30
Cost (€/m2)	12.3	12.0	5.3

Calibration Coefficients

Road Deterioration Model	RWE model	
m	0.06	Linear
Kgp	0.273	
Kgm	0.5	

Analysis Results

Year	Base Alternative				Project Alternative			Comparison of Alternatives		
	AADT 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	13,888	6.84	114,447	24,740,738	6.84	1,098,570	24,740,738	-984,123	0	
2009	14,305	7.10	108,714	23,790,601	1.00	95,806	20,624,262	12,909	3,166,339	
2010	14,734	7.36	103,282	22,886,718	1.07	90,941	19,683,667	12,341	3,203,050	
2011	15,176	7.64	98,135	22,027,960	1.14	86,336	18,787,365	11,799	3,240,595	
2012	15,631	7.92	93,258	21,211,666	1.21	81,976	17,932,846	11,281	3,278,819	
2013	16,100	8.22	88,637	20,436,657	1.29	77,849	17,118,884	10,787	3,317,773	
2014	16,583	8.53	84,256	19,700,432	1.37	73,940	16,343,145	10,316	3,357,287	
2015	17,080	8.85	80,100	19,000,695	1.46	70,235	15,603,503	9,865	3,397,193	
2016	17,593	9.19	76,164	18,337,413	1.55	66,728	14,899,704	9,436	3,437,709	
2017	18,121	9.53	72,428	17,707,255	1.64	543,702	14,228,807	-471,274	3,478,447	
2018	18,664	9.89	68,883	17,108,245	1.00	59,466	13,461,129	9,417	3,647,117	
2019	19,224	10.27	65,521	16,540,275	1.08	56,510	12,849,089	9,011	3,691,186	
2020	19,801	10.66	62,330	16,001,324	1.16	53,708	12,265,948	8,623	3,735,377	
2021	20,395	11.06	59,302	15,489,531	1.25	51,050	11,710,068	8,252	3,779,464	
2022	21,007	11.48	56,428	15,003,884	1.34	192,903	11,180,485	-136,475	3,823,398	
2023	21,637	11.92	53,698	14,542,647	1.17	45,948	10,640,972	7,750	3,901,675	
2024	22,286	12.38	51,106	14,104,840	1.26	43,688	10,159,247	7,419	3,945,593	
2025	22,955	12.85	48,646	13,689,442	1.35	41,543	9,700,480	7,103	3,988,962	
2026	23,643	13.34	46,307	13,294,276	1.45	39,506	9,262,959	6,801	4,031,317	
2027	24,353	13.75	655,832	12,872,952	1.50	37,544	8,839,765	618,287	4,033,187	
TOTAL			2,087,473	358,487,550		2,907,948	290,033,063	-820,475	68,454,487	

Net Present Value (NPV)

67,634,012 Euro (€)

Internal Rate of Return

358.13 %





РД 20192



300155025

COBISS