



Пут и саобраћај

Бр. 3. 1997. • СЕПТЕМБАР-ДЕЦЕМБАР • Год. XLIII





ИНСТИТУТ ЗА ПУТЕВЕ Д.Д.

11000 Београд • П. фах 452 • Кумодрашка 257 • Тел.
011/466-522 • Саве Текелије 10 • Тел. 011/458-555
• Телекс: 11036 YUINSPUT • Факс: 011/466-866

Институт за путеве, д.д.

БАВИ СЕ НАУЧНО-ИСТРАЖИВАЧКОМ ДЕЛАТНОШЋУ, СТРУЧНИМ АКТИВНОСТИМА
И КОНСУЛТАНТСКИМ УСЛУГАМА У ОБЛАСТИ ПУТЕВА.

СА СВОЈИМ НАУЧНИМ И СТРУЧНИМ КАДРОМ, МОДЕРНОМ ОПРЕМОМ И
ИСКУСТВОМ ПРЕКО 45 ГОДИНА, ОСПОСОБЉЕН ЈЕ ДА РЕШАВА НАЈСЛОЖЕНИЈЕ
ЗАДАТКЕ ИЗ ДЕЛАТНОСТИ: САОБРАЋАЈА, ТРАНСПОРТА, СИСТЕМА УПРАВЉАЊА
ПУТЕВИМА, ИНЖЕЊЕРСКИХ КОНСТРУКЦИЈА, ГРАЂЕВИНСКИХ МАТЕРИЈАЛА,
ГЕОТЕХНИКЕ, ПРОЈЕКТОВАЊА И ТЕХНОЛОГИЈЕ ГРАЂЕЊА.

**За све услуге обратите се пословодству или организационим деловима
Института за путеве, д.д.:**

- | | | |
|---|---|-----------|
| ■ | Директор Института за путеве | ☎ 466-133 |
| ■ | Директор научних истраживања | ☎ 466-299 |
| ■ | Технички директор Института за путеве | ☎ 492-496 |
| ■ | Директор економско-финансијских послова | ☎ 465-138 |

У саставу ИНСТИТУТА ЗА ПУТЕВЕ су следећи организациони делови и сектори:

- ☐ НАУЧНО-ИСТРАЖИВАЧКА БИБЛИОТЕКА И НАУЧНИ САВЕТНИЦИ,
Београд, ул. Кумодрашка 257, Библиотека: ☎ 466-522/26, Саветници и преводиоци: ☎ 466-299/30
- ☐ ЗАВОД ЗА САОБРАЋАЈ И ЕКОНОМИЈУ, Београд, Кумодрашка 257, Директор ☎ 493-791/ 465-138
- ☐ ЗАВОД ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПУТЕВА "ТРАСА", Београд, Саве Текелије 10 Директор ☎ 458-547
- ☐ ЗАВОД ЗА КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ, 11000 Београд, Кумодрашка 257 Директор ☎ 463-332
- ☐ ЗАВОД ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ МОСТОВА И КОНСТРУКЦИЈА, С. Текелије 10 Директор ☎ 458-549
- ☐ ЗАВОД ЗА ГЕОТЕХНИКУ, Београд 11000, п.п. 452, ул. Кумодрашка 257 Директор ☎ 465-321
- ☐ ЗАВОД ЗА ГРАЂЕВИНСКЕ МАТЕРИЈАЛЕ, Београд, ул. Кумодрашка 257 Директор ☎ 464-563
- ☐ ЗАВОД ЗА ТЕХНОЛОГИЈУ ГРАЂЕЊА, 11000 Београд, Кумодрашка 257 Директор ☎ 462-976
- ☐ ЗАЈЕДНИЧКЕ СЛУЖБЕ ИНСТИТУТА ЗА ПУТЕВЕ, Београд, Кумодрашка 257, Директор ☎ 466-299

Издавачки савет:

Вићентије Капларевић, Миленко Остојић, Предраг Кркић, Миленко Гвозденчевић, Војислав Вајда, Зувдија Аскалић, Божидар Ђукић, Радојко Лукић, Драгослав Петровић, Милорад Терзић, Љубиша Станојевић, Александар Форцан, Слободан Цмиљанић, Јован Липовац, Рајко Вуксановић, Драган Чубрило, Бранка Јаковљевић, Дамњан Јаковљевић

Уредништво и редакција:

Др Војо Анђус, др Љубиша Кузовић, др Вера Мијушковић, др Милан Миливојевић, др Петар Митровић, др Зоран Радојковић, др Александар Цветановић, Славко Ковачевић, др Ђорђе Узелац

•

Главни и одговорни уредник:

Др Ђорђе Узелац, дипл. инж. грађ.

Технички уредник:

Мирјана Рапајић

•

Издавачи:

Друштво за путеве Југославије,
Друштво за путеве Србије и
Друштво за путеве Црне Горе

Претплата за часопис:

Претплату за часопис слати на жиро рачун Друштва за путеве Србије 40816-678-9-4223, а огласе и остало на Друштво за путеве Србије, Београд, поштански фах 452, Кумодрашка 257, тел. 493-134

Годишња претплата за 1997. годину:

за радне организације 700 динара; за остале претплатнике 90 динара; за иностранство 1000 динара. Претплата се плаћа унапред на жиро рачун Друштва за путеве Србије.

Појединачни примерци:

за радне организације 120 динара
за појединце у продаји 40 динара

Цене огласа:

по троброју на корицама 1000–2000 динара (спољашња и унутрашња страна); унутрашње стране у текстуалном делу 1/1 600 динара; 1/2 стране 400 динара; 1/4 стране 200 динара

За иностранство по троброју: 1/1 страна 150 САД долара; 1/2 стране 100 САД долара; 1/4 стране 50 САД долара.

Колективна чланарина одређује се сразмерно величини и значају радне организације – колективног члана и не може бити нижа од 700 динара. Колективни чланови, уплатом чланарине добијају одређени број примерака часописа бесплатно.

Ослобођено плаћања општег пореза на промет на основу мишљења Министарства за науку и технологију Републике Србије, бр. 413-00-353/96-01 од 12.7.1996. године.

Штампа: CICERO, Београд, тел. 682-659

Пут и саобраћај

ЧАСОПИС ДРУШТВА ЗА ПУТЕВЕ ЈУГОСЛАВИЈЕ
ДРУШТВА ЗА ПУТЕВЕ СРБИЈЕ И ДРУШТВА ЗА ПУТЕВЕ ЦРНЕ ГОРЕ

Број 3 • Септембар–децембар 1997 • Година XLIII

**Члановима
Друштва за путеве Србије
и
Друштва за путеве Црне Горе,
читаоцима и сарадницима
Часописа "Пут и саобраћај"
желимо срећну
Нову 1998. годину**

Пут и саобраћај

ЧАСОПИС

ДРУШТВА ЗА ПУТЕВЕ ЈУГОСЛАВИЈЕ
ДРУШТВА ЗА ПУТЕВЕ СРБИЈЕ
ДРУШТВА ЗА ПУТЕВЕ ЦРНЕ ГОРЕ

Број 3

Септембар–децембар 1997 • Година XLIII

Number 3

September–December 1997 • Year XLIII

САДРЖАЈ

- Проф. др Митар Чворовић, дипл. инж. геод.
СИСТЕМ КВАЛИТЕТА У ФУНКЦИЈИ
ЕЛИМИНАЦИЈЕ ГРЕШАКА У ГЕОДЕТСКИМ
МЈЕРЕЊИМА КОД ПРОЈЕКТОВАЊА И
ИЗВОЂЕЊА САОБРАЋАЈНИЦА 123
- Мр Лидија Пашалић-Вељковић, дипл. грађ. инж.
ПРИЛОГ МЕТОДОЛОГИЈИ ВРЕДНОВАЊА
ВАРИЈАНТНИХ РЕШЕЊА ВАНГРАДСКИХ
ПУТЕВА НА НИВОУ ГЕНЕРАЛНОГ ПРОЈЕКТА... 125
- Смиљан Вукановић
Драгана Митић
ПРОРАЧУН НИВОА УСЛУГЕ НА
СИГНАЛИСАНИМ РАСКРСНИЦАМА ПО
МЕТОДИ HCM ИЗ 1994. ГОДИНЕ 131
- Др Петар Митровић, дипл. грађ. инж.
БЕТОН ОЈАЧАН МЕТАЛНИМ ВЛАКНИМА 136
- Проф. др Зоран Радојковић, дипл. инж. грађ.
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ И ТЕОРИЈСКЕ
ОСНОВЕ МЕТОДЕ ПРОЈЕКТОВАЊА
АСФАЛТНИХ МЕШАВИНА ПО СИСТЕМУ
"SUPERPAVE" 141
- Др Имре Пап, дипл. инж.
Др Милорад Смиљанић, дипл. инж.
ИСТРАЖИВАЊА УТИЦАЈА APP И SBS
ПОЛИМЕР-БИТУМЕНА НА РЕОЛОШКЕ
КАРАКТЕРИСТИКЕ АСФАЛТНЕ МЕШАВИНЕ.. 149
- Мр Миодраг Јочић, дипл. инж. грађ.
Мр Јованка Ђуран, дипл. инж. грађ.
НОВИ МАТЕРИЈАЛИ, ПОСТУПЦИ И
ИСПИТИВАЊА У ОБЛАСТИ ТЕКУЋЕГ
ОДРЖАВАЊА ПУТЕВА 154
- Проф. др Душан Светел
ИСТОРИЈАТ ПРИМЕНЕ ПРИРОДНИХ
АСФАЛТА КАО ГРАЂЕВИНСКОГ
МАТЕРИЈАЛА ОД ПРЕИСТОРИЈЕ ДО
ПОЧЕТКА XX ВЕКА 159
- МИШЉЕЊА, ИНИЦИЈАТИВЕ... 169
- ИЗ ДРУШТВА ЗА ПУТЕВЕ СРБИЈЕ 171

CONTENTS

- Prof. Mitar Čvorović, B.Sc., Ph. D.
SYSTEM OF QUALITY IN FUNCTION OF
ELIMINATION OF ERRORS IN GEODETIC
MEASUREMENTS FOR ROAD DESIGN AND
CONSTRUCTION 123
- Lidija Pašalić-Veljković, C.E., M.Sc.
A CONTRIBUTION TO METHODOLOGY FOR
THE EVALUATION OF ALTERNATIVES AT
THE RURAL ROAD LOCATION STAGE 125
- Prof. Smiljan Vukanović
Dragan Mitić
LEVEL OF SERVICE ESTIMATION FOR
SIGNALIZED INTERSECTIONS USING HCM 94
METHOD 131
- Petar Mitrović, B.Sc.(C.E.) M.Sc., Ph.D.
CONCRETE REINFORCED WITH METAL
FIBERS 136
- Prof. Zoran Radojković, Ph.D., M.Sc., B.Sc.(C.E.)
EXPERIMENTAL AND THEORETICAL BASES
OF ASPHALT MIXTURE DESIGN METHOD
USING "SUPERPAVE" SYSTEM 141
- Dr Imre Pap, B.Sc.Ph.D.
Milorad Smiljanić, B.Sc.Ph.D.
INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF
APP-AND SBS-POLYMER BITUMEN ONTO
RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF
ASPHALT MIX 149
- Miodrag Jocić, C.E., M.Sc.
Jovanka Đuran, C.E., M.Sc.
NEW MATERIALS, PROCEDURES AND
INVESTIGATIONS ON ROUTINE
MAINTENANCE OF ROADS 154
- Prof. Dušan Svetel, Ph.D.
NATURAL ASPHALT APPLICATION HISTORY
FROM PREHISTORY TO THE BEGINING OF
XX CENTURY 159

Систем квалитета у функцији елиминације грешака у геодетским мјерењима код пројектовања и извођења саобраћајница

Проф. др Митар Чворовић, дипл.инж.геод.
Грађевински факултет, Подгорица

Научни рад
УДК 528.48:625.72:006.83

РЕЗИМЕ

У раду се предлаже увођење Система квалитета у све операције које изводе геодети приликом снимања подлога за пројектовање, преношења пројекта на терен и обилеживања елеманата пута у току његове изградње. Систем квалитета предпоставља израду процедура за сваку операцију појединачно, издавање лиценци за њихово извођење, систем контроле поштовања процедура, а све у циљу подизања квалитета ових радова и елиминације могућих грешака мјерења и њиховог штетног утицаја на цијену и квалитет изведене саобраћајнице.

1. УВОД

Укратко ћемо се подсетити на чињеницу да је свако мјерење оптерећено грешкама мјерења, које могу бити различите по карактеру настанка, па се зато дијеле на случајне или неизбјежне и систематске грешке.

Теорија грешака и математичка статистика, имају разрађене методе, по којима се утицај грешака мјерења може свести на практично занемарљиву вредност, што и јесте циљ пројектанта и извођача сваког инвестиционог подухвата, па и саобраћајнице као грађевинског објекта.

Међутим, већ код констатације да се грешке могу свести на занемарљиву вриједност, ми практично уводимо појам *занемарљиве вриједности* као одлучујућу категорију, којој је потребно за сваку операцију појединачно одредити квантитативну вредност.

Теорија грешака и математичка статистика имају теоретски одговор како се одређује занемарљива вредност грешке мјерења и једноставно је дефинишу као двоструку или троструку средњу грешку функције која математички описује њене особине. Средња грешка функције зависи од средње грешке појединог мјерења, а ова од захтијеване тачности посла којега изводимо.

Захтијевана тачност двојачко дјелује на Пројектанта и Извођача радова. Кад се захтијева повећана тачност, онда она знатно поскупљује и успорава радове али значајно подиже квалитет посла, док су код мање тачности цијене мјерења мање али је и квалитет посла слабији. Тако се пројектант доводи у веома незгодну позицију у којој инвеститор тежи да гради јефтино и квалитетно а извођач што јефтиније, па је најчешће резултат компромис који утиче на квалитет објекта. Да додамо, да заиста није чест случај, али је могућа злоупотреба коју могу чинити пројектант и извођач у односу на Инвеститора и обрнуто.

Према томе, потребно је или разрадити опште прихваћене критеријуме тачности за све врсте геодетских послова који се обављају приликом пројектовања и извођења саобраћајница, што би било врло исправно, или задужити пројектанта да се он изјасни, што за њега представља велику обавезу, јер га уводи у неке области за које није специјалиста, или све препустити извођачу геодетских мјерења да он сам оцјењује свој посао, што је у пракси најчешћи случај, али је са аспекта квалитета најслабије решење.

2. СИСТЕМ КВАЛИТЕТА КАО ЈЕДИНСТВЕНО РЕШЕЊЕ

Како смо већ напоменули, за поједине операције које су саставни дио геодетских мјерења није тешко, под одређеним претпоставкама, установити метод помоћу којег се грешке мјерења могу свести на занемарљиво малу вредност. Под методом се овдје подразумева избор инструмената потребних за мјерење и поступак по коме се мјерење мора извести. Ово је основна чињеница на којој почива примјена система квалитета код ових послова. Ако се на основу одабране методе, пропише процедура извођења неке операције и ако се при мјерењу потпуно поштује процедура, онда ће резултат мјерења бити ослобођен утицаја грешака, јер ће доследним извођењем процедуре грешке бити сведене на занемарљиву вредност. Овај тип процедура могао би се звати "Процедуре за геодетска мјерења".

Исто тако, ако се пропишу процедуре преношења пројекта на терен и поступак обилеживања у току изградње могу се елиминисати евентуалне грешке које су настале приликом снимања терена. Овај тип процедура, ми ћемо звати "Пројектантске процедуре".

Заједно "Процедуре за геодетска мјерења" и "Пројектантске процедуре" сачињавале би "Правилник за геодетске радове при пројектовању, обилеживању и изградњи саобраћајница".

2.1. Процедуре за геодетска мјерења

Сва геодетска мјерења која се изводе у циљу пројектовања, обилеживања и извођења геодетских радова, могу се подијелити на појединачне операције. Ако се пропишу процедуре за сваку операцију појединачно, добиће се скуп процедура или Правилник за извођење геодетских мјерења при пројектовању и извођењу саобраћајница.

Геодете су и до сада имале сличан правилник, али се он односио на премјер земљишта, који по тачности задовољава само једну врсту мјерења која се врше приликом пројектовања и изградње саобраћајница, али се некритички примјењивао и код ових

послова у недостатку правилника који би био њима искључиво намијењен.

Можемо овдје ради илустрације навести примјер, како је некритички примијењена правилничка процедура на дужину и дозвољена одступања у једном оперативном полигону који је развијен на траси пута Титоград-Никшић у околини тунела Будош.

Полигон је био дуг преко 7 км, укупно одступање:

$$f_L = 1,35 \text{ m}$$

а дозвољено одступање

$$\Delta f_L = 1,80 \text{ m.}$$

Почетком радова, установљено је да се правац тунела одређен са оперативног полигона разликује од правца са допунске мреже, која је срећом у околини постојала, иначе би грешку установили тек код пробоја тунела.

Накондом провјером, констатовано је да је приликом мјерења дужина, вредност дужине једне стране полигона погрешно измјерена (или погрешно уписана у записник) за читав метар, али је та груба грешка остала неоткривена, јер дужине нијесу мјерене обострано, али и касније, код изравњања полигона, јер је дозвољено одступање узето из правилника за државни премјер, који има мање критеријуме тачности од оних које захтијева оперативни полигон.

Прилом успостављања поменутог оперативног полигона, није испоштован низ процедура, прије свега да оријентација дужих тунела, а тунел Будош је дуг 1100 м, не смије почивати на оперативном полигону већ на тунелској триангулацији, затим да се дужине у оперативном полигону морају мјерити обострано, да дужина полигона не смије прећи прописану дужину за ту категорију тачности и да се дозвољена одступања у полигону морају рачунати са тачношћу која одговара овој врсти посла. Да су постојале ове процедуре и да су доследно поштоване, сигурно би на вријеме спрјечиле поменућу грешку.

У пракси оваквих случајева има доста, али и овај примјер довољно илуструје потребу израде посебног Правилника за геодетска мјерења која се врше за потребе пројектовања и изградње саобраћајница.

2.2. Пројектантске процедуре

Постоји један број геодетских операција, које су доста масовне, код којих би контролна мјерења изазвала велико успоравање и значајно поскупљење радова. Примјер за такву врсту рада је класично снимање терена поларном методом. Контрола сваке снимљене тачке, могућа је ако се поново прочита угао и дужина, или ако се са друге станице за ту тачку поново читају поларне координате. Очигледно, ефикасна контрола у једном случају двоструко продужује рад, док је у другом случају тај продужетак знатно дужи од онога из претходног случаја.

Међутим, грешке које се догађају приликом ове врсте снимања, могу знатно оштетити квалитет пројекта и изазвати поскупљење радова, али се оне могу избјећи, ако се пропише процедура, да се приликом преношења пројекта на терен, обавезно нивелманом одређују коте тачака сваког профила на осовини пута и снимају попречни профили. Тако ће се установити евентуално неслагање идејног пројекта са стањем на терену и биће усаглашено у главном пројекту.

Исто тако, ако се пропише процедура осигурања тачака осовине, избјећи ће се касније грешке у извођењу, које настају због евентуалних грешака које настају у обиљежавању тачака осовине због лошег пресека правца.

3. ПРЕДЛОГ ШЕМЕ ОРГАНИЗАЦИЈЕ СИСТЕМА КВАЛИТЕТА

Проналажење оптималне шеме организације Система квалитета код предметних геодетских послова је доста компликован поступак. Један од могућих приступа проналажења оптималне шеме организације Система квалитета произилази из идентификовања заинтересованих субјекта за квалитет геодетских подлога.

Из онога што је у пракси познато, за квалитет геодетских података подједнако су заинтересовани пројектант, инвеститор и извођач радова, па би се у њиховој корелацији могла тражити и могућа шема организације система квалитета.

Међутим, поред наведених субјеката, за квалитет грађевинских послова, заинтересована је и законом овлашћена да врши контролу и државна управа преко Министарства за урбанизам, односно општинске инспекције, па је и ове субјекте неопходно узети у обзир. Имајући све то у виду, једна могућа шема организације система квалитета геодетских послова код пројектовања и изградње саобраћајница изгледала би овако:



4. ЗАКЉУЧАК

Према ономе што је укратко изнесено у овом раду, може се закључити да је у интересу свих који учествују у изградњи саобраћајница, дакле, инвеститору, пројектанту и извођачу у интересу да се приступи увођењу система квалитета за геодетске радове при пројектовању и извођењу саобраћајница, који би садржавао и процедуре за чисто геодетске радове, али и пројектантске процедуре које би биле сигурност пројектанту да није направио погрешне процјене количина радова, а све у интересу повећаног квалитета изведеног објекта.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Перовић Г.: "Рачун изравњања и теорија грешака мјерења", Научна књига, Београд 1984. год.
- [2] Михаиловић К.: "Геодезија III, Научна књига, Београд 1985. године.
- [3] Чворовић М.: "Примјена система квалитета у државној управи у току израде и коришћења евиденција", Квалитет, часопис за унапређење квалитета, година 7, број 3-4, 1997. година.

Прилог методологији вредновања варијантних решења ванградских путева на нивоу генералног пројекта

Мр Лидија Пашалић–Велковић, дипл. грађ. инж.
Грађевински факултет, Београд

Научни рад
УДК 625.711.001.14:001.818

РЕЗИМЕ

Рад представља приказ магистарске тезе која је под истим насловом одбрањена на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, на Катедри за путеве и аеродроме, октобра 1995. године. У оквиру магистарске тезе формулисана је једна од могућих приступа проблематици вредновања варијантних решења ванградских путева на нивоу Генералног пројекта, кроз дефинисање методолошких основа и конкретних поступака упоређења и вредновања могућих варијаната.

1. УВОД

Вредновање варијантних решења ванградских путева представља процес документованог оцењивања и међусобног поређења варијаната сагласно њиховим карактеристикама, са циљем да се из низа могућих изабере оптимална. Имајући у виду да резултати вредновања представљају основу за доношење одлука, намеће се потреба за формирањем јединствене методологије вредновања варијантних решења која би омогућила доношење документоване оцено о разматраним варијантама и умањила последице интуитивног одлучивања. Вредновање представља кључни корак у свим пројектним фазама. Овај став нарочито добија на тежини у случају вредновања варијантних решења ванградских путева на нивоу Генералног пројекта, будући да се ради о планерско–пројектантској фази у којој се доноси једна од најосетљивијих одлука у целокупном процесу пројектовања – одлука о просторном положају пута на макро нивоу. Пут, поред своје примарне функције да омогућава транспорт људи и роба, представља и значајну компоненту друштвено–економског развоја, те сходно томе, овом се одлуком последично дефинише и низ односа и аспеката од значаја за ширу друштвену заједницу.

Кроз магистарски рад формулисана је једна од могућих приступа проблематици вредновања варијантних решења ванградских путева на нивоу генералног пројекта. Једнозначним дефинисањем поступака, метода и модела релевантних за оцењивање и међусобно упоређивање варијантних решења, и њиховим интегрисањем у конзистентан методолошки приступ, створена је основа за објективно и документовано доношење одлуке о оптималном решењу уз довођење на најмању меру последица интуитивног одлучивања.

У том смислу:

- Формулисана је опште применљива, хијерархијски уређена листа циљева, критеријума и показатеља, према којој се врши упоређење варијанта;

- Процес вредновања је директно повезан са општом методологијом процеса пројектовања, при чему су једнозначно утврђени поступци квантификације показатеља на основу резултата пројектне разраде варијантних решења;

- Дефинисани су основни принципи прилагођавања универзално применљиве опште листе циљева, критеријума и показатеља, конкретним програмским условима и ограничењима, кроз поступке преференцијалног и техничког одређивања тежинских коефицијената;

- Указано је на потребу комплементарне примене и упоредне анализе резултата економских метода вредновања и метода вишекритеријумске оптимизације у процесу вредновања, уз критички осврт на могућност примене расположивих метода вишекритеријумског и економског вредновања;

- Дефинисани су основни принципи у сфери анализе осетљивости резултата вредновања на промену једног или више параметара / показатеља.

- Указано је на значај и на основне принципе одговарајуће оствареног представљања приказа резултата вредновања доносиоцу одлука и широј јавности.

2. МЕТОДОЛОШКЕ ОСНОВЕ ВРЕДНОВАЊА ВАРИЈАНТНИХ РЕШЕЊА ВАНГРАДСКИХ ПУТЕВА

Процес пројектовања ванградских путева представља хијерархијски уређени низ поступака одлучивања, од друштвеног опредељења па до нумеричког дефинисања основних пројектних елемената. Вредновање варијантних решења је кључни корак у целокупном процесу пројектовања ванградских путева, будући да се сагласно ширини разматрања и нивоу детаљности појединих пројектантских фаза, кроз процес вредновања варијантних решења врши документовано упоређење варијаната и доноси одлуку о оптималној локацији путног правца или његовог елемента. Тек пошто се донесе одлука о најповољнијем решењу у оквиру разматране пројектантске фазе, може се прећи на следећу, будући да следећа хијерархијски нижа пројектантска фаза не пружа довољну ширину за разматрање задатака претходне фазе. Одлучивање у оквиру сваке пројектантске фазе мора се заснивати на документованом вредновању алтернативних решења, заснова-

ном на упоређењу варијаната, сагласно вредносним показатељима појединих решења.

Појам вредновања у ширем смислу је присутан током целокупног процеса разраде пројектних решења, будући да пројектант стално доноси одлуке о избору елемената пројектног решења кроз мање или више формализован поступак вредновања. Међутим, уобичајено је да се под појмом вредновање варијантних решења, подразумева завршно "одмеравање" пројектних остваривања, кроз пројектну разраду варијантних решења, сагласно унапред дефинисаним и верификованим циљевима изградње објекта.

2.1. Вредновање варијантних решења ванградских путева у фази Генералног пројекта

Вредновање варијантних решења на нивоу Генералног пројекта има за циљ да из скупа могућих коридора представљених трасом, односно генералних варијанти у оквиру истог коридора или концепцијски различитих варијантних решења, издвоји оптимално – сагласно унапред дефинисаним и верификованим циљевима грађења и критеријумима вредновања. Будући да проблеме настале услед неадекватно и недокументовано донетих одлука није могуће исправити у наредним пројектантским фазама, од изузетног је значаја да се у процес вредновања варијантних коридора / варијантних решења укључе сви утицајни параметри и донесе одлука о најповољнијим, а на основу поуздане, непристрасне и документоване анализе.

2.1.1. Алгоритамска структура процеса вредновања варијантних решења на нивоу Генералног пројекта

Општеприхваћеном методологијом пројектовања путева – МПП [1] дефинисана је структура процеса пројектовања ванградских путева, којом је једнозначно у систему "време и редослед", одређен положај сваке активности у оквиру целокупног процеса израде Генералног, Идејног, Извођачког и Архивског пројекта. Целокупан процес израде Генералног пројекта подељен је у шест фаза: *Задатак за израду Генералног пројекта, Основе за пројектовање, Пројектовање, Вредновање, Резултати и презентација Генералног пројекта, Задатак за наредну фазу.*

На основу досадашњих искустава и детаљнијег сагледавања процеса, предложена је алгоритамска структура процеса вредновања варијантних решења ванградских путева на нивоу Генералног пројекта (слика 1), којом се процес вредновања разматра кроз четири међусобно повезане фазе: *Формирање основа за вредновање, Процену последица пројектних решења, Упоређење варијантних решења и Избор оптималног варијантног решења.*

● Суштински поступци у оквиру фазе *Формирања основа за вредновање* огледају се у стварању јединствене основе за међусобно поређење варијантних решења, сагласно ширим интересима друштвене заједнице у целини као и техничким захтевима, а са циљем да се умање последице интуитивног одлучивања и одлука о оптималном кори-

дору / варијантном решењу донесе на основу егзактних показатеља. У том смислу образују се основе за упоређење кроз: а) Дефинисање листе циљева, критеријума и показатеља; б) Дефинисање релативних тежинских коефицијената и в) Избор метода вишекритеријумског и/или економског вредновања.

● Група активности у оквиру процеса вредновања варијантних коридора/варијантних решења везана је за *Процену последица пројектних решења*. Кључни кораци у оквиру ове фазе оријентисани су ка квантификацији последица пројектних решења релевантних за процес упоређења, односно ка придруживању квантификованих показатеља листи циљева и критеријума, формулисаној у оквиру основа за вредновање. Основу за њихово дефинисање чине резултати пројектне разраде варијантних решења, те се поједностављено може рећи да је примарни задатак пројектних истраживања да обезбеди поуздане показатеље за међусобно упоређење варијантних решења и доношење одлуке о оптималном решењу. Генерално, за потребе вредновања варијантних решења ванградских путева на нивоу генералног пројекта, дефинишу се и укључују у процес упоређења следеће последице: *Последице грађења, Последице у одржавању и управљању, Последице по кориснике, Сигурност и удобност, Развој привредних и друштвених односа, Просторне последице и Последице по животну средину.*

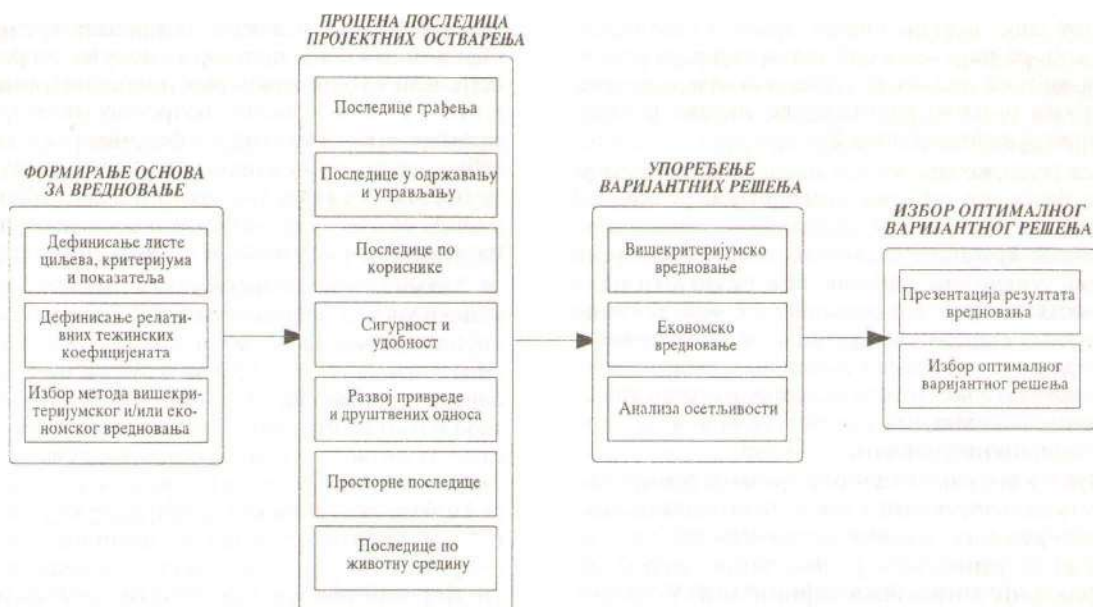
● У оквиру низа активности *Упоређења варијантних решења* врши се поређење пројектованих коридора/варијантних решења по низу критеријума дефинисаних у оквиру листе циљева, критеријума и показатеља, уз коришћење нумеричких и новчаних показатеља обезбеђених у активностима везаним за процену последица пројектних остварења. Упоређење се врши по једној од метода вишекритеријумског и економског вредновања усвојеној у почетним корацима процеса вредновања. У том смислу, потребно је варијантна решења упоредити и међусобно рангирати кроз поступке *Вишекритеријумског и/или економског вредновања*, као и проверити постојаност резултата вредновања кроз *Анализу осетљивости*.

● Последњу фазу чине активности везане за Избор оптималног варијантног решења. Доносиоц одлука и шира јавност се кроз *Презентацију резултата вредновања* упознају са резултатима упоређења варијантних решења и на основу њих се обавља *Избор оптималног варијантног решења*.

У оквиру магистарске тезе дат је детаљан приказ наведених активности, уз дефинисање конкретних метода и модела и кроз унификацију поступака упоређења и вредновања варијантних решења на нивоу Генералног пројекта.

3. ЦИЉЕВИ, КРИТЕРИЈУМИ И ПОКАЗАТЕЉИ

Као што је истакнуто, суштински поступци у оквиру магистарске тезе оријентисани су ка формулисању универзално применљиве опште листе циљева, критеријума и показатеља према којој се врши упоређење и вредновање варијантних решења ванградских путева на нивоу Генералног пројекта,



Слика 1. Алгоритмска структура процеса вредновања варијантних решења ванградских путева на нивоу Генералног пројекта

као и дефинисању основних принципа и конкретних поступака прилагођавања опште листе конкретним програмским условима и ограничењима.

3.1. Дефинисање опште листе циљева, критеријума и показатеља на нивоу генералног пројекта

Имајући у виду чињеницу да сваки путни правац поред специфичних критеријума, који су првенствено условљени просторним карактеристикама подручја и значајем пута, мора поштовати и опште критеријуме, као што су на пример најмањи трошкови, највећа безбедност, најмање просторне последице и сл., могуће је по правилу успоставити универзално применљиву за све путне правце, хијерархијски уређену листу циљева, критеријума и показатеља. Овако утврђена општа лист циљева, критеријума и показатеља прилагођава се локалним условима, дефинисањем припадајуће матрице релативних тежина. На тај начин се управо квантификује релативан значај сваког од елемената листе у конкретним условима и за конкретни пут и општа листа преводи у посебну листу циљева, критеријума и показатеља која се односи на разматрани путни правац.

На слици 2 приказана је сажета хијерархијска структура дефинисана општом листом циљева, критеријума и показатеља за упоређење варијаната на нивоу Генералног пројекта, за ниво циљева и критеријума. Треба нагласити да је наведена општа листа формулисана на основу досадашњих искустава и да је не треба схватити као непроменљиву, већ ју је потребно непрекидно модификовати у складу са технолошким развојем и нарастањем широким друштвених захтева. Њоме је обухваћена уобичајена проблематика у области вредновања варијантних решења на нивоу генералног пројекта, док је за све остале случајеве потребно извршити њено прилагођавање сагласно природи проблема који се разматра. Наведена листа је превасходно намењена вишекритеријумском вредновању, при чему се она једноставно може прилагодити потребама економ-

ског вредновања искључивањем ових критеријума / показатеља који су немонетарне природе.

Ц1 МИНИМУМ ПОСЛЕДИЦА ГРАЂЕЊА
K1.1 ЕКСПРОПРИЈАЦИЈА И РАСЕЉАВАЊЕ
K1.2 ПОВРШИНА КОЛОВОЗА
K1.3 ЗЕМЉАНИ РАДОВИ
K1.4 ОДВОЂАВАЊЕ ИНЖЕЊЕРСКЕ И ЗАШТИТНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ
K1.5 МОСТОВИ И ТУНЕЛИ
K1.6 ИЗМЕШТАЊЕ САОБРАЋАЈНИЦА И ИНСТАЛАЦИЈА
K1.7 РЕГУЛАЦИЈА ВОДОТОКА
K1.8 СИГНАЛИЗАЦИЈА И ОПРЕМА
Ц2 МИНИМУМ ПОСЛЕДИЦА У ОДРЖАВАЊУ И УПРАВЉАЊУ
K2.1 РЕДОВНО ОДРЖАВАЊЕ ТРАСЕ ПУТА И РАСКРСНИЦА
K2.2 РЕДОВНО ОДРЖАВАЊЕ МОСТОВА И ТУНЕЛА
K2.3 ЗИМСКО ОДРЖАВАЊЕ
K2.4 ПОСЛЕДИЦЕ У СИСТЕМУ УПРАВЉАЊА
Ц3 МИНИМУМ ПОСЛЕДИЦА ПО КОРИСНИКЕ
K3.1 НИВО УСЛУГЕ
K3.2 ВРЕМЕ ПУТОВАЊА
K3.3 ПОТРОШЊА ГОРИВА
K3.4 МАКРО ПОКАЗАТЕЉИ ОД УТИЦАЈА НА КОРИСНИКЕ
K3.5 ПОСЛЕДИЦЕ У МРЕЖИ
K3.6 КВАЛИТЕТ УСЛУГА КОРИСНИЦИМА
Ц4 МАКСИМАЛНА СИГУРНОСТ И БЕЗБЕДНОСТ
K4.1 БРОЈ САОБРАЋАЈНИХ НЕСРЕЋА
K4.2 КОНТИНУИТЕТ ВОЈЖЕ
K4.3 ОПТИЧКИ ОДНОСИ
K4.4 ДОДАТНИ РИЗИК
Ц5 МАКСИМАЛАН ПРИВРЕДНИ И ДРУШТВЕНИ РАЗВОЈ
K5.1 УТИЦАЈ НА ПРИВРЕДНИ РАЗВОЈ
K5.2 УТИЦАЈ НА ДРУШТВЕНЕ ОДНОСЕ
Ц6 МИНИМУМ ПРОСТОРНИХ ПОСЛЕДИЦА
K6.1 ПРОСТОРНИ СУКОБ СА ПОСТОЈЕЋОМ НАМЕНОМ ПОВРШИНА
K6.2 ПРОСТОРНИ СУКОБ СА ПЛАНИРАНОМ НАМЕНОМ ПОВРШИНА
K6.3 ПРОСТОРНИ СУКОБ СА ПОСТОЈЕЋИМ И ПЛАНИРАНИМ КОРИШЋЕЊЕМ ЗЕМЉИШТА
K6.4 МОГУЋНОСТ БУДУЋЕГ УРЕЂЕЊА ПРОСТОРА
K6.5 ОПСЛУЖЕНОСТ ГРАВИТАЦИОНОГ ПОДРУЧЈА
K6.6 ФУНКЦИОНАЛНЕ ПОСЛЕДИЦЕ РАЗДВАЈАЊА ЦЕЛИНА
Ц7 МИНИМУМ ПОСЛЕДИЦА ПО ЖИВОТНУ СРЕДИНУ
K7.1 БУКА
K7.2 АЕРОЗАГАЂЕЊЕ
K7.3 ВИБРАЦИЈЕ
K7.4 ЗАГАЂЕЊЕ ВОДА И ИЗМЕНЕ У РЕЖИМУ
K7.5 ЗАГАЂЕЊЕ И ДЕГРАДАЦИЈА ТЛА
K7.6 ФЛОРА И ФАУНА
K7.7 МИКРОКЛИМА
K7.8 ВИЗУЕЛНО ЗАГАЂЕЊЕ
K7.9 ЕНЕРГИЈА И РЕСУРСИ
K7.10 ПРИРОДНО И КУЛТУРНО НАСЛЕЂЕ

Слика 2. Хијерархијска структура опште листе циљева и критеријума за упоређење варијаната на нивоу Генералног пројекта

Основу предложене опште листе чини седам циљева који се налазе на највишем хијерархијском нивоу, а који се даљим рашчлањавањем у низове критеријума и њима припадајуће низове показатеља ближе одређују (слика 2).

Показатељи, као елементи на најнижем нивоу у хијерархији листе циљева, критеријума и показатеља, омогућавају да се у аналитички апарат одабране методе вредновања, вишекритеријумске или економске, унесу квантификовани резултати пројектних остварења. Један од основних задатака пројектне разраде варијантних решења је обезбеђивање параметара на основу којих је могуће одредити вредности показатеља, чиме се заправо омогућава "одмеравање" пројектних остварења у процесу упоређења варијантних решења.

Имајући у виду неопходност примене јединственог приступа и поступака у процесу вредновања варијантних решења, намеће се између осталог и потреба за дефинисањем јединственог модела за квантификацију показатеља дефинисаних у оквиру опште листе циљева, критеријума и показатеља. Кроз унификацију поступака дефинисања показатеља обезбеђује се истоветност приступа у поступку вредновања варијантних решења за различите путне правце и сужава простор за субјективно везивање за поједине варијанте. Предлог модела за дефинисање показатеља за потребе вредновања варијантних решења на нивоу Генералног пројекта дат је у облику Каталога показатеља [4].

3.2. Дефинисање посебне листе циљева, критеријума и показатеља на нивоу Генералног пројекта

За сваки појединачни путни правац, сагласно карактеристикама локалитета коме он припада као и ширим друштвеним захтевима који разматрани путни правац треба да задовољи, потребно је усвојити посебну листу циљева, критеријума и показатеља, коју је могуће дефинисати кроз поступке прилагођавања опште листе. У том смислу сваком елементу опште листе, додељује се релативна важност, дефинисана у облику тзв. релативне тежине, сагласно конкретним ограничењима и захтевима у погледу функције разматраног пута. Придруживањем општој листи циљева, критеријума и показатеља једне тако уређене припадајуће матрице релативних тежина циљева, критеријума и показатеља, добија се посебна листа циљева, критеријума и показатеља за разматрани путни правац на основу које је могуће у даљим поступцима извршити вредновање, односно упоређивање могућих и одабир оптималног коридора / варијантног решења за разматрани путни правац.

Дефинисање посебне листе представља један од најосетљивијих корака у целокупном поступку вредновања варијантних решења, будући да се њоме дефинишу они утицаји који су од важности за дати путни правац, квантификује њихов значај у конкретним условима као и њихов међусобни значај, односно ради се о поступцима који директно утичу на резултате вредновања варијантних решења. Немогућност апсолутно егзактног остварења наведених поступака представља један од највећих методоло-

шких проблема целокупног процеса вредновања, с обзиром да отвара простор за могуће погрешне процене или субјективно форсирање појединих варијанти. У том смислу потребно је дефинисање релативних тежинских коефицијената, односно посебне листе, оријентисати ка оним поступцима и методама које своде на најмању меру субјективност у поступку процене. Дефинисање релативних тежина може бити техничко и преференцијално.

Техничко дефинисање тежина се примењује углавном за одређивање тежина на нижим хијерархијским нивоима – тежине показатеља, евентуално критеријума (слика 3), и заснива се на објективној основи пронашлој из прорачуна техничког карактера и/или из стручних процена. Техничко дефинисање тежина је у највећем броју случајева задатак стручњака који су директно укључени у реализацију Генералног пројекта, с обзиром да је субјективност у процени тежина у принципу искључена имајући у виду да се они могу експлицитно одредити. Дефинисање тежина показатеља у неким случајевима не може у потпуности имати техничку основу те је потребно ангажовати стручњаке из других области (економисте, демографе, просторне планере, урбанист итд.), мада је тада изванредан степен субјективности неизбежан.

Преференцијално дефинисање тежина се користи за одређивање тежина на вишим хијерархијским нивоима – тежине циљева, евентуално критеријума (слика 3). Преференцијално се тежине одређују или директно, путем анкетирања одабраних група становништва, или индиректно, путем анализе претходних процена, одлука или реаговања и понашања неких група становништва. Овај начин неизбежно се заснива, у мањој или већој мери, на субјективним приоритетима, при чему се тежи да се избором групе представника субјективност у процесу процене минимизира. Групу представника, по правилу, именује доносилац одлука и у њој не би смели да буду присутни стручњаци који су директно укључени у реализацију Генералног пројекта или они који имају директних интереса. Приликом одређивања тежина на највишем хијерархијском нивоу – нивоу циљева, који је првенствено резултат одређене политике развоја, неопходно је узети у обзир интересе свих страна тј. јавности, инвеститора али и оних који су директно изложени утицају будућег пута. Треба истаћи да преференцијалне тежине у знатно већој мери утичу на коначне резултате упоређења од технички дефинисаних тежина, будући да се

ХИЈЕРАРХИСКИ НИВО	ДЕФИНИСАЊЕ ТЕЖИНА		УЧЕШЋЕ У ДЕФИНИСАЊУ ТЕЖИНА		СТРУЧНИ ПРОФИЛИ	
	ЦИЉЕВИ	Преференцијално	Доносилац одлука		Остали	
	КРИТЕРИЈУМИ		Стручне комисије			
	ПОКАЗАТЕЉИ	Техничко	Пројектни тим		Грађевински инжењери	

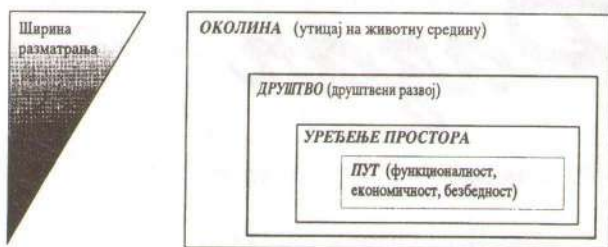
Слика 3. Област примене поступака техничког и преференцијалног дефинисања релативних тежина и учешће струкура система одлучивања у дефинисању тежина на нивоу Генералног пројекта

придружују елементима на вишем хијерархијском нивоу уређене листе циљева, критеријума и показатеља, те је потребно њиховом одређивању посветити посебну пажњу.

На слици 3 приказане су области примене поступака техничког и преференцијалног дефинисања релативних тежина и учешћа појединих структура система одлучивања у дефинисању тежина на нивоу Генералног пројекта. На највишем нивоу хијерархијски уређене листе циљева критеријума и показатеља – нивоу циљева доминантну улогу у дефинисању тежина има доносилац одлука и јавност, док на нижим нивоима кључну улогу имају стручне комисије које именује доносилац одлука – ниво критеријума, односно пројектни тим – ниво показатеља.

4. МЕТОДЕ ВРЕДНОВАЊА ВАРИЈАНТНИХ РЕШЕЊА

Развој схватања да се квалитет путног правца не огледа само у његовој економичности и функционалности, већ да он представља костур организованог уређења простора, односно да је објекат од пресудног утицаја за развој ширег гравитационог подручја и односа према животној средини, условио је потребу за применом метода вредновања којима би били обухваћени сви утицајни фактори. За разлику од економских метода које су третирале само економски категорисане аспекте изградње пута, развој метода вишекритеријумске оптимизације омогућио је да се у процес вредновања варијантних решења укључи већи број разнородних критеријума упоређења, било да су они новчаног карактера или немонетарне природе, (слика 4). На овај начин створени су основни предуслови да се вредновање пројеката путева реализује у складу са свим релевантним аспектима за избор оптималног решења.



Слика 4. Фазе развоја аспеката релевантних за упоређење варијантних решења путева

Данас се може говорити о две основне групе метода вредновања које се користе у савременом приступу вредновања варијантних решења – економским методама вредновања и метода вишекритеријумске оптимизације, при чему свака од њих има одговарајућу ширину приступа и област примене.

Примена појединих метода вредновања у оквиру основних пројектантских корака условљена је нивоом разраде и ширином приступа пројектне документације. Вишекритеријумске методе вредновања превасходно се примењују у почетним фазама пројектовања (генерални, евентуално идејни пројект),

у којима су примарни аспекти разматрања везани за најшире друштвено–економске, просторне, и еколошке последице градње. Економске методе имају кључну улогу у процесу упоређивања варијантних решења у хијерархијски нижим фазама пројектовања (извођачки, евентуално идејни пројект), у којима се превасходно третирају технички аспекти који су најуже повезани са економским последицама грађења. На слици 5 приказане су области примене појединих метода вредновања у процесу пројектовања путева сагласно ширини разматрања и нивоу детаљности појединих пројектних фаза. Треба истаћи да неадекватна примена појединих метода вредновања умањује потребну ширину разматрања проблема и/или не даје документовану основу за одређивање оптималног решења. Такође, у циљу постизања веће поузданости и објективности у процесу доношења одлука, указује се потреба за комплементарном применом и упоредном анализом резултата економских метода вредновања и метода вишекритеријумске општимизације.

ПРОЈЕКАТ	НИВО РАЗМАТРАЊА		ДОМИНАНТНИ АСПЕКТИ		МЕТОДЕ ВРЕДНОВАЊА	
	ГЕНЕРАЛНИ	Ширина разматрања	Друштвено-економски		Вишекритеријумске	
	ИДЕЈНИ					
	ИЗВОЂАЧКИ		Ниво детаљности	Технички		Економске

Слика 5. Област примене метода вредновања у процесу пројектовања путева

У процесу вредновања ванградских путева извесну предност треба пружити оним економским методама које се заснивају на прорачуну и међусобном повезивању добити и трошкова будући да пружају квалитетнију анализу од метода које укључују у прорачун само трошкове, нпр. Методу добит/трошкови, Методу интерне стопе рентабилитета и сл. Што се тиче метода вишекритеријумске оптимизације, сугеришу се методе са унапред израженом преференцијом као што су Метода оцене вредности, ELEKTRA II, III, IV, Метода сурогат вредности размене и сл. Основни разлог за препоруку ових метода лежи у чињеници да је пожељно када се ради о путевима, да став доносиоца одлуке буде дефинисан пре формирања варијантних решења, пошто постоји склоност ка интуитивном одређењу за одређено варијантно решење. Такође, препоручује се и метода ВИКОР која омогућава анализу стабилности позиција алтернатива на вишекритеријумској ранг листи. Наведено, наравно, не искључује могућност примене и других расположивих метода у складу са конкретном проблематиком.

5. ПРОВЕРА И ОБРАДА ЗАКЉУЧАКА ВРЕДНОВАЊА

Од изузетног је значаја, да се резултати економских и вишекритеријумских метода вредновања, који представљају квантитативну основу доносиоцу

одлука при дефинисању оптималног решења, критички сагледају и да се дефинише њихова поузданост. У том смислу намеће се потреба за анализом осетљивости резултата – како економских метода тако и метода вишекритеријумске оптимизације, на промену појединих показатеља или параметара, односно да се дефинишу оне граничне вредности показатеља или параметара при којима донета одлука може бити погрешна. Тек на основу комплементарне и свеобухватне анализе резултата осетљивости доносиоц одлуке је у могућности да дефинише оптимално варијантно решење. Анализа осетљивости је од нарочитог значаја када се нумерички показатељи на основу којих се врши рангирање варијанта, тзв. "оцене" појединих варијантних решења, не разликују много. У тим случајевима од изузетне је важности да се испита поузданост "оцене" појединих варијантних решења анализом осетљивости, а по потреби и дисперзија "оцена".

Такође, посебну пажњу треба посветити обради и презентацији резултата објективно и комплексно реализованог процеса вредновања доносиоцу одлука и широј јавности, будући да неадекватно презентирани резултати вредновања могу бити узрок погрешно донесених одлука и/или отворити прос-

тор за субјективно одлучивање. Начин излагања и обрада прилога у свему треба да поштују опште принципе презентације за овај ниво разраде пројектне документације, превасходно водећи рачуна да он буде примерен нивоу знања учесника укључујући и најширу јавност. Презентацију у сваком појединачном случају треба примерити конкретној проблематици која се разматра у оквиру Генералног пројекта.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Анђус, В., Малетин, М.: Методологија пројектовања путева, Грађевински факултет, Београд, 1993.
- [2] Кузовић, Љ.: Упутства за израду студија о издвољивости путева, Београд, 1992.
- [3] Оприцовић, С.: Оптимизација система, Београд, 1992.
- [4] Пашалић, Л.: Прилог методологији вредновања варијантних решења ванградских путева на нивоу Генералног пројекта – магистарска теза, Грађевински факултет, Београд, 1995.
- [5] Pigois, M. L.: Comparasion de variantes, EPF, Lausanne, 1987.
- [6] UNDP-ECE AECOTEM, Процена естетских, економских и еколошких утицаја Трансевропског аутопута Север – Југ, TEM/CO/TEC/15, 1987.
- [7] Richtlinien für die Anlage von Strassen, Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, RAS-W, Köln, Ausgabe 1986.



ПРЕДУЗЕЋЕ ЗА ПУТЕВЕ

Нови Пазар

36300 НОВИ ПАЗАР, Шабана Коче 17,

телефон: 020/24-911, директор: 25-692; комерцијала: 23-721; Телефакс: 23-794

ОДРЖАВА 946 КИЛОМЕТАРА МАГИСТРАЛНИХ И РЕГИОНАЛНИХ ПУТЕВА

ПУТНУ МРЕЖУ КАРАКТЕРИШЕ:

велики број вештачких објеката
неповољан географски положај, брдско-планински, од 208–1700 м н.м.
(планине Копанник, Голија, Гоч, Рогозна, Пештерска висораван и Ибарска клисура)

Годишњи просек запослених радника износи 656 од чега
65 инжењера и техничара.

МАХАНООПРЕМЉЕНОСТ:

ископна моћ 1350 m³/h
утоварна моћ 1260 m³/h
превозна моћ 1250 t
три асфалтне базе 140 t/h
дробилишна постројења 130 m³/h



Прорачун нивоа услуге на сигналисаним раскрсницама по методи HCM из 1994. године

Смиљан Вукановић
Саобраћајни факултет Београд
Драгана Митић
Hamilton Assoc. Vancouver, Canada

Прегледни рад
УДК 691.16.004.14"63/65"

РЕЗИМЕ

Пројектовање сигналисаних раскрсница за меродавно саобраћајно оптерећење подразумева изналажење оптималног решења које ће омогућити минималне застоје возила, односно максималан капацитет.

У свету постоји више метода за решење овог проблема. Једна од добро познатих метода је "HCM" метода, верзије 1985 и 1994. У раду се приказују методе из '85. и '94. као и разлике које се јављају у упутству из '94. Модел временских губитака је компликован и недовољно прилагодљив стањима високог засићења.

Још увек нема квалитетног одговора како утврдити фактор прогресије. Тај проблем треба да се реши истраживањима у локалним условима.

1. УВОД

Пројектовање сигналисаних раскрсница подразумева изналажење и инжењерско обликовање решења која најефикасније балансирају однос меродавних захтева (протока) и капацитета (прилаза и раскрсници у целини). На капацитет сигнализационе раскрснице на макро плану утиче пре свега њено геометријско решење: начин обликовања прилаза, положај и нагиб кракова итд., као и структура тока, режим саобраћаја и начин рада светлосних сигнала. Повећањем капацитета смањује се однос проток–капацитет односно повећава се ниво услуге. Из тога следи да је пројектовање сигналисаних раскрсница процес у коме је потребно усагласити капацитет (геометријска решења раскрснице, режим саобраћаја и начин рада светлосних сигнала) са меродавним захтевима. Једна од широко распрострањених алатки у том процесу је метод познатији по свом акрониму HCM – (Highway Capacity Manual) [1]. Приказ методе прорачуна нивоа услуге по методи датај у новом приручнику из 1994. године је основна тема овог рада.

2. ИСТОРИЈАТ КОРИШЋЕЊА МЕТОДЕ HCM ЗА ПРОРАЧУН НИВОА УСЛУГЕ СИГНАЛИСАНИХ РАСКРСНИЦА

Први поступци за прорачун капацитета сигнализационих раскрсница појавили су се педесетих година, а систематизована метода HCM за прорачун капацитета сигналисаних раскрсница објављена је у приручнику из 1965. године (поглавље VI приручника).

Целокупан поступак био је усмерен ка изналажењу капацитета и нивоа услуге аналогно поступку који је уведен за отворене деонице пута.

Шира употреба методе уз одговарајуће истраживање широм света донела је и прве недоумице. Систематизоване "недоумице" биле би:

- идеални капацитет дат је у броју возила на час зеленог и најчешће је потцењен у односу на стварне услове;

- фактори утицаја положаја раскрснице на градској уличној мрежи на капацитет су непримерени за већину европских градова јер ови имају другачију урбану структуру;

- актор засићења (load factor) којим се описује ниво услуге је описно дат и не омогућава сагледавање шта се дешава у незасићеним фазама; такође, фактор засићења не омогућава експлицитно вредновање различитих решења [6], [7];

- опције у начину рада светлосних сигнала су практично сведене на двофазни рад сигнала уз посебне фазе за скретања итд.

Наведене недоумице су седамдесетих година биле аргументоване од стране већег броја аутора и утицале су на све интензивније коришћење методе "Transport and Road Research Laboratory" (TRRL – В. Британија) [10] која је знатно више усмерена ка потребама модерног приступа у пројектовању и вредновању решења а такође је омогућавала надоградњу и примену у случајевима коришћења нових генерација контролера за управљање саобраћајем (управљање путем сигналних група).

Крајем седамдесетих година се у САД приступило интензивном истраживању капацитета сигнализационих раскрсница, што је резултирало и појавом већег броја радова критички интонираних у односу на постојећу методу из 1965. године. Као резултат се појавила у приручнику из 1985. године нова метода прорачуна капацитета сигнализационих раскрсница (поглавље IX приручника HCM – стране 9–1 до 9–74).

Основни закључци о употребљивости ове методе били би следећи:

- као мере нивоа услуге уведени су по први пут временски губици возила у реду испред светлосних сигнала. Модел временских губитака је модификован модел Webstera;

- добијена је једна систематизована метода, разумљива у примени и прилагодљива новим генерацијама система за управљање саобраћајем на градској уличној мрежи;

- метода у суштини обухвата позитивна искуства и анализе TRRL и извесног броја њених каснијих модификација, као и извештај број искустава из Шведских и Аустралијских приручника;

- приликом интерпретације излазних резултата у нашим условима треба бити опрезан; идеалне вредности засићеног тока и корекциони фактори дати овом методом резултат су истраживања и адаптација у потпуно другачијим околностима од наших; то потврђују и налази из наших скромних истраживања.

Од 1985. године када је објављена претходна верзија прорачуна капацитета и нивоа услуге на појединим елементима мреже друмских саобраћајница Савезна управа за путеве Сједињених Држава FHWA (Federal Highway Administration) је спровела многобројна истраживања у циљу унапређења методологије прорачуна. Резултат тих истраживања је сажет у најновијој верзији HCM-а из 1994. године. Измене су наступиле у следећим поглављима:

- Деонице аутопутева, поглавље 3;
- Рампе и рампни чворови, поглавље 5;
- Вишетрачни путеви, поглавље 7;
- Сигналисане раскрснице, поглавље 9;
- Несигналисане раскрснице, поглавље 10;
- Градске и приградске саобраћајнице, поглавље 11.

Битније измене су наступиле у деветом, десетом и једанаестом поглављу. У поглављу за несигналисане раскрснице, измењен је критеријум за дефинисање нивоа услуге. У претходној верзији ниво услуге се одређивао преко критеријума резерве у капацитету. У новом поступку се одређује преко укупних просечних губитака на раскрсници. За градске и приградске артерије дефиниција категорија саобраћајница је прецизнија него што је то учињено у претходној верзији и измењен је фактор прогресије.

3. HCM – НОВИ ПОСТУПАК УТВРЂИВАЊА НИВОА УСЛУГЕ НА СИГНАЛИСАНИМ РАСКРСНИЦАМА

У новој верзији HCM-а из 1994. године (поглавље 9), битније измене су претрпели следећи параметри:

- вредност идеалног засићеног тока,
- прорачун фактора прогресије,
- прорачун фактора за лева скретања,
- прорачун фактора искоришћености трака у посматраној групи трака,
- прорачун временских губитака на раскрсници.

У наведеним поглављима дат је детаљнији приказ ових измена.

3.1. Вредност идеалног засићеног тока

Многобројна истраживања која су спроведена у протеклом периоду у више различитих градова у Сједињеним Америчким Државама, показала су да вредност идеалног засићеног тока по траци на прилазу сигнализане раскрснице треба да буде већа од 1800 возила у току сата зеленог светла. Резултат тога је повећање идеалне вредности засићеног тока на 1900 возила на сат у току сата зеленог светла. Међутим, и даље остаје препорука да се где је то могуће

спроведу истраживања у циљу утврђивања локалних вредности. Образац за прорачун засићеног тока групе трака је остао исти као и у претходној верзији из 1985. године.

3.2. Прорачун фактора прогресије

Фактор прогресије PF зависи од начина доласка возила на раскрсницу, односно од процента возила која стижу током зелене фазе и може се одредити на два начина. Уколико је проценат возила која стижу током зелене фазе на раскрсници познат, фактор прогресије (PF) се одређује преко обрасца:

$$PF = [(1 - P) fp] \left[1 - \left(\frac{g}{C} \right) \right]$$

где је:

P – проценат возила која долазе на раскрсницу током зелене фазе

fp – корекциони фактор који зависи од типа доласка плотуна возила на раскрсницу

$\frac{g}{C}$ – проценат зеленог времена за посматрану групу трака током циклуса

Преко фактора P одређује се фактор односа плотуна Rp, односно

$$Rp = P \left(\frac{C}{g} \right)$$

У табели 1 (Табела 9–2, страна 9–10) дати су типови доласка возила на раскрсницу у зависности од фактора Rp.

Табела 1 Зависност између типа доласка и фактора Rp

Тип доласка	Распон фактора Rp	Вредност фактора Rp	Квалитет прогресије
1	≤ 0.50	0.333	веома лоша
2	> 0.50 ≤ 0.85	0.667	неприхватљива
3	> 0.85 ≤ 1.15	1.000	случајни наилазци
4	> 1.15 ≤ 1.50	1.333	пожељна
5	> 1.50 ≤ 2.00	1.667	веома пожељна
6	> 2.00	2.000	изузетна

Уколико вредност фактора P није могуће проценити на терену, тада се одређује на основу фактора односа плотуна. Процењује се тип доласка возила на раскрсницу, и из табеле 1 се одређује вредност Rp. У табели 2 (табеле 9–13, страна 9–28) приказана је зависност фактора прогресије од начина управљања на раскрсници, типа доласка и односа g/C.

Типови доласка возила на раскрсницу су дефинисани на следећи начин:

Тип доласка 1: Густ плотун возила који сачињава 80 посто возила посматране групе трака и који долазе на почетак црвене фазе. Овај тип доласка је квалификован као веома лоша прогресија.

Тип доласка 2: Средње густ плотун возила који сачињава између 40 и 80 посто возила посматране групе трака, која долазе током црвене фазе. Овај тип

Табела 2. Фактор прогресије PF

Фактор CF у зависности од примењеног типа управљања на раскрсници						
Тип контролора	Некоординисане раскрснице			Координисане раскрснице		
Са фиксним начином рада	1.0			PF се прорачунава из доње табеле		
Полуаутоматски:	0.85			1.0		
Траке са најавом						
Траке без најаве	0.85			PF се прорачунава из доње табеле		
Аутоматски	0.85			Третирати као полуаутоматски		
Фактор прогресије PF						
Однос g/C	ТИП ДОЛАСКА					
	АТ-1	АТ-2	АТ-3	АТ-4	АТ-5	АТ-6
0.20	1.167	1.007	1.000	1.000	0.833	0.750
0.30	1.286	1.063	1.000	0.986	0.714	0.571
0.40	1.445	1.136	1.000	0.895	0.555	0.333
0.50	1.667	1.240	1.000	0.767	0.333	0.000
0.60	2.001	1.395	1.000	0.576	0.000	0.000
0.70	2.556	1.653	1.000	0.256	0.000	0.000
fp	1.000	0.930	1.000	1.158	1.000	1.000
Rp*	0.333	0.667	1.000	1.333	1.667	2.000
Фактор калибрације, m	8	12	16	12	8	4

доласка је квалификован као непожељна прогресија.

Тип доласка 3: Случајни доласци возила на раскрсницу. Главни плотун возила сачињава мање од 40 посто возила посматране групе трака. Овај тип доласка репрезентује рад изоловане, односно некоординисане раскрснице. Може се користити код координисаних раскрсница, уколико су губици од координације минимални.

Тип доласка 4: Средње густ плотун возила који сачињава између 40 и 80 посто возила посматране групе трака, која долазе током зелене фазе. Овај тип доласка је квалификован као пожељна прогресија.

Тип доласка 5: Густ плотун возила који сачињава 80 посто возила посматране групе трака која долазе на почетак зелене фазе. Овај тип доласка је квантификован као веома пожељна прогресија.

Тип доласка 6: Овај тип доласка је за изузетне прогресије на саобраћајницама које имају идеалне карактеристике. Репрезентује веома густ плотун возила између координисаних раскрсница на блиском растојању са минималним или занемарљивим протоком на споредним улицама.

3.3. Прорачун фактора утицаја левих скретања

Фактор утицаја левих скретања као и у претходној верзији из 1985. године, зависи од тога да ли је:

- заједничка или посебна трака за лева скретања;
- заштићена, допуштена или заштићена + допуштена фаза;

– колики је проценат возила у левом скретању из заједничке траке;

– колики је износ тока на супротном прилазу.

На основу ове зависности извршена је подела на 7 случајева. Поједини случајеви су претрпели измене у односу на претходну верзију из 1985. године, односно измењени су следећи случајеви:

- посебна трака, допуштена фаза;
- посебна трака, заштићена + допуштена фаза;
- заједничка трака, допуштена фаза.

– у новој верзији, модел за прорачун фактора утицаја левих скретања зависи од броја трака на супротном прилазу, односно различити су модели за прилаз са једном траком и прилаз са више трака. Фактор утицаја левих скретања f_{LT} се прорачунава преко формуле:

$$f_{LT} = [(f_m + 0.91) [N-1]] / N,$$

за супротни прилаз са више трака где је:

$$f_m = [g_f/g [1/(1 + P_L) E_{L1}-1]]]$$

$$f_{min} = 2 [1+P_L] / g$$

$$f_{max} = 1.00$$

$$f_{LT} = f_m$$

$$f_m = [g_f / g] + [(g_q - g_f)/g][1/\{1 + P_{LT}(E_{L2}-1)\}] + [g_u/g][1/\{1 + P_{LT}(E_{L1}-1)\}]$$

$$f_{min} = 2(1+P_{LT})/g$$

$$f_{max} = 1.00$$

Параметри у претходним једначинама су:

g – ефективно зелено време за посматрану групу трака

g_f – део зеленог времена које користе возила која иду право пре него што се појави возило које скреће лево и услед чекања да се испразни ред из супротного правца, блокира заједничку у траку,

g_q – део зеленог времена које користе возила из супротного тока за пражњење реда,

g_u – део зеленог времена које не користе возила из супротного тока,

P_{LT} – проценат левих скретања у заједничкој или засебној траци,

E_L – еквивалент за лева скретања,

N – број трака у посматраној групи трака,

f_{min} – минимална вредност фактора за лева скретања,

f_{max} – максимална вредност фактора за лева скретања.

3.4. Фактор искоришћења трака у посматраној групи трака

Фактор искоришћености трака (U) прорачунава се на основу следећег обрасца:

$$U = (V_{gi} \cdot N) / V_g$$

где је:

V_g – обим тока за посматрану групу трака у возилима на час,

V_{gi} – обим тока за најоптерећенију траку у посматраној групи трака у возилима на час,
 N – број трака у посматраној групи.

Вредност фактора 1.00 може се користити у два случаја:

- Уколико је проток униформно распоређен по свим тракама посматране групе трака,
- Уколико је однос V/c (проток/капацитет) већи од један.

Уколико на раскрсници преовлађују просечни услови или расподела тока по тракама није позната, фактор искоришћености трака се одређује из табеле 3.

Табела 3. Фактор искоришћености трака

Група трака	Број трака у групи	Процент возила у најоптерећенијој траци	Фактор искоришћености трака U
Право или заједничка	1	100.0	1.00
	2	52.5	1.05
	3	36.7	1.10
Само лево	1	100.0	1.00
	2	51.5	1.03
Само десно	1	100.0	1.00
	2	56.5	1.13

3.5. Укупни губици на раскрсници

Укупни губици услед заустављања за посматрану групу трака се одређују преко обрасца:

$$d = d_1 \cdot DF + d_2$$

$$d_1 = 0.38C \left[1 - \frac{g}{C} \right]^2 / \left[1 - \left(\frac{g}{C} \right) \right] \cdot \text{Min} (X, 1.0) \mid$$

$$d_2 = 1.73X^2 \mid (X-1) + \mid (X-1)^2 + mX/c \mid^{0.5} \mid$$

где је:

d_1 – униформни губици у секундама по возилу

d_2 – губици услед случајног доласка возила на раскрсницу у секундама по возилу

DF – фактор квалитета прогресије и типа контрола, одређује се из табеле 1.

$X = V/c$ однос протока и капацитета

C – дужина циклуса у секундама

c – капацитет групе трака у возилима на час

g – ефективно зелено време за посматрану групу трака у секундама

m – параметар калибрације, репрезентује утицај типа доласка на раскрсницу и сепен дисперзије плотуна, табела 1.

Као и у претходној верзији ови обрасци важе за случајеве односа V/c до 1. Уколико је захтев већи од капацитета тада се овај образац са опрезом може користити до вредности $V/c = 1.2$. Наиме, у првих 15 минута засићења могуће је прерачунати губитке, а након тога се губици услед чекања у реду не преносе у наредни период. Из тог разлога није препоручљиво користити овај поступак у случајевима засићених стања.

Поред побројаних измена, извршене су и одређење ситне модификације у циљу побољшања прегле-

дности и разумљивости поступка за оперативне и планерске сврхе.

3.6. Ниво услуге

На основу израчунатих вредности временских губитака по групама саобраћајних трака утврђује се ниво услуге (табела 9.1). Граничне вредности временских губитака за поједине нивое услуга остале су непромењене у односу на претходну верзију из 1985. године.

Са пројектантског аспекта увођењем временских губитака као мере нивоа услуге следи да исти зависи од:

- односа g/C
- степена засићења
- фактора квалитета прогресије
- типа контроле (fiks time, полуаутоматски)
- квалитета плотуна возила.

То значи да се на ниво услуге може утицати изменом наведених елемената.

Модел временских губитака у другом члану се значајно разликује од класичног модела Webstera. Овај модел се за разлику од модела Webstera може користити и при стањима високих загушења. Код стања ниских загушења $X < 0.6$ (0.67) могуће је у прорачунима користити само први члан. Други члан модела који описује губитке услед случајног доласка при ниским загушењима битно не утиче на вредност излазних резултата. Први члан модела одговара првом члану Websterovog модела. Разлика је у корективном фактору 0.38 који код Webstera (у нашим условима) износи 0.43.

4. ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ ПОСТУПКА ИЗ 1994.

Нови поступак садржи одређене предности у односу на претходни, које се сагледавају у:

- добијању реалније вредности засићеног тока
- реалнијем прорачуну утицаја левих скретања
- унапређењу поступка прорачуна фактора прогресије
- јаснијој интерпретацији коришћења модела у оперативне или планерске сврхе.

Повећањем идеалне вредности засићеног тока и унапређењем методологије прорачуна утицаја левих скретања и фактора прогресије остварена је могућност за реалнију процену вредности капацитета и нивоа услуге. Међутим, и даље постоје недоумице у могућности правилног одређивања фактора прогресије, који има велики утицај на коначни исход одређивања нивоа услуге. Такође се поставља и питање одређивања временских губитака у ситуацији када је проток већи од капацитета. Током протеклих година, све више се увећава број возила на мрежи, а посебно у централним подручјима града где већина раскрсница ради на граници или преко могућности капацитета. За такве ситуације постојећа процедура не даје могућност правилног оцењивања потребе унапређења рада раскрснице. У односу на претходну верзију, у овој верзији је само учињен напор у смислу појашњавања у којим случајевима се не мо-

гу очекивати тачни резултати, као и које опције постоје за такву врсту анализе.

5. ЗАКЉУЧАК

Увођење временских губитака као измеритеља нивоа услуге у односу на ранију методологију засновану на фактору засићења је значајан и квалитетан помак. Он омогућава пројектантима испитивање различитих решења и избор оног решења које обезбеђује прихватљив ниво услуге. У прорачунима остају још увек недоумице око базних вредности засићеног тока. Ове вредности би требало проверити кроз мерења у локалним условима. Такође је значајно да је метода утврђивања сигналног плана и критичних токова квалитетно унапређена.

TRB (Transportation Research Board) и даље ради на истраживању и унапређењу постојеће методологије. Циљ је превазилажење и даље присутних недостатака, који се првенствено читавају у неусклађености критеријума за одређивање нивоа услуге на различитим елементима мреже друмских саобраћајница. Примера ради на сигнализаним раскрсницама критеријум су просечни губици услед заустављања, док су на несигнализаним раскрсницама у тотални укупни губици услед заустављања и чекања у реду. Тренутно се обављају припреме за издаду нове верзије HCM, а циљна година излагања је 2000. Тежња је да методологија почива на јединственим критеријумима за одређивање нивоа услуге.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Highway Capacity Manual (TRB Special Report 209) – 1985, SAD
- [2] Радос Ј., Здравковић П., Капацитет сигнализаних раскрсница, СФ, Београд, 1975.
- [3] Кузовић Љ., Капацитет друмских саобраћајница, Грађевинска књига, Београд, 1989.
- [4] Станић Б., Резултати истраживања утицаја дужине зеленог периода и ширине саобраћајне траке на интензитет засићеног (саобраћајног) тока, Саобраћај 15, 1988., 855–857, Београд
- [5] Вукановић С., Приручник за прорачун временских губитака на сигнализаним раскрсницама, СФ, Београд, 1975.
- [6] Вукановић С., Временски губици, потрошња горива и капацитет као критеријуми рада светлосних сигнала, Маг. теза., СФ, Београд, 1980.
- [7] Вукановић С., Нормативни и дескриптивни критеријуми рада светлосних сигнала, Зборник радова СФ, Београд, 1983.
- [8] ARRB: Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, RR ARR N° 123, 1981.
- [9] Peterson B.E., Swedish Capacity manual, Stockholm, 1977.
- [10] Webster F. V., M., Traffic Signals, HMSO, London, 1966.
- [11] Група аутора: Студије оптималног управљања саобраћајем у Осијеку (1980), Кладову (1981), Пожаревцу (1982), СФ, Београд.
- [12] Група аутора, Институт М. Пупин: Систем аутоматског управљања саобраћајем у Београду, Београд, 1988–89.
- [13] Група аутора: Пројекат управљања саобраћајем на централном подручју града Загреба, Београд 1989.
- [14] Станић Б., Истраживања параметара засићеног саобраћајног тока на индивидуалним сигнализаним раскрсницама у Београду, Сувремени промет, бр. 4, Загреб, 1981.
- [15] Вукановић С., КАПС – рачунарска програм за прорачун капацитета сигнализаних раскрсница, Саобраћај 12, Београд, 1987.
- [16] Вукановић С., Станић Б., Пројектовање рада светлосних сигнала помоћу нове методе HCM из 1985. "Саобраћај", 1991, Београд.
- [17] Strong W.D., 1994 Changes to Chapter 9 of the 1985 Highway Capacity Manual (Signalized Intersections), ITE 1994 Compendium of Technical Papers, 1995.
- [18] Tepley S., Principles of Capacity, ITE 1994 Compendium of Technical Papers, 1995.
- [19] HCM, Federal Highway Administration, 1994.



ДЕОНИЧАРСКО ДРУШТВО У МЕШОВИТОЈ СВОЈИНИ СПЕЦИЈАЛИЗОВАНО ЗА ОДРЖАВАЊЕ, ЧУВАЊЕ И ЗАШТИТУ МАГИСТРАЛНИХ И РЕГИОНАЛНИХ ПУТЕВА АП КОСОВА И МЕТОХИЈЕ

* МАГИСТРАЛА *

Приштина

Улица Краља Петра I ослободиоца бр. 7

РЈ Приштина 038/40-403
РЈ Пећ 039/34-273
РЈ Призрен 029/43-080
РЈ Штимље 0290/81-323

РЈ Косовска Митровица 028/32-727
РЈ Њилане 0280/22-011
Пункт Брезовица 0290/70-987

Тел. централа: 038/24-358
23-437
Телефакс: 038/22-481

Бетон ојачан металним влакнима

Др Петар Митровић, дипл. грађ. инж.
Институт за путеве дд. Београд

Стручни рад
УДК 624.012.45:677.53

РЕЗЮМЕ

Позната је чињеница да бетон, као грађевински материјал, има знатну отпорност на оптерећење од притиска, а веома малу отпорност на оптерећење од затезања. Да би се бетон оспособио да прима и силе затезања он се армира. Овај поступак је познат већ више од 100 година и сада је већ класичан. Ојачањем бетона металним влакнима жели се унапредити, осавременити и заменити класичан начин армирања у циљу модернизације и рационализације армирања бетона и повећања његових механичких карактеристика за пријем силеозатезања.

У чланку се дају основне поставке ојачања бетона металним влакнима, како у погледу физичког смисла ојачања, тако и са аспекта принципа статичке равнотеже и начина справљања и уграђивања бетона ојачаног металним влакнима.

Чланак је informativnog karaktera, sa željom da se naša stručna javnost upozna sa ovom inovacijom, koja će verovatno uskoro da uđe u svakodnevnu praksu u mnogim zemljama sveta.

УВОД

Почетком 60-тих година овога века у Француској се отпочело са експериментима у смислу иновације армираног бетона. Једна од иновација била је и примена металних влакана, као замена класичне челичне арматуре. Познато је да бетон може имати велику чврстоћу на притисак (60–80 МПа), а врло малу чврстоћу на затезање (1,0–1,5 МПа). Зато, да би бетон као веома коришћен материјал у грађевинарству могао бити применљив у конструкцијама које поред сила притиска примају и затезање, неопходно га је армирати. Класичан начин армирања бетона, како је познато, обавља се челичним шипкама разних пречника и до сада се показао веома користан и рационалан. Међутим, људска заинтересованост за нове и рационалније поступке, у свим видовима струке и науке, ствара мотивацију која нагони стручне људе на размишљања у смислу усавршавања појединих поступака ради рационализације и повећања квалитета. Тако се дошло на идеју, да се добри класични бетон преиспитује у циљу рационализације и иновације. У том смислу се дошло до поступка ојачања бетона металним влакнима. Принцип се заснива на тежњи да се спречи стварање и ширење прелина и пукотина у бетонским елементима изложеним силама затезања. Ово се постиже употребом металних влакана која се додају бетону при његовом справљању, која су у маси бетона распоређена тако да приме силу затезања и спре-

че стварање прслина и пукотина у бетону. Метална влакна су обично од челика округлог пресека, пречника 0,5–1,0 mm, а дужине 30–60 mm.

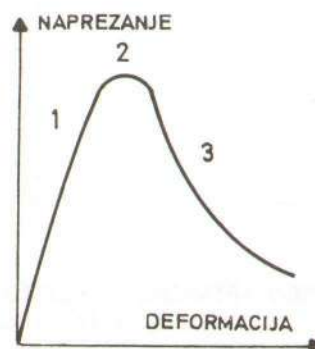
Овај поступак није још у широј примени и још није одобрен и стандардизован. Он се још увек налази у фази истраживања и експеримента. Међутим, сви су изгледи да ће овај начин ојачања бетона ускоро ући у примену и код неких бетонских елемената заменити класично армирање и начинити их рационалним.

ФИЗИЧКИ СМИСАО ФУНКЦИЈЕ АРМИРАЊА БЕТОНА ПОМОЋУ МЕТАЛНИХ ВЛАКАНА

У уводу смо рекли да метална влакна имају улогу да приме силу затезања и спрече ширење прслина и пукотина у бетонском елементу.

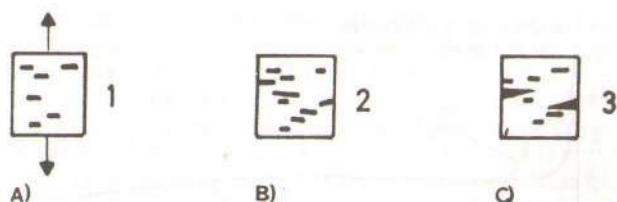
Познато је да се неармирани бетон при оптерећењу силама затезања понаша како је приказано на слици 1. Бетон тад пролази кроз три фазе:

- фаза 1 је фаза еластичности;
- фаза 2 је фаза вршне чврстоће и пластичних деформација;
- фаза 3 је фаза пластичног течења.



Слика 1. Дијаграм затежућих напрезања и деформација код неармираног бетона

При напрезању, које одговара фази I, настају микро прелине једва видљиве голим оком (слика 2а). Кад се достигне вршна чврстоћа бетона (фаза II), прелине у бетону постају видљиве за човечије око и називамо их макро прелинама (слика 2б). Даље, при наставку оптерећења, долази до повећања деформација бетона и настанка повећања отвора пукотина, тако да неке пукотине достижу величине карактеристичне за лом материјала (слика 2ц).



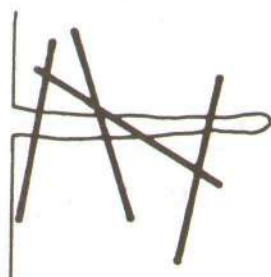
Слика 2. Фазе настанка прелина код бетона оптерећеног силом затезања

Метална влакна у првој фази оптерећења имају функцију да спрече прелазак еволуције прелина из фазе I у фазу II, тј. не дозволе настанак и ширење прелина услед дејства силе затезања на бетонски елемент (слика 3).



Слика 3. Улога металних влакана у фази I

У фази III, кад су пукотине постале видљиве и достигне знатан степен своје величине, метална влакна имају функцију да премошћавају отворе насталих пукотина и да приме силе затезања настале на тим местима (слика 4).



Слика 4. Улога металних влакана у фази II и III

МЕТАЛНА ВЛАКНА

Као што је речено, метална влакна имају функцију да приме локалне силе затезања, које настају при стварању прелина и пукотина. Влакна почињу да дејствују, у маси бетона, кад почне настајање прелина. Она могу бити од челика, што је чешћи случај, или ливеног гвожђа, што је ређи случај.



Слика 5. Типови металних влакана

Челична влакна имају кружни попречни пресек, пречника 0,50–1,00 mm. Правоугаони попречни пресек имају влакна од ливеног гвожђа. Њихов попречни пресек је обично 0,25/1,70 mm, а дужина је од 30–60 mm. Дужина влакана (L) се одређује у зависности од величине најкрупнијег зрна минералног агрегата у бетону (D). Искуство налаже да дужина влакана (L) треба да буде: $L > 2 D$. Типови челичних влакана су најчешће са две главе (слика 5А) или са кукама (слика 5Б). Влакна од ливеног гвожђа су обично равна, без главе или кука (слика 5Ц).

Експериментима је утврђено да метална влакна дужине 60 mm могу поднети постпрелинске напоне веће од влакана дужине 30 mm за потпуно исти квалитет бетона, а ступањ опадања напона је спорији. Ојачани бетони са влакнима од 30 mm дужине имају бољу хомогеност и мањи растур резултата.

Челик од кога се праве влакна треба да поседује следеће квалитете:

- запреминска маса $\gamma = 78 \text{ kN/m}^3$;
- модул еластичности $E = 210 \text{ GPa}$;
- чврстоћа на затезање $\beta_z = 1200 \text{ MPa}$.

Ливено гвожђе од кога се праве влакна за ојачање бетона треба да поседује следеће карактеристике:

- запреминска маса 72 kN/m^3 ;
- модул еластичности $E = 130 \text{ GPa}$;
- чврстоћа на затезање $\beta_z = 1500 \text{ MPa}$.

Количина металних влакана која се примењује за ојачање бетона у смислу армирања, обично се креће између 0,40 и 1,25% од запремине бетона који се ојачава.

Еквивалент количине металних влакана, у односу на класичну арматуру изражава се помоћу формуле:

$$\sigma_{rz} = \mu \sigma_{arm}$$

где је:

σ_{rz} – резидуални напон на затезање после настанка пукотина у ојачаном бетону;

μ – проценат армирања класичног бетона;

σ_{arm} – дозвољени напон у класичној арматури.

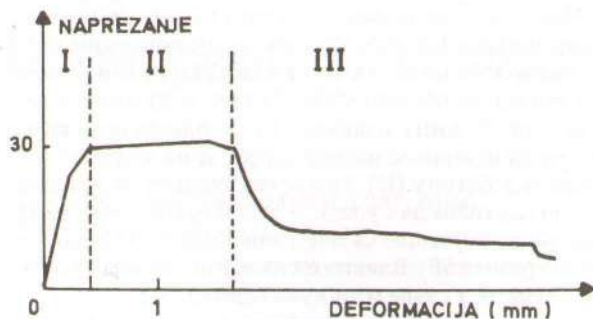
СТАТИЧКА РАВНОТЕЖА У БЕТОНУ ОЈЧАНОМ МЕТАЛНИМ ВЛАКНИМА

1. Елементи од бетона ојачаног металним влакнима, оптерећеног центричном силом затезања.

Бетонски елемент ојачан металним влакнима, оптерећен центричном силом затезања (слика 6А), пролази кроз три фазе деформисаности (слика 6Б).

Фаза I деформисаности бетона ојачаног металним влакнима је фаза еластичних деформација у којој се појављују микро прелине.

Фаза II деформисаности бетона ојачаног металним влакнима је фаза вршне чврстоће материјала,



Слика 6. Дијаграм деформисаности бетонског елемента, ојачаног металним влакнима, оптерећеног централно силом затезања

при којој се јављају пластичне деформације, а микро прелине прелазе у макро прелине и пукотине.

Код бетона ојачаног металним влакнима ова фаза знатно дуже траје него код набијеног бетона.

Фаза III деформисаности бетона ојачаног металним влакнима је фаза пластичног течења материјала, кад пукотине нарастају до величине при којима долази до лома материјала.

Практична формула статичке равнотеже елемента од бетона ојачаног металним влакнима, оптерећеног централно силом затезања даје се изразом:

$$\sigma_z = \sigma_{arm} \mu + \sigma_{bz} (1 - \mu),$$

где је:

σ_z – напон затезања у бетону ојачаном металним влакнима;

σ_{bz} – дозвољени напон на затезање набијеног бетона;

σ_{arm} – дозвољени напон на затезање у металном влакну;

μ – проценат металних влакана у маси бетона.

Статичка равнотежа може се постићи узимајући у обзир виткост влакана, тј. однос дужине (L), према пречнику влакна (R): (L/R) и адхезије између влакана и бетона. Тада се постпрелински напон затезања у бетону ојачаном металним влакнима може добити помоћу израза:

$$\sigma_z = \tau \frac{L}{R} \mu \eta$$

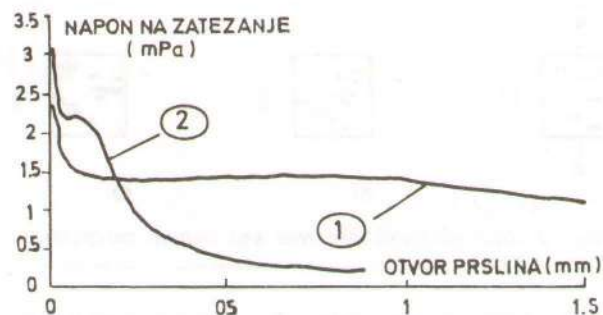
где је:

τ – фактор оријентације влакана, по Soroushin-u;

τ – средњи смичући напон затезања у бетону;

η – фактор адхезије (0,50 за права влакна, 0,75 за деформисана влакна, 1,00 за влакна са обрађеним крајевима, главом или куком).

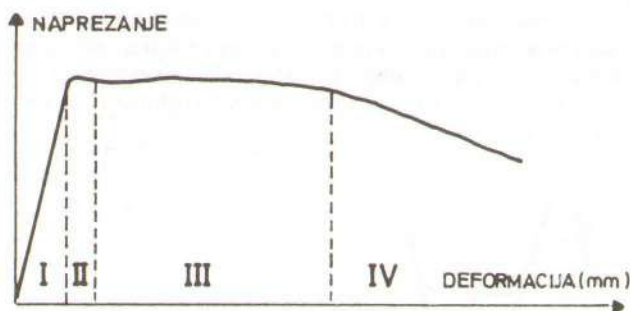
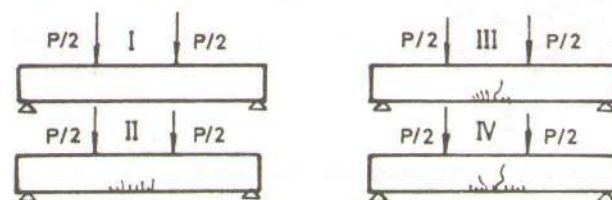
Ради поређења дајемо дијаграм напона и деформација бетонског елемента оптерећеног централно силом затезања, за случај кад је бетон ојачан челичним влакнима (1) дужине 60 mm, пречника 0,80 mm, у количини од 50 kg по 1 m³ бетона и бетона ојачаног влакнима од ливеног гвожђа (2), дужине 30 mm, попречног пресека 0,25/1,7 mm, у количини од 30 kg по 1 m³ бетона.



Слика 7. Компаративни дијаграм напона и деформација за бетон ојачан челичним влакнима (1) и бетон ојачан влакнима од ливеног гвожђа (2).

2. Елемент од бетона ојачан металним влакнима, оптерећен утицајима који изазивају савијање.

Бетонски елемент, сачињен од бетона ојачаног металним влакнима, под утицајем чистог савијања или савијања силама, пролази кроз четири фазе деформисаности (слика 8).



Слика 8. Дијаграм деформисаности бетонског елемента оптерећеног чистим савијањем или савијањем силама. Четири фазе деформисаности

Фаза I: У фази почетне деформисаности, тј. на почетку оптерећења бетонског елемента утицајима који изазивају савијање, при еластичном стању деформисаности, кад се јављају микро прелине и пукотине, метална влакна придодата маси бетона да приме затежуће силе, још увек не преузимају своју функцију пријема напона затезања, јер су силе затезања мале величине и може их примити сам бетон.

Фаза II: Под дејством утицаја који изазивају деформације савијања у бетонском елементу ојачаном металним влакнима, јављају се видљиве микро прелине и пукотине. Тада се бетонски елемент налази у фази пластичне деформисаности.

Фаза III: Фаза деформисаности, када се повећава број микро прелина и појављују се једна или две врло изражене макро пукотине. У овој фази метална влакна преузимају функцију пријема сила затезања код изражених макро пукотина.

Фаза IV: При овој фази деформисаности повећава се број макро пукотина. Поједине макро пукотине достижу величине које прете лому материјала. Улога металних влакана да приме локалне силе затезања је у овој фази деформисаности, потпуна. Стање деформисаности бетонског елемента је у тзв. пластичном течењу и блиско је стању лома. Ова фаза у бетонском елементу настаје услед великог оптерећења, недовољне количине металних влакана у бетону, слабог анкеровања влакана, итд.

Статичка равнотежа између унутрашњих и спољашњих сила једног бетонског елемента ојачаног металним влакнима, изложеног силама и моментима, који изазивају чисто савијање или савијање силама, анализира се према фазама деформисаности. При деформисаности бетонског елемента у фази I и II, моменат који елемент може да прими је једнак:

$$M_E = \frac{bh}{6} \sigma_z$$

За фазе деформисаности бетонског елемента III и IV, кад локалне силе затезања примају метална влакна, моменат који елемент може да прими је једнак:

$$M_F = \frac{bh^2}{2} \frac{\sigma_z}{k} \left(\frac{100k^2 + 10k}{100k^2 + 10k + 1} \right)$$

Однос између момената M_E и M_F је однос који карактерише отпорност бетонског елемента ојачаног металним влакнима. Тај однос се обележава са (k) .

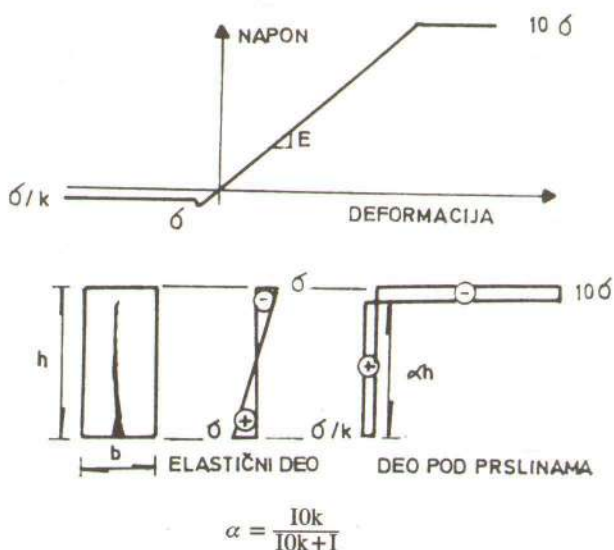
Фактор (k) , се нумерички изражава:

$$k = 1 \rightarrow \frac{M_F}{M_E} \approx 2,73$$

$$k = 2 \rightarrow \frac{M_F}{M_E} \approx 1,43$$

$$k = 3 \rightarrow \frac{M_F}{M_E} \approx 0,97$$

Дијаграм промене напона и деформација у бетонском елементу ојачаном металним влакнима, оптерећеном утицајем који изазивају деформације на савијање, приказан је на слици 9.



Слика 9. Дијаграм промена напона и деформација код бетонског елемента ојачаног металним влакнима

При оптерећењу бетонског елемента ојачаног металним влакнима, чистим савијањем, димензионисање елемента постиже се уравнотежењем унутрашњих и спољашњих сила и момената:

– једнакост нормалних сила:

$$N_B + N_v = 0$$

– једнакост момената:

$$M_B + M_{arm} = M_{ext}$$

где је:

$$N_v = \int_0^{\alpha h} \sigma_v \left[\left(1 - \frac{z}{\alpha h} \right) \delta \right] b dz$$

$$N_B = \int_{\alpha h}^h \sigma_B \left[\chi (Z - \alpha h - Y_1) \right] b dz$$

$$M_{arm} = \int_0^{\alpha h} \sigma_{arm} \left[\left(1 - \frac{Z}{\alpha h} \right) \delta \right] b Z dz$$

$$M_B = \int_{\alpha h}^h \sigma_B \left[\chi - (Z - \alpha h - Y_1) \right] b Z dz$$

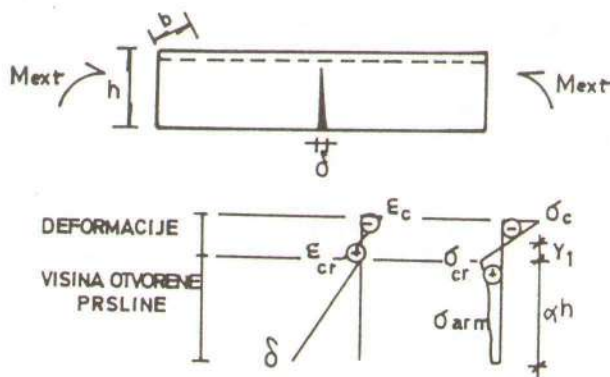
На слици 10 дати су дијаграми напона и деформација бетонске конструкције при појави макро прелина и пукотина. Ознаке примењене у горњим једначинама назначене су на слици 10.

Критични затежући напон, који се јавља у ојачаном бетону, означен је са σ_{cr} . Његова вредност израчунава се изразом:

$$\sigma_{cr} = 0,6 + 0,06 \sigma_{arm}$$

Критични затежући напон (σ_{cr}) јавља се на растојању од неутралне осе:

$$y_1 = \frac{\sigma_{cr}}{E \chi_c}$$

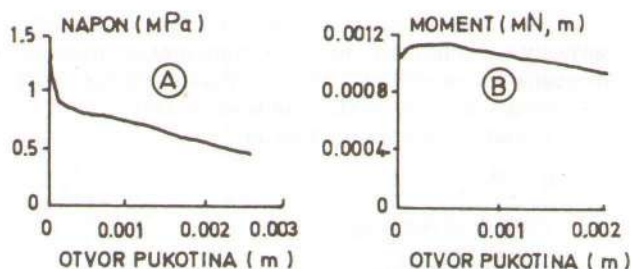


Слика 10. Дијаграм напона и деформација у делу бетонске конструкције у којој се јављају макро прелина и пукотине

За бетонски елемент ојачан металним влакнима, оптерећен савијањем силама, једначине равнотеже су:

$$N_B + N_v = N_{ext}$$

$$M_B + M_v = M_{ext} + M_{Next}$$



Слика 11. Карактеристични дијаграми промене напона са еволуцијом прслина (А) и промена момента савијања са повећањем прслина (Б), код бетонског елемента ојачаног металним влакнима

Ради илустрације на слици 11 дајемо дијаграме промене настанка прслина и пукотина у бетону ојачаном металним влакнима у зависности од затезућих напона бетона (слика 11А) и у зависности од момента оптерећења елемента (слика 11Б).

СПРАВЉАЊЕ И УГРАЂИВАЊЕ БЕТОНА ОЈАЧАНОГ БЕТОНСКИМ ВЛАКНИМА

Бетон ојачан металним влакнима справља се и уграђује од материјала и на начин као што се то чини са класичним бетоном. Он мора бити нешто пластичнији при уграђивању. Конзистенција при уграђивању треба да буде између пластичне и течне. Могућа је примена пластификатора.

Водоцементни фактор за бетоне без пластификатора треба да буде од 0,50 до 0,60, а за бетоне са пластификатором од 0,40 до 0,50.

Гранулометријски састав бетона ојачаног металним влакнима треба да буде нешто ситнији од класичног, набијеног бетона. Однос песка и каменог агрегата треба да буде око 1:1.

При справљању и уграђивању бетона треба водити рачуна да метална влакна имају погодну виткост, тако да се не претворе у клупко, што не би донело очекивани ефекат и било би штетно.

Позиција и оријентација металних влакана у уграђеном бетону је врло важна. Од положаја и оријентације влакана зависи успех ојачања бетона металним влакнима.

МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ БЕТОНА ОЈАЧАНОГ МЕТАЛНИМ ВЛАКНИМА

Бетон ојачан металним влакнима може се примењивати код конструкција и елемената или делова конструкција и елемената, код којих се дозвољени напони затезања крећу између 0,5 до 2,5 МПа. У конструкцији или елементу од набијеног или армираног бетона на делу где су дозвољени напони затезања мањи од 2,5 МПа могуће је применити бетон ојачан металним влакнима, уколико технолошки услови уграђивања бетона то дозвољавају. Значи, у једној конструкцији, у деловима где се јављају напони затезања мањи од 2,5 МПа, могуће је применити бетон ојачан металним влакнима.

Практично, примена ове врсте ојачаног бетона, могућа је код свих врста бетонских конструкција као: префабрикованих бетонских елемената, бетонских конструкција ливених на лицу места, бушених шипова, потпорних конструкција, итд. Са технолошког аспекта, начин ојачања бетона металним влакнима је најпогоднији код префабрикованих бетонских елемената или конструкција.

У појединим случајевима овај начин ојачања бетона може бити врло рационалан и исплатив у односу на класичан армирани бетон.

Експерименталне и теоријске основе методе пројектовања асфалтних мешавина по систему "SUPERPAVE"

Проф. др Зоран Г. Радојковић, дипл. инг. грађ.
Факултет техничких наука, Нови Сад

Прегледни рад
УДК 625.85.06.001.5:625.75

РЕЗИМЕ

Систем "SUPERPAVE", заснован на резултатима теоријских и експерименталних истраживања и моћним и скупим лабораторијским уређајима формулисаних у SHRP-овом истраживачком пројекту А 003-А, конкретизоване у једном програмском пакету, са могућношћу пројектовања асфалтних мешавина у функцији локалних услова експлоатације. Остварујући, такође, давно жељене захтеве да резултати пројектовања мешавина буду директно повезани са критеријумима експлоатације у изграђеној коловозној конструкцији, овај систем обезбеђује и формирање својеврсне базе података параметара пројектовања, спецификација конструкције и контроле грађења. Ценећи велику заинтересованост наше стручне и научне јавности за све резултате програма SHRP, па и за ову новину, још неиспробану у нашим условима, овај рад представља анализу предложених испитивања асфалтних мешавина, специфичних за систем "SUPERPAVE". Коментарише се интерпретација њихових резултата, као и остварене могућности укључивања тих резултата у методу пројектовања коловозних конструкција, произашлу из ауторових сазнања, мишљења бројних истраживача из европских истраживачких центара и резимеа састанака Техничког комитета C-6 AIPCR-PIARC у Италији.

УВОД

Као комплемент новим спецификацијама за битуменска везива, које прате и одговарајућа испитивања, што је један од важних резултата истраживања обављених у оквиру програма SHRP, произишао је и скуп лабораторијских опита асфалтних мешавина за коловозне конструкције, као и модели за предвиђање њиховог понашања у експлоатацији. Ови опити и модели намењени су пројектовању асфалтних мешавина и названи системом "SUPERPAVE", чије је коришћење нарочито запажено у САД. Ти резултати истраживања и сама метода данас се критички разматрају у бројним путним администрацијама и истраживачким центрима у свету. У европским земљама, методе пројектовања асфалтних мешавина доживеле су три евидентне фазе развоја. Прву фазу су представљале практичне емпиријске методе, које су укључивале запажене промене саобраћајног оптерећења, напредак опреме за испитивања итд. Овакав приступ се показао неодговарајућим и недовољно способним за решавање практичних проблема који су се појављивали на путевима. Другу фазу, засновану на фундаменталним

истраживањима, одредиле су "истраживачке" методе, тешко и никад применљиве у пракси. Трћу фазу карактерисало је приближавање истраживања и практичног коришћења. То је довело до метода пројектовања асфалтних мешавина какве данас Европа познаје и користи [1, 2]. Утисак Г. Ј. Верстраетена¹⁾ о пракси која се у овој области спроводи у САД је да "њихови инжењери нису отишли тако далеко, колико Европљани, у примени треће фазе "SUPERPAVE"-а". Због тога ће "једино ниво 1 бити коришћен, будући да је ниво 2 веома софистициран, а цене уређаја за испитивање веома високе".

Током једног од редовних састанака Техничког комитета за флексибилне коловозне конструкције Светског Конгреса за путеве AIPCR-PIARC (у даљем тексту Технички комитет) одржаног 30. јуна и 1. јула 1994. у Италији, као припремног састанка "Семинара" у оквиру XX светског конгреса за путеве AIPCR-PIARC – Монреал 1995. године о испитивањима асфалтних мешавина предложених у SHRP-у детаљно су, на темељу експозеа G. J. Bonnot-a²⁾, анализиране експерименталне и теоријске претпоставке и основе методе пројектовања асфалтних мешавина по овом систему [2, 3].

Овај рад приказује анализу предложених испитивања асфалтних мешавина, специфичних за систем "SUPERPAVE", интерпретацију њихових резултата, као и остварене могућности укључивања тих резултата у методу пројектовања коловозних конструкција, произашлу из ауторових сазнања, резимеа састанка у Италији и размене мишљења са истраживачима у европским путним администрацијама и истраживачким центрима.

1. СПЕЦИФИЧНА ИСПИТИВАЊА АСФАЛТНИХ МЕШАВИНА У СИСТЕМУ "SUPERPAVE"

1.1. Способност збијања (SHRP M-002) [4]

Систем "SUPERPAVE" прихвата запремински састав асфалтне мешавине као најзначајнију карактеристику, а опит који се користи за изучавање и

¹⁾ Jean Verstraeten, директор истраживања у Центру за путна истраживања (CRR) у Бриселу

²⁾ Jean Bonnot, технички директор централне путне лабораторије Француске (LCPC) и, до Конгреса у Монреалу, председник Техничког комитета за флексибилне коловозне конструкције C-6, AIPCR-PIARC

познавање понашања асфалтних мешавина приликом збијања је опит смицања у кружној преси (SHRP M-002). Овај уређај се, истовремено, користи за справљање цилиндричних узорак (спрувета) намењених испитивању механичких својстава асфалтне мешавине.

Опит смицања у кружној преси је већ добро познат и приказан у нашој стручној јавности. Према спецификацијама SHRP-a, преса има брзину од 30 ротација у минути, под углом од $1,25^\circ$ и вертикални притисак од 0,6 МПа. Цилиндри су пречника 100 или 150 mm, а збијени узорци имају висину од 50 mm. Посебност опита се садржи у чињеници да се за време збијања угао нагиба пресе мора одржавати на вредностима $1,25^\circ$, што је тешко остварљиво. За овај опит је, такође, спецификована и трајност цилиндра, њихова максимална истрошеност и њихов унутрашњи облик.

1.2. Очвршћавање приликом мешања, старење, утицај воде

Метода "SUPERPAVE" поклања велики значај ефектима очвршћавања приликом мешања, старењу и утицају воде. Више опита је намењено предвиђању ових фактора. Опиту очвршћавања при мешању и опиту старења користе се приликом припремања мешавине или узорака и то пре извођења опита механичких својстава (отпорност на трајне деформације или на замор).

Опит којим се контролише утицај воде користи се једино за утврђивање чињенице да ли мешавина одговара прописаним критеријумима.

1.2.1. Очвршћавање и старење (SHRP M-007) [4]: два опита који се изводе sukcesивно

Опит краткотрајног очвршћавања се обавља на незбијеној мешавини. Намењен је симулирању очвршћавања мешавине током мешања у асфалтном постројењу и током збијања. Испитивање очвршћавања током израде узорака у лабораторији SHRP је проценио непотребним. Само испитивање се састоји у одлагању незбијене мешавине у сушару са вентилацијом на температури од 135°C , за време од 4 часа, у дебљини од $21\text{--}22\text{ kg/m}^2$, уз мешање ус ваком сату. Коришћење ове процедуре је систематско за све опите механичких карактеристика.

Опит дугорочног старења се обавља у збијеној мешавини замишљен је за одређивање старења мешавине после 7–10 година експлоатације. Збијени узорци (102 mm пречника и висине 152 mm) одлажу се у сушару са вентилацијом где, на температури од 85°C остају 120 часова. Коришћење ове процедуре је спецификовано за испитивање механичких својстава мешавине, односно за предвиђање понашања на замор или појаву пукотина од термичког скупљања.

1.2.2. Утицај воде (SHRP M-006) [4]

Осетљивост збијене асфалтне мешавине на воду се одређује комплексном методом која се састоји у излагању узорака деловању воде, на високој температури, уз симултано једноаксијално понављање оптерећења. Утицај потапања у воду се повећава

чињеницом да се омогућава кретање воде кроз шупљине. Карактеристике мешавине су повратни модул и водопропустљивост, а одређују се пре и након потапања у воду. Опремена која се користи током ових испитивања названа је "ECS" (Environmental Condition System).

Узорци висине и пречника 102 mm претходно се подвргавају малом броју поновљених једноаксијалних оптерећења (време оптерећења је 0,1 sec, време "одмора" 0,9 sec.). Једноаксијални напон је интензитета (0,27 МПа), а потом се одређује повратни модул на 25°C .

После овог поступка, узорци се ломе дијаметралним притиском, при чему се утврђује облик лома и срачунава проценат размешавања. Утицај воде се процењује и коефицијентом водопропустљивости пре и после испитивања модула.

Ово је први пут у истраживању да се поставља захтев суперпонирања утицаја потапања и механичког оптерећења. Како сматра G. J. Bonnot, значај потапања узорака на -18°C за време од 6 часова није евидентан. Чини се да односи резултата опита и ризика размешавања у реалности још нису добро познати. Метода је комплексна, захтева веома скупу опрему и изгледа веома тешко применљива у рутинској пракси. Због те чињенице њу је могуће користити као опцију методе AASHTO T 283 (поређење отпорности на затезање при дијаметралном притиску, добијених на сувим и засићеним узорцима, подвргнутим једном циклусу смрзавања на -18°C и потапања на 60°C).

1.3. Отпорност на трајне деформације

Истраживачки тим, којим је руководио проф. Carl Monismith обавио је веома значајна и оригинална истраживања у пројекту A 003-A [4]. Истраживање је у исти мах и експериментално и моделско, а имало је за циљ предвиђање дубине колотрага. Овде ће се приказати дискусија Техничког комитета о резултатима тих значајних истраживања.

1.3.1. Принцип методе

Истраживачки тим је разрадио две методе предвиђања дубине очекиваних колотрага у пројектованој коловозној конструкцији.

- **Теоријска метода**, заснована на вискоеластичном понашању асфалтних мешавина (еластичност нелинеарна, а вискозност је са оштећењима). Четири нова опита (SHRP M 003) [4] омогућавају одређивање параметара оваквог модела понашања. Моделирање структуре коловозне конструкције коначним елементима омогућава, потом, истраживање дубине колотрага под деловањем поновљених оптерећења;

- **Комплексна метода**, полутеоријска, полуемпиријска, заснована на опиту симулације поновљених оптерећења и опиту поновљеног смицања на узорцима који се одржавају на константној висини. Тај поступак (RSST-CH) описан је у методи SHRP-003).

У обе ове методе опит смицања, са узорцима који се одржавају на константној висини, без обзира на

природу оптерећења (*једноструко* или *поновљено*), има највећи значај.

Технички комитет сматра да се разлог избора и увођења оптерећења на смицање налази у томе што велики смичући напони, који се појављују на ивицама пнеуматика и који су максималне дубине до 5 cm представљају основни узрок појаве колотрага. Такође, поновљено смицање омогућава ротацију главних праваца напона која се не може остварити у триаксијалном опиту, али при пролазу оптерећења у реалности, постоји. (Овај став се може проверити и анализом напрезања у флексибилној коловозној конструкцији).

Такође су разлози одржавања константне висине узорака током смицања пронађени у следећем: смицање добро збијене асфалтне мешавине (*добар интегрануларни контакт*), претпоставља померање зрна агрегата и изазива вертикалу дилатацију у односу на раван смицања. То доводи до повећања висине узорка (*феномен дилатације*). Током овог опита, ова појава се спречава силом која одржава висину узорка константном, што има за последицу изазивање вертикалних притисака на раван смицања и тиме повећање саме отпорности на смицање. Ово није ништа друго до симулација реалног понашања асфалтног слоја у конструкцији под утицајем контролујећег оптерећења. Повећање отпорности на смицање утолико је веће што мешавина има значајнију тенденцију дилатирању. Избор опита са константном висином узорка је, дакле, веома значајан јер су резултати испитивања осетљиви не само на својства везива, већ и на интрагрануларно трење зрна агрегата. Исти феномени се остварују када се у опит поновљеног једноаксијалног оптерећења уведу бочна напрезања.

Сама процедура извођења опита смицања обавља се на узорцима пречника 150 mm и висине 50 mm који се излажу једноструким, или понављањем напонима смицања [5]. Опрема за испитивање, приказана и у нашој литератури [6] је веома великих перформанси, а развијена је специјално за ова испитивања. Уређај омогућава и извођење опита чији се резултати могу користити директно и у теоријским налазима, али његова цена износи око 400.000 САД долара.

1.3.2. Теоријска метода предвиђања дубине колотрага [7]

Ова метода користи закон механичког понашања асфалтне мешавине, који укључује следећа својства:

- када се подвргне смицању, асфалтна мешавина показује феномен дилатације;
- модул смицања расте када је асфалтна мешавина подвргнута изотропном напону притиска (*хидростатички напон*). У оваквој врсти оптерећења, међутим, мешавина има тенденцију осетног "течења";
- понашање асфалтне мешавине зависи од температуре и времена трајања оптерећења;
- изазива се трајна деформација.

Аутори методе су изабрали вискоеластични модел нелинеарне еластичности и вискозитета са

оштећивањем. Представљен је паралелним Maxwell-овим моделима у серији, са једном нелинеарном опругом и амортизером чији вискозитет, као функција температуре, опада када максимална деформација расте (10–12). Параметри овог модела се одређују на узорцима пречника 150 mm и 50 mm висине, у серији од пет испитивања, што је објашњено у методи SHRP M-003 [4].

1.3.2.1. Одређивање нелинеарних параметара еластичности

Пројект А 003–а дефинише потребу одређивања укупно девет параметара. Опиту се обављају на температури од 4°C како би се обезбедило да деформација не садржи вискозну компоненту. Потребно је обавити следећа испитивања:

- опит смицања са константном висином узорка: узорак се подвргава напону смицања, који расте пропорционално времену, уз повећање аксијалног напона којим се одржава константна висина узорка. Утврђени односи напона и деформације омогућавају одређивање три од девет параметара;

- опит аксијалног притиска без хоризонталне деформације: узорак се излаже аксијалном притиску, који расте пропорционално времену, одржавајући константним пречник узорка: стање деформације је једноаксијално. Добијени односи напон–деформација омогућавају добијање следећа четири нова параметра и верификацију вредности два параметра добијена претходним испитивањем;

- опит изотропног притиска: узорку се задаје изотропни напон, који расте пропорционално времену. Утврђени односи напон–деформација омогућавају одређивање два преостала параметра.

1.3.2.2. Одређивање параметара вискозности

Ови параметри су одређени опитом комплексног модула на смицање. Узорак се одржава на константној висини при температурама 10°C, 20°C, 40°C и фреквенцијама од 0,01 до 10 Hz. Да би се остало у подручју линеарности, амплитуде деформација су ограничене на мале вредности. Резултати испитивања омогућавају добијање основне криве модула и спектра времена релаксације, као и модул релаксације Maxwell-овог модела.

Опит комплексног модула (на 20°C, при само 1 Hz) за вредности растућих деформација је предвиђен за одређивање фактора промене вискозности са повећањем амплитуде деформација. Тако се обезбеђује да опруга Maxwell-овог модула не трпи оштећење, али се зато вискозитет осетно смањује са повећањем амплитуде деформације.

Поређење опита комплексног модула са опитима који служе за одређивање параметара еластичности је показало да и поред тога што су одређени на 4°C, ови задњи садрже вискозну компоненту; требало их је, дакле, кориговати.

1.3.2.3. Срачунавање дубине колотрага

Овако утврђена законитост понашања може се користити за срачунавање дубине колотрага у моделу коловозне конструкције са коначним елементима, на коме се симулира наношење поновљених

двостепенном моделу коришћењем нереалних оптерећења, у намери да се добије значајнија дубина колотрага после само веома малог броја понављања оптерећења.

Комплексност модела, међутим, захтевала је, на машини IBM-RS 6000, пет часова прорачуна да би се репродуковало само пет циклуса понављања оптерећења. У нормалном коришћењу модела, када треба симулирати веома велики број понављања оптерећења и репродуковати утицаји облика и притиска пнеуматика, требало би користити тродимензионални модул.

1.3.2.4. Потврда модела

Због комплексности, дуготрајности и ресурса за обављање прорачуна, никаква потврда модела није обављена на реалним коловозним конструкцијама. Са друге стране, потврда ваљаности модела обављена је срачунавањем трајне деформације након 1–100 циклуса оптерећења узорка подвргнутог опиту поновљеног смицања, при одржавању константне висине узорка. Поређењем тих резултата са запаженом деформацијом је потврђено да се не могу добити сасвим јасни закључци. Резултат у великој мери зависи од вредности коефицијента оштећења вискозитета.

1.3.3. Метода предвиђања дубине колотрага [8]

У теоријској методи, како смо видели, нема опита поновљених оптерећења. То понављање се симулира у самом прорачуну на моделу коловозне конструкције, а експериментално утврђена законитост вискоеластичног понашања омогућава срачунавање трајне деформације.

Теоријска метода, такође, захтева веома дуго време прорачуна. То су били основни разлози формулисања друге теоријско–емпиријске методе. У овој методи, уместо да се акумулација трајне деформације репродукује у моделу коловозне конструкције симулирањем, односно нахођењем оптерећења једног за другим, користи се опит симулације понављања оптерећења. То је опит поновљеног смицања са одржавањем сталне висине узорка, RSST–CH. На тај начин се избегава захтев срачунавања утицаја понављања оптерећења.

Међутим, овде је требало разрешити проблем преношења резултата трајне деформације, добијених лабораторијским испитивањем, на дубини колотрага стварне коловозне конструкције и проблем прелаза са броја понављаних оптерећења у лабораторијском испитивању на број еквивалентних стандардних осовина коловозне конструкције.

1.3.3.1. Опит поновљеног смицања са одржавањем константне висине узорка (SHRP A–003 [4])

Напон поновљеног смицања интензитета 0,070 МПа се наноси у импулсу од 0,1 sec, са периодом одмора у трајању од 0,6 sec, у укупно 5000 циклуса (или док трајна деформација достигне вредност од 5%). Током смицања, висина узорка се одржава константном. Региструју се хоризонталне трајне деформације и вертикални напон, потребан за одржавање константне висине узорка. Трајна де-

формација се представља у функцији броја понављања оптерећења. Најчешће се користи билогаритамско представљање резултата. Температура при испитивању је средња вредност, средњих седмодневних максималних температура у асфалтном слоју на 5 cm дубине, у периоду од 30 година. Ова температура се срачунава у посебном моделу, полазећи од температуре ваздуха, надморске висине и осунчаности локације.

1.3.3.2. Преношење резултата испитивања трајне деформације добијене опитом, на дубину реалног колотрага

Овај проблем аутори су разрешили теоријском методом.

Да би се за једну задату структуру коловозне конструкције срачунала трајна максимална деформација на смицање и дубина колотрага, на укупно 16 мешавина, од којих свака са по два различита садржаја шупљина, примењена је теоријска метода описана у тачки 3.2 (модификована, како би се у њу унела компонента пластичног понашања). Константовано је да за велику варијацију температура, времена трајања оптерећења, својстава мешавине, тежине оптерећења и притиска у пнеуматику, постоји линеарна зависност између ових двеју вредности, која се може изразити следећим изразом:

Дубина колотрага (mm) = 280 максималних трајних деформација на смицање. (1)

Овај израз је установљен само за једну структуру коловозне конструкције. Трајна деформација се догађа нарочито на површини коловозне конструкције, те се претпоставља да утврђена веза важи и за друге случајеве.

Прихвата се, дакле, чињеница да је трајна максимална деформација на смицање, срачуната у структури коловозне конструкције, она која је добијена опитом смицања. То значи да трајна деформација од 3% одређена опитом смицања одговара дубини колотрага у коловозној конструкцији од 8,4 mm.

1.3.3.3. Преношење броја циклуса оптерећења у опиту на број пролаза еквивалентних осовина

За једну вредност трајне деформације или одговарајућу дубину колотрага, број циклуса оптерећења у опиту се веома разликује од кумулативног броја пролаза еквивалентне осовине и скоро је хиљаду пута мањи. Ово је последица чињенице да се приликом избора времена смицања и времена оптерећења у опиту, не истражује репродуковање реалних оптерећења (супротно, дакле, од оног што се чини у методама заснованим на триаксијалном опиту поновљених оптерећења); такође, највећи део саобраћајног оптерећења се догађа при температури која је различита (нижа) од распона температура при којима се у реалним условима формира колотраг.

Проблем прелаза са један на други број понављања оптерећења, аутори су разрешили емпиријском методом.

На 40 локација (из програма LTTP–GPS), на којима су асфалтни слојеви били старости између 1 и 23 године, на коловозним конструкцијама са проте-

клим оптерећењем између 100 и 5 милиона еквивалентних осовина, са променљивом дужином колотрага (од 2,5 до 15 mm), узети су узорци и обављена испитивања поновљеног смицања са константном висином. Непоремећени узорци су узети на свакој локацији, а испитивање је извршено при температури коловоза у седам узастопно најтоплијих дана, срачунатој на свакој од њих. Уз помоћ једначине (1) срачуната је трајна деформација на смицање која одговара дубини запаженог колотрага. На основу тога је утврђен број циклуса понављања оптерећења за који је добијена запажена деформација. Дакле, за 40 локација је извршено поређење броја оптерећења при лабораторијском испитивању са кумулативним бројем еквивалентних осовина.

Запажено је да се експериментални резултати групишу око две паралелне линије, које показују да одступање броја циклуса оптерећења у опиту, за исти број еквивалентних осовина одговара фактору и већем од 20. Даљом анализом, показало се да локације које показују највећи број циклуса приликом лабораторијског испитивања, одговарају најстаријим, или "остарелим" асфалтним слојевима, који, у тренутку када су испитивања поновљеног смицања на њиховим узорцима обављена, нису више имали исте карактеристике са онима које су биле у експлоатацији, током појаве колотрага. Ограничењем тумачења резултата на слојеве асфалта који нису старији од 10 година и нису били изложени утицајима који би довели до јаког старења (17 локација), аутори су добили следећу зависност ($R^2 = 0,80$).

$$\log(\text{број циклуса у опиту}) = 4,36 + 1,240 \log(\text{број еквивалентних осовина}) \quad (2)$$

1.3.3.4. Предвиђање дубине колотрага

За предвиђање дубине колотрага, аутори дају следећи поступак:

- обавити испитивање узорака на поновљено смицање, уз одржавање константне висине узорка, на температури која се може очекивати у коловозној конструкцији у седам узастопно најтоплијих дана;
- познајући кумулативни број еквивалентних осовина, коришћењем једначине (1) срачунати број одговарајућих циклуса понављања оптерећења у лабораторијском испитивању,
- одредити трајну деформацију на смицање која одговара том броју циклуса,
- одредити дубину колотрага коришћењем једначине (1).

G. J. Bonnot овде запажа да у предложеним поступцима утицај брзине тешких теретних возила није узет у обзир, а срачунавање дубине колотрага се односи једино на потезе пута са хоризонталном нивелетом. Од стране екипе пројекта А 003-А је назначено да целокупна процедура може бити побољшана повећањем температуре испитивања за деонице пута са већим подужним нагибом. Ова корекција температуре се може срачунати захваљујући принципу еквиваленције време-температура, која се добија из резултата опита комплексног модула.

Што се тиче резултата испитивање узорака узетих из коловозне конструкције и справљених у лабораторији може се приметити да је једначина (2) установљена за узорке узете са лица места, из коловозне конструкције, те да компаративна испитивања, обављена на другим локацијама, показују да може постојати велика разлика у добијеним резултатима.

У односу на прецизност предвиђања, може се видети да се на локацијама које су послужиле установљењу везе приказане у једначини (2) број циклуса приликом испитивања који одговара броју пролаза еквивалентних осовина налази у односу 1 на 5, што за очекивану дубину колотрага одговара односу 1:2. Поређењем срачунате и запажене дубине колотрага, на локацијама независним од ових (са лабораторијски справљеним узорцима), однос између предвиђања и запажања на лицу места може достићи и вредности 1-10 [5].

1.3.4. Закључци

Мада нису експлицитно изведени, закључци чланова Техничког комитета налазе да је амбиција система "SUPERPAVE" да срачунавањем дубине колотрага провери пројектовану асфалтну мешавину на локацији на којој се предвиђа њено коришћење.

Теоријска метода прорачуна захтева веома моћна средства прорачуна, што произилази из саме комплексности модела. Због те чињенице она и није потврђена поређењем са запаженим дубинама колотрага.

Проблем утицаја начина справљања узорака на резултате остаје суштинско питање (мешање, збијање), а да при том није дефинисано у самом поступку.

Претпостављена и нужна опрема за примену ових метода је добро реализована, али је веома скупа.

1.4. Замор

Опит замора који је предложила екипа пројекта SHRP А-003 А је класичан (SHRP М-009) (1). То је опит замора са задатом деформацијом при синусоидалном напону, при 10 Hz којим се призматични узорак димензија 51 x 63,5 x 381 mm оптерећује на савијање у четири тачке. Истражује се животни век идући од 5000 до 500 000 циклуса оптерећења. Истек животног века се дефинише смањењем вредности модула за 50% од почетне. Дисипована енергија се у сваком циклусу акумулира и мери, а добијени закон замора је облика:

$$N = k_1 \epsilon^{k_2}$$

Посебност учињеног предлога се огледа у одређивању криве замора са само четири узорка. Предвиђена је следећа процедура [9]:

- изабрати први ниво деформације како би се добила трајност између 5.000 и 10.000 циклуса,
- изабрати други ниво деформације, у функцији резултата добијених на првом узорку, како би се добила трајност у истом подручју, али већа или мања од претходне,

била трајност у истом подручју, али већа или мања од претходне,

- полазећи од прва два добијена резултата, предвидети трећи ниво деформације, како би се добило 100.000 циклуса,

- полазећи од три претходна резултата, фиксирати четврти ниво деформације да би се добило око 500.000 циклуса.

Аутори сматрају да је у оваквим условима испитивања потребно само око 24 часа за добијање криве замора, али чланови Техничког комитета сматрају да може са правом поставити питање о прецизности добијеног закона замора.

2. МЕТОДА ПРОЈЕКТОВАЊА АСФАЛТНИХ МЕШАВИНА ПО СИСТЕМУ "SUPERPAVE"

Показана метода за пројектовање асфалтних мешавина заснива се на спецификацијама битумена и асфалтних мешавина и изложеним истраживањима. Она је конкретизована у компјутерском програму "SUPERPAVE" [10, 11, 13]. Циљ програма је да прецизно пројектује асфалтну мешавину, у функцији локалних услова грађења и експлоатације. Критеријуми трајности су повезани са перформансама асфалтне мешавине. Пројектни захтеви се изражавају: а) дозвољеним процентом површине коловоза захваћеног прелинама, б) дубином колотрага и ц) бројем прелина насталих услед термичког скупљања.

Програмски пакет садржи:

- базу метеоролошких података,
- програм који омогућава срачунавање параметара закона понашања мешавине (полазећи од резултата испитивања механичких својстава),
- програм за предвиђање понашања асфалтне мешавине на замор у коловозној конструкцији, затим на трајну деформацију и појаву пукотина на ниским температурама,
- базе података способне да сачувају резултате које је корисник добио, а такође и резултате контролних испитивања на градилишту.

Процедура пројектовања асфалтних мешавина, по замисли аутора методе, има три нивоа. Сваки је ниво, у односу на претходни, проширенији и детаљнији. Ниво пројектовања бира корисник у функцији значаја коловозне конструкције коју пројектује и гради, а основна ограничења и сам поступак у сваком од тих нивоа, приказани су у тексту који следи.

2.1. Ниво I методе "SUPERPAVE"

Ниво један, применљив на пример за све коловозне конструкције које се пројектују за мање од милион стандардних осовина, одговара пројектовању према емпиријским поступцима, заснованим на запреминским карактеристикама збијене мешавине.

Врста битумена који ће се користити у мешавини одређује се полазећи од метеоролошких података са станице најближе месту грађења (средња вредност и стандардна девијација средњих максималних температура ваздуха у седам узастопно најтоплијих дана и минимална температура ваздуха у најхладнијем дану у периоду посматрања од 30

година). Расподела ових температура се прихвата према нормалној законитости; програм срачунава екстремне температуре у коловозној конструкцији, а корисник бира степен ризика, што му омогућава да изабере одговарајућу класу битумена. Високе температуре повезане су директно са брзином тешких теретних возила; температура се повећава за 6°C у случају спорог саобраћаја. Камени агрегати треба да одговарају одређеним спецификацијама које се заснивају на гранулометријском саставу, трајности зрна, угловности, облику и чистоћи. Неке од ових спецификација су остављене кориснику на избор.

Формула мешавине се проверава полазећи од запреминског састава мешавине који се остварује након збијања у преси са кружним смицањем (садржај шупљина, збијеност грануларног скелета, шупљине испуњене битуменом). Претпоставља се да је тај састав довољно повезан са механичким понашањем мешавине и да довољно описује утицаје трења између зрна агрегата.

Захтева се 4% шупљина након збијања и то при броју кружног окретања пресе који је утолико већи, уколико је кумулативно саобраћајно оптерећење веће (креће се од 68 кружних обртаја за лака саобраћајна оптерећења до 143 за тешка саобраћајна оптерећења). Због те чињенице мешавине намењене тешком саобраћајном оптерећењу имају мањи садржај битумена. Велики значај дат је утицају додатног збијања под саобраћајем, али се у захтеву за предвиђање садржаја шупљина у уграђеном слоју не води рачуна о његовој збијеној дебљини, што према мишљењима чланова Техничког комитета изгледа као недостатак. Додатне спецификације су фиксиране на следећи начин:

- за велики број обртаја пресе (од 104 до 235) који се захтева у случају великог и тешког саобраћајног оптерећења, садржај шупљина не сме бити већи од 2%,
- на почетку збијања (7 до 9 кружних обртаја) садржај шупљина треба да буде већи од 11%,
- садржај шупљина у агрегату треба да буде најмање 15% за фракцију 0/10, а шупљине испуњене везивом треба да се налазе у функцији саобраћаја.

2.2. Ниво II методе "SUPERPAVE"

Ниво II, применљив за коловозне конструкције са тешким саобраћајним оптерећењем, садржи извршење свих опита из нивоа I, допуњених провером чињенице о томе да ли мешавина одговара спецификацијама (пукотине од замора, колотраг и пукотина од скупљања на ниским температурама).

Корисник задаје спецификације, односно жељено стање коловозне конструкције: проценат испуцалости површине конструкције од замора, дубину колотрага, број пукотина од термичког скупљања.

На основу задатих метеоролошких података (подаци о дневним температурама ваздуха у десетогодишњем периоду) који омогућавају прорачун температуре у мешавини, програм срачунава "ефективне температуре", једну средњу – за замор, и другу високу, за отпорност на колотраге.

2.2.1. Предвиђање процента површине коловоза захваћене пукотинама од замора

Интересантно је да "SUPERPAVE" не претпоставља извођење опита замора за асфалтне мешавине и поред тога што је истраживачка екипа пројекта А-003 А предложила методу за карактеризацију понашања на замор која захтева само 24 часа испитивања. G. J. Vonnот претпоставља да је вероватно потреба за изградом решетке за сечење узорка на ваљку за збијање плоче обесхрабрила пројектанте ове методе (будући да се сви остали узорци справљају као цилиндрични, а збијају се у преси са кружним окретањем). Понашање мешавине на замор оцењује се помоћу емпиријски утврђених односа. Једна од њих користи комплексни модул мешавине и њену запреминску композицију [8].

$$Nf = 2,73810^5 e^{0,077 VBF} S_o^{*-2,720} \epsilon_o^{-3,624}$$

где су:

Nf – животни век на замор одређен у лабораторији,

VBF – проценат шупљина агрегата испуњен битуменом,

S^* – почетни модул (пси)

ϵ_o – почетна деформација

Овде се ради о модулу на савијање. Како је метода одређивања модула, која је усвојена за "SUPERPAVE", метода за смицање, предлаже се емпиријска формула која повезује ова два модула. При томе се примењује један коефицијент сагласности који омогућава да се са резултата добијених у лабораторији пређе на реалне услове. Да би се одредио животни век који ће се добити у лабораторији, потребно је поделити број еквивалентних осовина фактором који зависи од дозвољеног процента површине коловоза захваћене прелинама. Вредност тог фактора се креће од 10 за 10% оштећености површине коловоза, до 14 за 45% оштећене површине [12, 13]. Овај коефицијент узима у обзир и ефекте "самопоправљања" прелина, јер су емпиријски добијене релације установљене под синусоидалним оптерећењем у функцији времена потребног да се прелина појави на површини и дисперзије резултата испитивања на замор.

У методи се наводи и коришћење отпорности на затезање одређене опитом дијаметралне компресије на ефективnoj температури замора, али без прецизног описа о томе како она утиче на одређивање закона замора.

За асфалтне мешавине са модификованим битуменима неопходно је директно одређивање понашања на замор опитима замора на савијање.

2.2.2. Предвиђање колотрага

За отпорност на трајну деформацију, почиње са опитом течења при поновљеним оптерећењима (примењује се понављање вертикалног напона са интензитетом који је константно пропорционалан напону смицања (метода М-003) [1]. Овај опит се обавља на вишеj температури, управо једнакоj ефективnoj температури појаве колотрага увећаноj још за број степени који зависи од кумулативног саобраћајног оптерећења (може бити 20 за кумулативно оптерећење веће од 10 милиона еквивалентних осовина). Амплитуда напона је у овом опиту фун-

кција садржаја битумена и носивости подлоге. Формира се логаритамска крива трајне деформације у функцији логаритма броја понављања оптерећења, до 20.000 циклуса. Уколико се нагиб ове криве осетно повећава при великом броју циклуса, мешавина се оцењује нестабилном.

Уколико мешавина прође овај први тест, наставља се са срачунавањем дубине колотрага. Полумпиријска-полутеоријска метода, предложена од екипе пројекта А0003А, није прихваћена у "SUPERPAVE". Дубина колотрага се рачуна моделом који је без сумње знатно упрошћење теоријске методе, али је о њој дато веома мало информација. Испитивања која је потребно извршити су:

- Опит комплексног модула на 9 фреквенција, при ефективnoj температури за колотраге. На основу овога се срачунавају напрезања у коловозној конструкцији.

- Опит течења на смицање са константном висином узорка у складу са фазама оптерећења и растерећења. То омогућава дефинисање пластичних и нелинеарних параметара еластичности.

2.2.3. Предвиђање пукотина од скупљања на ниским температурама

Појаву пукотина од скупљања на ниским температурама, овај компјутерски пакет предвиђа помоћу модела који користи својства релаксације и лома на ниским температурама. Својства асфалтне мешавине на релаксацију одређују се опитом течења на дијаметрални притисак на 0°C – 20°C. Својства на лом такође се одређују опитом дијаметралног притиска.

Сва ова предвиђања понашања обављају се са три различита садржаја битумена. Сви опити се раде на мешавинама које су претходно подвргнуте краткотрајном очвршћавању.

2.3. Ниво III методе "SUPERPAVE"

Аутори сматрају да у најмање 95% случајева пројектовања асфалтне мешавине може бити задовољавајуће већ коришћењем процедура предвиђених за ниво I или ниво II.

Ниво III је предвиђен за примену у случају коловозних конструкција са веома тешким саобраћајем (више од 10 милиона еквивалентних осовина). Карактеризација својстава мешавине је комплекснија, са прецизнијим описом утицаја температуре и напрезања. Предвиђање понашања мешавине се одређује делећи године на периоде константних температура. За предвиђање дубине колотрага користи се описани теоријски модел (тачка 1). Он захтева реализацију далеко већег броја испитивања.

2.4. Закључак о методи пројектовања асфалтних мешавина "SUPERPAVE"

Чланови Техничког комитета поред истицања чињенице да чак ни најкомплекснији ниво III ове методе не претпоставља извођење опита замора имају и следеће напомене које се односе на спецификације квалитета асфалтне мешавине у експло-

За ниво II, као и за ниво III, спецификације су да-
те за целокупну коловозну конструкцију, а не за не-
ки од слојева који се изграђује. Сугерисане
граничне вредности су: 10 mm дубине колотрага и
10% површине оштећене пукотинама, са границом
вероватноће од 95%. Мада компјутерски програм за
предвиђање појаве оштећења у коловозној кон-
струкцији води рачуна о различитим оптерећењима
слојева, у складу са њиховим нивоом у коловозној
конструкцији (температура и напони), запажа се да:

- за трајну деформацију модел може срачунати
само коловозну конструкцију која садржи два ас-
фалтна слоја,

- за пукотине од замора, модел не води рачуна о
својствима нижих слојева. То је веома озбиљно
ограничење, нарочито уколико је структура сас-
тавлена (као што је то уобичајено у Европи) од ас-
фалтних слојева веома различитих карактеристика,

- на крају, за случај појачања, програм не са-
држи верификацију конструкције на замор.

Такође се сматра да метода пројектовања асфал-
тне мешавине нивоа I, заснована на запреминском
саставу збијене мешавине у кружној преси са сми-
цањем, представља напредак у односу на постојећу
ситуацију у САД и то утолико више јер јој је придо-
дат избор карактеристика битумена у зависности од
климатских зона, што је иначе могуће захваљујући
и новим спецификацијама за битумен. Ефикасност
методе ће међутим зависити од спецификација за
камене агрегате, које се чине веома захтевним, и ко-
је су, понекад, остављене оцени и избору корисни-
ка. За сада се не види могућност модификовања
спецификација у функцији дебљине и врсте слојева
(хабајући, везни, носећи). Метода нивоа I не може се
сматрати напретком у земљама које већ уобичајено
користе спецификације према захтеваним својстви-
ма асфалтне мешавине у експлоатацији.

Једино, како је речено, методе нивоа II и нивоа III
одговарају почетно постављеним циљевима: специ-
фикације пројектовања повезане са очекиваним
перформансама. Необично је да метода "SUPERPA-
VE" не предвиђа никакав опит замора; предложене
емпиријске методе, у том смислу су мале верности,
а и не могу се применити за случајеве мешавина са
модификованим везивима. Што се тиче трајних де-
формација, могућности методе су ограничене већ
објашњеним чињеницама које се односе на одгова-
рајућа испитивања: метода нивоа II се заснива на ко-
ришћење веома скупе и компликоване опреме, а
њена способност предвиђа дубине колотрага не мо-
же се прихватити за случај модификованих везива:
теоријска метода, ниво III, је намењена и мешавина-
ма са модификованим битуменима; претпоставља
извршење 5 опита и веома моћна средства прорачу-
на, а при томе још је мање потврђене ваљаности.

Идеја да компјутерски програм интегрише про-
јектовање и све моделе за извођење неопходних про-
рачуна коловозних конструкција, при том великог
капацитета чувања података пројектовања и кон-
троле извођења радова је веома привлачна и за-
окупља пажњу истраживача већ дуже време [14].
Систем "SUPERPAVE" у потпуности подржава такав

приступ, уз то има и улогу "црне кутије", али је још
увек тешко заузети став о њеној поузданости.

Према последњој (незваничној) информацији
коју аутор има (G. L. Francken³⁾, јесен 1995. год.) истраживачки центар у Бриселу је тек започео вери-
фикацију нивоа I ове методе.

Свакако да комплексност, дуготрајност и изнад
свега веома скупа опрема, у нашим условима још не
омогућавају проверу и примену методе "SUPERPA-
VE". За тај, и ако са "манама" врхунски резултат на-
шег времена у овој области, пратићемо мишљења и
ставове развијених земаља. Но, наша пракса пројек-
товања асфалтних мешавина и коловозних кон-
струкција може бити битно унапређена европским
искуствима и процедурама, као онима изложеним у
моделу "PRADO", који већ имамо а, нажалост, веома
мало користимо.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Радојковић, "Superpave" и "Prado" – два решења истог
проблема. Друштво за путеве Србије, Саветовање о при-
мени рачунара у путном инжењерству, 1996.
- [2] Comite Technique des routes souples, Reunion des 30.06.–
01.07.1994, Perouse
- [3] Bonnot. La methode SHRP de formulation des enrobes bitu-
mineux, AIPCR–Comite des Routes Souples, 25.07.1994.
- [4] The Superpave Mix Design System, Manuel of Specification,
Tests Methods and Practices, SHRP, A-379, March 94.
- [5] J. Sousa, A. Tayebli, J. Harvey, Ph. Hendricks, C. Monismith.
Sensitivity of SHRP A-003–A Testing Equipment to Mix De-
sign Parameters for Pavement Deformation and Fatigue –
TRB 72nd Annual Meeting, 1993.
- [6] Младеновић, А Цветановић. Superpave–систем за пројек-
товање битуменом везаних материјала, Грађевински ка-
лендар, вол. 28, страна 72–160, 1995.
- [7] Sousa, S. Weissman, J. Sackman, C. Monismith. A non-linear
Elastic Viscous with damage Modelmt o Predict Permanent
Deformation of Asphalt Concrete Mixes–Transportation Re-
search record 1384, pp. 80–93, 1993.
- [8] J. Sousa, M. Solaimanian. Abridge Procedure to Determine
Permanent Deformation of Asphalt Concrete Pavements.
TRB 73rd Annual Meeting, 1994.
- [9] J. Harvey, T. Lee, J. Sousa, J. Pak, C. Monismith. Evaluation of
Fatigue and Permanent Deformation Properties of Several As-
phalt Aggregate Field Mixes Using SHRP A-003–A Equip-
ment. TRB 73rd Annual Meeting, 1994.
- [10] Kennedy, J. Moulthorp, G. Huber. Better Performing Asphalt.
The Superpave Steps, SHRP International Conference, The
Hague, 1993.
- [11] Huber. Superpave: the Software System–SHRP International
Conference. The Hague. 1993.
- [12] Monismith J. Harvey, M. Bouldin, C. Azevedo. Application of
SHRP Mix Performance–based Specifications–73rd TRB An-
nual Metting. 1994.
- [13] The Superpave Mix Design For New Construction and Over-
lays, SHRP–A-407, May 1994.
- [14] З. Радојковић. Компјутерски пакети – заблуда или ре-
шење проблема димензионисања коловозних конструк-
ција, Друштво за путеве Србије, Саветовање о примени
рачунара у путном инжењерству, 1996.

³⁾Luis Francken, истраживач Истраживачког центра у Брисе-
лу (CRR), аутор методе и компјутерског програма за пројек-
товање асфалтних мешавина "PRADO"

Истраживања утицаја APP и SBS полимер-битумена на реолошке карактеристике асфалтне мешавине

Др Имре Пап, дипл. инж. – научни сарадник
Др Милорад Смиљанић, дипл. инж. – научни сарадник
Институт за путеве, д.д., Београд

Стручни рад
УДК 665.775:678.742.01

РЕЗИМЕ

Карактеристике асфалтне мешавине као што су: отпорност на замор, отпорност на појаву термичких пукотина и отпорност на трајне деформације у великој мери зависе од реолошких карактеристика везива. Применом полимер-битумена реолошке карактеристике асфалта се значајно мењају у зависности од типа полимера који се користи за модификацију.

У раду је истражен утицај полимер-битумена на бази APP, APP-е и SBS-полимера на реолошка својства асфалтних мешавина типа асфалтног бетона 0/11 mm. Применом софтверског пакета PRADO (Program for Road Asphalt Design and Optimization) белгијског института CRR, обављена је анализа реолошких карактеристика асфалтних мешавина као што су: модул крутости (E^*), модул еластичности (E'), вискозни модул (E''), фактор померања ($\alpha T.Fr$) и фазни угао (β) у опсегу температура од -20° до 30° C и фреквенција од 1 до 100 Hz, у зависности од примењеног везива.

1. УВОД

Карактеристике асфалтне мешавине као што су: отпорност на замор, отпорност на појаву термичких пукотина и отпорност на трајне деформације у великој мери зависе од реолошких карактеристика везива. Применом полимер-битумена реолошке карактеристике асфалта се значајно побољшавају у зависности од типа полимера који се користи за модификацију. Досадашња истраживања су показала да модификација битумена са SBS-еластомерима даје боље резултате у погледу температурне осетљивости, отпорности на колотраге и замор у односу на APP-пластомере [1].

За оцену квалитета асфалта са полимер-битуменом не могу се користити методе као што су Marshall-ов опит и тест пузања, јер се величина повратне еластичне деформације, која је битна карактеристика полимер-битумена, не може регистровати у опитима једноаксијалног статичког оптерећења [2]. Асфалтне мешавине са полимер-битуменима имају приближно исте физичко-механичке карактеристике по Marshall-у, као и отпорност на вискозне деформације из опита пузања у односу на мешавине са немодификованим битуменом, што указује да опити при статичком оптерећењу нису најпогоднији за оцену квалитета полимер-битумена [3]. Разлике у својствима полимер-битумена долазе до изражаја тек при динамичким испитивањима асфалтних мешавина. Међутим, опрема за ова испитивања је релативно скупа тако

да лабораторије углавном немају могућности за набавку ове опреме. Уместо скуних лабораторијских инструмената за динамичка испитивања све више се на тржишту појављују компјутерски програми који симулирају понашање асфалта у условима примене. Један од таквих програма је и софтверски пакт PRADO Центра за истраживање путева – CRR из Брисела. У оквиру програмског пакета PRADO (Programs for Road Asphalt Designing and Optimization) уграђени су модели за симулацију механичких карактеристика асфалтних мешавина, који су добијени из бројних динамичких испитивања као што су: отпорност на трајне деформације, отпорност на замор и отпорност на термичке пукотине [4].

У оквиру овог рада, применом програма PRADO, урађена је анализа карактеристика асфалтних мешавина типа асфалтног-бетона (AB-11s) са немодификованим битуменом и четири полимер-модификована битумена на бази APP (атактички-полипропилен), APP-E (кополимер атактичког-полипропилена и етилена) и SBS (стирен-бутадиен-стирен) полимера са аспекта отпорности на колотраге, отпорности на појаву термичких пукотина и отпорности на замор под деловањем саобраћајног оптерећења.

2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ САСТАВА АСФАЛТНИХ МЕШАВИНА

Утицај APP, APP-E и SBS-полимер-битумена изражен је на асфалтним мешавинама типа асфалтног бетона AB-11s. Оптимални састав асфалтних мешавина пројектован је према критеријумима из југословенског стандарда JYC-a У.Е4.014/90 за ауто-путеве и путеве са врло тешким саобраћајним оптерећењем и одређен је Marshall-овим методом.

За пројектовање састава асфалтних мешавина употребљени су следећи компонентални материјали:

- камено брашно карбонатног састава "Венчац" – Аранђеловац,
- дробљени песак 0/2 mm карбонатног састава "Јошанички Прњавор" – Јагодина,
- дробљени агрегат 2/4, 4/8 и 8/11 силикатног састава "Бисина" – Рашка и
- узорци полимер-битумена:
I: БИТ 200 "Велебит" + 5% APP "Veba F66" i
II: БИТ 200 "Велебит" + 5% APP-E "Stamroid 43C",
III: БИТ 200 "Mol-Mix" + 3% SBS "Kraton 1101" и
IV: БИТ 200 "Mol-Mix" + 4% SBS "Europren 6302"

Ради поређења утицаја полимера-модификованог битумена на карактеристике асфалтне мешавине, у односу на немодификовани битумен, у истраживањима је употребљен и стандардни битумен БИТ 60.

Сви битумени БИТ 200 и БИТ 60 произведени су у рафинерији нафте "Нови Сад".

У табели 1 (а-ц) приказан је састав и карактеристике асфалтне мешавине са оптималним садржајем битумена БИТ 60.

Табела 1 (а-ц). Састав и карактеристике асфалтне мешавине код оптималног садржаја битумена

а) Састав асфалтне мешавине АВ 11s, % (m/m)

Назив основних материјала	Минерална мешавина	Асфалтна мешавина
КБ "Венчац", Аранђеловац	5.0	4.70
0/2 mm "Ј. Прњавор", Јагодина	33.0	31.30
2/4 mm "Бисина", Рашка	21.0	19.90
4/8 mm "Бисина", Рашка	19.0	18.00
8/11 mm "Бисина", Рашка	22.0	20.95
Битумен БИТ 60, "Нови Сад"	–	5.15
СВЕГА:	100.0	100.0

б) Гранулометријски састав минералне мешавине АВ 11с, пролаз у % (m/m)

сити	0.09 mm	0.25 mm	0.71 mm	2.0 mm	4.0 mm	8.0 mm	11.2 mm	16.0 mm
пројект.	8.9	15.9	26.8	37.9	53.3	79.7	97.7	100
ЈУС	3–11	8–18	16–30	31–48	49–65	75–87	97–100	100

ц) Физичко-механичке карактеристике асфалтне мешавине АВ 11s

Карактеристике	Резултати испитивања
Стабилност на 60°C по Marshall-u, (kN)	12.2
Течење на 60°C по Marshallu, (mm)	3.9
Marshall-ов коефицијент на 60°C, (kN/mm)	3.13
Шупљине у асфалтном узорку, % (v/v)	3.0
Шупљине у агрегату испуњене везивом, % (v/v)	80.6
Шупљине у агрегату, % (v/v)	16.2
Густина лабораторијског узорка, (Mg/m ³)	2.438
Густина асфалтне мешавине, (Mg/m ³)	2.513

3. АНАЛИЗА КАРАКТЕРИСТИКА АСФАЛТНИХ МЕШАВИНА ПОМОЋУ КОМПЈУТЕРСКОГ ПРОГРАМА "PRADO"

Програмски пакет PRADO (Programs for Road Asphalt Designing and Optimization) Центра за истраживање путева – CRR (Брисел – Белгија), користи се за пројектовање и оптимизацију састава и карактеристика асфалтних мешавина као и за одређивање реолошких параметара који се користе за димензионисање коловозне конструкције. Ово је могуће с обзиром да је програм базиран на моделима механичких својстава, који су изведени из резул-

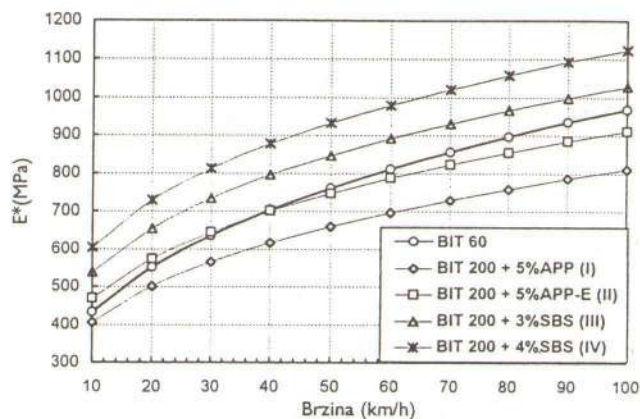
тата бројних динамичких испитивања. Програм такође омогућава да се анализира утицај промера карактеристика основних материјала на механичка својства асфалтне мешавине као што су: отпорност на замор, отпорност на трајне деформације, комплексни модул и коефицијент термичке дилатације [5]. Програмски пакет PRADO се састоји из осам под-програма, који на бази реолошких карактеристика везива (BINDER) и запреминских карактеристика песка (SAND) и каменог материјала (MATERIALS), врше оптимизацију састава минералне мешавине (GRADING) и асфалтне мешавине (MIX DESIGN) у односу на реолошке параметре као што су: комплексни модул, замор, пластична деформација и термички коефицијент дилатације (PROPERTIES). Улазни подаци се уносе преко програма INTRO, а резултати се добијају у форми извештаја (REPORT).

У овом раду програмски пакет PRADO је коришћен за анализу утицаја карактеристика везива на промену реолошких својстава асфалтне мешавине унапред дефинисаног састава. На основу података о карактеристикама везива (пенетрација, тачка размекшања по ПК, тачка лома по Fraass-у, индекс пенетрације, вискозност, запреминска маса и модул крутости G^*) који су приказани у раду (1) за пројектовану асфалтну мешавину одређени су реолошки параметри: модул крутости (E^*), компоненте модула крутости (E_1, E_2), параметри закона замора, параметри закона трајне деформације и коефицијенти линеарне и запреминске термичке дилатације [6].

3.1. Модул крутости (E^*)

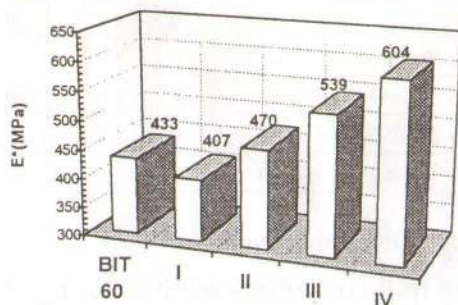
Модул крутости је одређен при различитим температурама и брзинама кретања возила. На слици 1 приказане су добијене вредности модула крутости асфалтних мешавина на 40°C у зависности од брзине кретања возила, а на слици 2, у облику блок дијаграма, отпорност асфалта на трајне деформације на температури од 40°C и при брзини кретања возила од 10 km/h. Са аспекта отпорности на трајне деформације пожељне су веће вредности модула крутости

Modul krutosti asfaltnih mešavina na 40°C u zavisnosti od brzine kretanja vozila



Слика 1. Зависност модула крутости асфалтних мешавина на 40°C од брзине кретања возила

Otpornost na trajne deformacije na 40°C i 10 km/h



Oznaka asfaltnih mešavina

Слика 2. Оtpорност асфалтних мешавина на трајне деформације на 40°C и 10 km/h

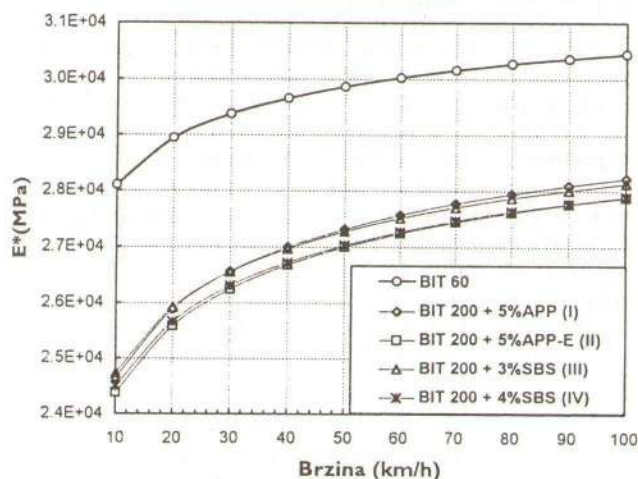
асфалтне мешавине при вишим температурама и мањим фреквенцијама оптерећења.

Као што се види са слика 1. и 2. највећи модул крутости на 40°C и при малим брзинама, односно највећу отпорност на трајне деформације су показале асфалтне мешавине са SBS-полимер-битуменом (узорци III и IV).

За отпорност на замор и појаву термичких пукотина пожељно је да модул крутости има мању вредност при ниским температурама и великим фреквенцијама саобраћајног оптерећења. На слици 3 су приказане вредности модула крутости асфалтних мешавина на -20°C у зависности од брзине кретања возила, а у блок дијаграму на слици 4 отпорност на замор при брзини возила од 100 km/h.

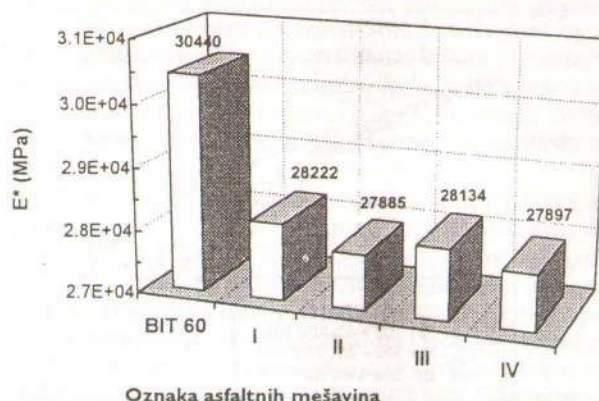
Као што се види са слика 3. и 4. асфалтне мешавине са полимер-битуменом имају већу отпорност на појаву пукотина услед замора, под деловањем саобраћајног оптерећења, од мешавина са битуменом BIT 60.

Modul krutosti asfaltnih mešavina na -20°C u zavisnosti od brzine kretanja vozila



Слика 3. Зависност модула крутости асфалтних мешавина на -20°C од брзине кретања возила

Otpornost na zamor na -20°C i 100 km/h



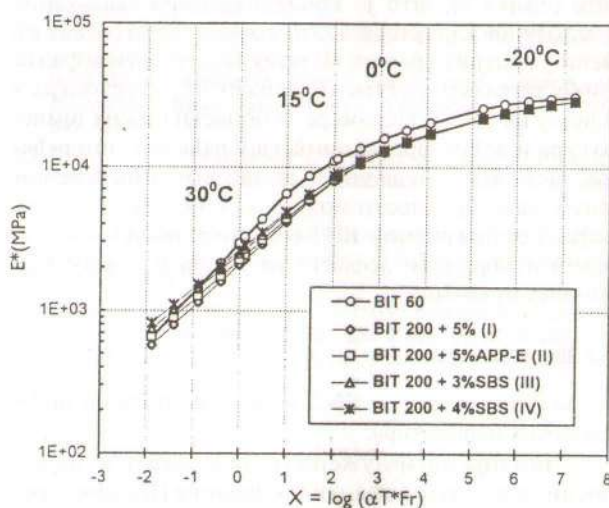
Слика 4. Оtpорност асфалта на замор на -20°C и при брзини од 100 km/h

3.2. Компоненте модула крутости (E₁, E₂)

Помоћу програма PRADO одређени су следећи реолошки параметри: еластични део (E₁), вискозни део модула (E₂), фазни угао између напона и деформације (δ) при различитим температурама (T) и фреквенцијама оптерећења (Fr).

Зависност модула крутости од фактора померања је главна ("master") крива за карактеризацију реолошког понашања асфалта у функцији температуре и трајања оптерећења (слика 5).

"Master"-krive asfaltnih mešavina



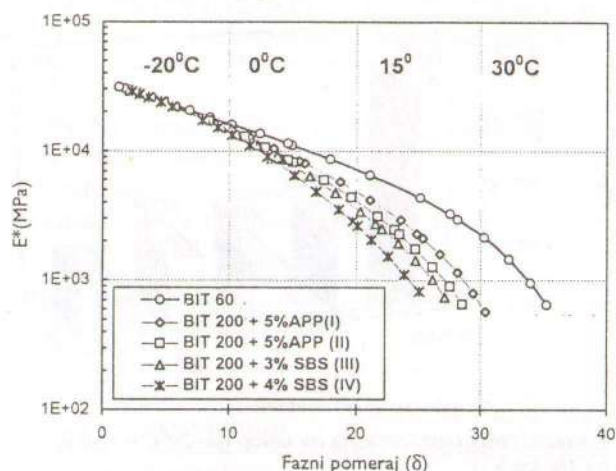
Слика 5. Зависност модула крутости асфалтних мешавина од промене фактора померања (X) у опсегу температура од -20° до 30°C

Фактор померања (X) је константа која обухвата енергију активације (H) за вискозно течење, температуру и трајање оптерећења.

$$\log a_T = \frac{\delta H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s} \right) \quad (1)$$

Реолошко понашање асфалта у зависности од промене температуре и трајања оптерећења може се анализирати и у облику "black"-дијаграма, где се

"Black"- dijagrami asfaltnih mešavina



Слика 6. Зависност модула крутости асфалтних мешавина од промене фазног угла (δ) у опсегу температура од -20° до 30°C

приказује модул крутости у функцији промене фазног угла (слика 6). Овакав начин приказивања има низ предности јер омогућава сумирање резултата испитивања у једну збирну криву независно од фреквенције и температуре.

Асфалтне мешавине са полимер-битуменом имају веће вредности модула крутости на вишим температурама и мањим фреквенцијама оптерећења у односу на асфалт са немодификованим битуменом (слика 5), што је последица више израженог еластичног карактера полимер-битумена (слика 6). Већи утицај на вредности модула крутости асфалта имају полимер-битумени на бази SBS-еластомера у односу на APP-пластомере. У области нижих температура и већих фреквенција саобраћајног оптерећења, асфалтне мешавине са полимер-битуменом имају мање вредности модула крутости у односу на асфалт са битуменом БИТ 60, што је повољно са аспекта отпорности асфалта на замор и појаву термичких пукотина.

3.3 Закон замора

Закон замора ($\epsilon = K N^{-a} \sigma_0$) је дефинисан помоћу следећих параметара:

- иницијално издужења (ϵ), које доводи до појаве прелина код дате асфалтне мешавине (K), при одређеној амплитуди примењеног напона (σ_0) после милион циклуса оптерећења ($N = 10^6$) и
- нагиба криве замора (a).

Помоћу ових података могуће је проценити отпорност асфалтне мешавине на појаву прелина под деловањем саобраћајног оптерећења. Са аспекта отпорности на замор пожељно је да дилатација при затезном оптерећењу буде што већа као и да нагиб криве замора буде што мањи.

Помоћу програма PRADO добијене су минималне разлике у вредности деформација код асфалтних мешавина са различитим полимер-битуменима (табела 2).

Табела 2. Вредности параметара криве замора

Узорак	Иницијално издужење (ϵ)	Нагиб криве (a)
БИТ 60	0.914×10^{-4}	0.207
БИТ 200 "Велебит" + 5%APP	0.910×10^{-4}	0.200
БИТ 200 "Велебит" + 5%APP-E	0.896×10^{-4}	0.198
БИТ 200 "Mol-Mix" + 3%SBS	0.900×10^{-4}	0.197
БИТ 200 "Mol-Mix" + 4%SBS	0.896×10^{-4}	0.195

3.4. Закон трајне деформације

Закон трајне (вискозне) деформације у опиту пузања дефинисан је следећом једначином:

$$\epsilon_{p(t,T,Fr)} = \frac{(S_v/2 - S_H)}{E_p(t,Fr)} \cdot t^B \quad (2)$$

где су:

- ϵ_p – трајна деформација
- S_v – вертикална сила
- S_H – хоризонтална сила
- t – време трајања оптерећења
- T – температура
- Fr – фреквенца оптерећења
- E_p – модул трајне деформације
- B – експериментални параметар (око 0.25)

Трајна деформација зависи од запреминске концентрације каменог скелета, модула крутости везива, концентрације шупљина у каменом скелету испуњених мастиком (филер+везиво), састава мастика и концентрације дробљеног песка у минералној мешавини. Одређивањем величине трајне деформације, помоћу овог програма, могуће је проценити отпорност асфалтне мешавине на појаву колотрага при различитим температурама и брзинама кретања возила. Са аспекта отпорности асфалтне мешавине на појаву колотрага пожељно је да трајна деформација буде што мања, а модул (E_p) што већи. На слици 2 већ су приказани модули асфалтних мешавина са различитим полимер-битуменима.

3.5. Коefицијенти линеарне (α_L) и запреминске термичке дилатације (α_V)

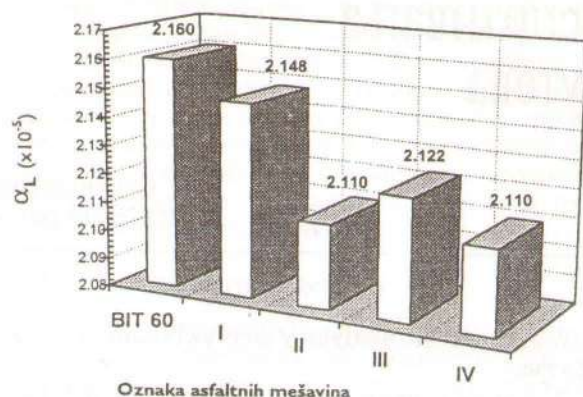
Отпорност асфалтне мешавине на појаву термичких пукотина могуће је проценити помоћу ових коefицијената. Асфалтне мешавине које имају мање коefицијенте термичке дилатације имају већу отпорност на појаву термичких пукотина.

На сликама 7. и 8 приказане су вредности коefицијената линеарне и запреминске дилатације асфалтних мешавина са различитим полимер-битуменима. Најмање коefицијенте дилатације имају асфалтне мешавине са 5% APP и 4% SBS, што указује на повећану отпорност асфалта на појаву пукотина на ниским температурама.

4. ЗАКЉУЧЦИ

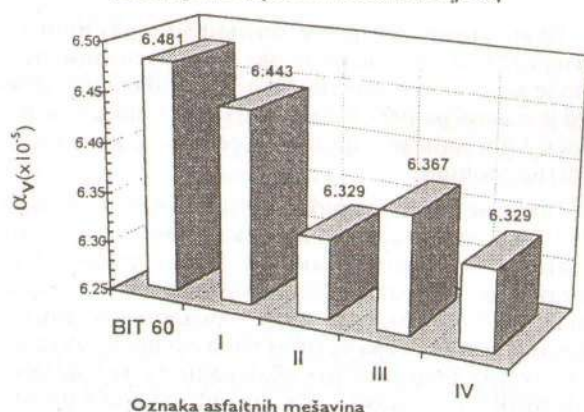
1. Применом компјутрског програма PRADO могуће је одредити реолошке параметре асфалтне мешавине унапред дефинисаног састава као што су: модул крутости, модул еластичности, вискозни мо-

Коefицијенти линеарне термичке дилатације α_L



Слика 7. Коefицијенти линеарне термичке дилатације асфалтних мешавина са различитим полимер-битуменима

Коefицијенти запреминске дилатације α_V



Слика 8. Коefицијенти запреминске термичке дилатације асфалтних мешавина са различитим полимер-битуменима

дул и фазни угао, затим параметре закона замора и закона трајне деформације као и коefицијенте термичке дилатације у опсегу температуре од -20°C до 30°C и фреквенција од 1 до 100 Hz. Ово је могуће јер су у програм уграђени алгоритми који су базирани на моделима за симулацију механичких карактеристика асфалтних мешавина, као што су: отпорност на трајне деформације, отпорност на замор и отпорност на термичке пукотине, а добијени су из бројних динамичких испитивања. Веома је значајно то што је могуће на релативно брз и једноставан начин доћи до вредних података за које је иначе потребна скупа лабораторијска опрема за динамичка испитивања.

2. На основу реолошких карактеристика асфалтних мешавина пројектованих према критеријумима из ЈУС-а У.Е4.014/90, одређених помоћу програма PRADO, показало се да асфалтне мешавине са полимер-битуменима имају повећану отпорност на трајне деформације (колотрази) на вишим температурама и мањима фреквенцијама оптерећења и повећану отпорност на појаву термичких пукотина и пукотина услед замора на нижим температурама и великим фреквенцијама саобраћајног оптерећења. Такође, показало се да приближно иста својства имају асфалтне мешавине са БИТ-200 + 5% АРР-Е (узорак II) и БИТ-200+3% SBS (узорак III), док су разлике највеће код мешавина са полимер-битуменом на бази 5% АРР (узорак I) и 4% SBS (узорак IV).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] И. Пан, М. Смиљанић, П. Родих, М. Делари, The Viscoelastic Properties of Modified Bitumen Based on APP-and SBS-polymers, III International Conference "Durable and Safe Road Pavements", Kielce-Poland, May 1997.
- [2] C. Robertus, E. A. Mulder, R. C. Koole, SBS-Modified Bitumen for Heavy Duty Asphalt Pavements, II International Conference on Roads and Airfield Pavement Technology, Singapore, September 1995.
- [3] И. Пан, М. Смиљанић, Yugoslav Experience in the Production and Application of Polymer Bitumens for Hot and Cold Asphalt Mixes, II National Conference on Asphaltic Mixtures and Pavements, Thessaloniki - Greece, Proceedings, April 1996, 341-357.
- [4] L. Francken, Formulation D'Enrobes Bitumeneux PRADO (version F3.95), Centre de Recherches routieres, Bruxelles, Décembre 1995.
- [5] "Code de bonne pratique pour la formulation des enrobes bitumineux denses" Recommandations of Belgian road Recherche Centre R 61/87.
- [6] L. Francken, A. Vanelstraete, Relation between Mix Stiffness and Binder Complex Modulus, The Rheology of Bituminous Binders, European Workshop, Brussels, April 1995.

Нови материјали, поступци и испитивања у области текућег одржавања путева

Мр Миодраг Јоцић, дипл. инж. грађ.
Мр Јованка Ђуран, дипл. инж. грађ.
Институт за путеве, д.д., Београд

Стручни рад
УДК 625.765.001.5

РЕЗИМЕ

У оквиру SHRP-а (The Strategic Highway Research Program) у току је пројекат Н-106 који се бави анализом трошкова – добити у вези с материјалима, опремом и поступцима коришћеним код уобичајених активности одржавања коловоза као што су: поправка ударних рупа у асфалтним засторима, поправка пукотина (за-ливање и испуна) у асфалтним засторима, поновна испуна спојница код цемент-бетонских коловозних застора и поправка оштећених површина код цемент-бетонских застора. Пројектом су предвиђене и изграђене опитне деонице са сва четири вида активности одржавања, широм САД-а и Канаде. Од података прикупљених у току формирања опитних деоница као и података о настанку и развоју оштећења у току посматраног периода, састављена је обимна банка података у оквиру поменутог пројекта о одржавању путне мреже.

Подаци на основу осматрања понашања опитних деоница у наредном периоду биће прикупљени у оквиру предстојећег пројекта Државне институције за путеве (FHWA), а у овом тексту, представљене су анализе резултата добијених с терена и из лабораторије на основу 18-то месечног периода осматрања опитних деоница, за флексибилне коловозне конструкције са асфалтним застором.

I. ОПШТИ ДЕО

У САД се сваке године потроши неколико стотина милиона долара на одржавање коловоза тј. оспособљавање за саобраћај приближно 6,4 милиона километара саобраћајница. Активности одржавања путева могу бити такве да омогућавају одређени ниво услуге, или да спрече будуће пропадање коловозних застора. Активности одржавања путева могу се оријентисати на поступке спречавања повећања обима оштећења све док инвестициони фондови не постану довољни за потребну рехабилитацију саобраћајница. Да би се побољшали економски ефекти тих активности, организације и екипе за одржавање путева, константно теже унапређењу материјала и поступака који се користе за одржавање саобраћајница.

SHRP-ов пројекат Н-106, изведен да дефинише нове материјале, поступке и опрему, има велике могућности да унапреди квалитет свакодневних активности на одржавању путева.

Предмет ове студије био је да се размотре материјали, поступци и опрема, оцене њихова својства а затим изврши анализа трошкова и добити за разли-

чите активности, имајући у виду актуелне теренске услове.

У тексту је представљен општи део SHRP-овог пројекта Н-106 који се односи на флексибилне коловозне конструкције са асфалтним застором.

II. УТВРЂИВАЊЕ ОПИТНИХ ДЕОНИЦА

Први корак припреме оцењивања различитих материјала и поступака за два вида експеримената био је да се утврде опитне деонице. Тај процес започео је новембра 1990. Разматрана је 141 локација широм САД и Канаде, с циљем да се одреде коначне 22 опитне деонице.

Почетне информације, прикупљене у оквиру SHRP-а, садржавале су податке о потенцијалним опитним деоницама. Свако надлежно државно Министарство саобраћаја (State Department of Transportation – DOT) слало је своје предлоге за опитне деонице у вези са сва четири типа експеримента. На основу тих информација обављени су телефонски контакти – разговори са сваким надлежним министарством са циљем да се одреде локације које заврешују инспекцију.

На основу обављених разговора и обилазака терена, формиране су основне датотеке које садрже локацију пута на коме су вршени експерименти, обим експеримента, ниво саобраћаја, старост коловозне конструкције, попречни пресек коловозне конструкције, ниво оштећења, историјат поправки и уједначеност оштећења, геометријске карактеристике пута и климатске услове при којима су подаци сакупљани. Ови подаци коришћени су при оцењивању погодности предложених деоница да постану опитне, оценом од 0 до 100.

II.1. Израда опитних деоница

Положаји локација опитних деоница за два типа експеримената, као и подела на четири климатске области, најпре су дефинисане у оквиру SHRP-овог програма истраживања дугорочних перформанси коловоза LTPP (Long Term Pavement Performance), а усвојене су и за овај пројекат. У току израде опитних деоница, од марта 1991. до фебруара 1992. године, објављено је 1250 поправки ударних рупа и санирано је око 6.700 m пукотина. Током поправки односно санација ангажовано је 15 екипа државних институција за саобраћај, екипа из једне канадске провинције и екипа из једне градске установе за јавне радове.

Подаци који су прикупљани за време израде сваке опитне деонице садрже информације о димензијама и локацији саниране површине, климатским условима за време поправке, времену потребном да се обави поправка, опреми потребној за поправку, затим о величини и саставу екипе која је потребна да се радови обаве коректно. Укупни трошкови санације оштећења добијени су сабирањем трошкова материјала, трошкова ангажовања опреме и трошкова лабораторијског испитивања.

II.2. Оцена стања опитних деоница

За време овог пројекта, на 22 опитне деонице обављено је 108 поступака оцењивања стања у функцији времена. Обављене процене стања омогућиле су праћење развоја оштећења од тренутка формирања опитне деонице. Сакупљене су информације о развоју оштећења како на санираним површинама које су још увек биле употребљиве тако и на оним санираним површинама које више нису биле у употребљивом стању.

III. ПЛАН ЕКСПЕРИМЕНТА

Овај пројекат осмишљен је тако да се могу директно поредити различити типови поправки обављени на свим опитним деоницама. Следи саже-ти приказ оригиналних планова за сваки тип експеримента посебно.

III.1. Поправка ударних рупа

Експеримент са опитним деоницама санираних ударних рупа обављен је с циљем да омогући оцену карактеристика различитих материјала за поправке и поступак рада с гледишта више чинилаца, као што су:

- клима;
- тип коловозне конструкције;
- материјал за поправку;
- поступци поправки.

Опитне деонице су лоциране у све четири климатске области с циљем да се истражи утицај климе на понашање санираних површина.

Тип коловозне конструкције у овом пројекту је: флексибилни горњи носећи слојеви од асфалтних мешавина по врућем поступку (НМАС) изнад тампона или постелице и комбиновани горњи носећи слојеви (полукрута коловозна конструкција).

Подаци о комбинацијама коришћених материјала и поступака у оквиру пројекта Н-106, су објављени и познати. Као контролна комбинација на свим опитним деоницама коришћена је хладна асфалтна мешавина посебних својстава.

Поправка оштећења с контролном комбинацијом материјала и поступка обављена је у наизменичном распореду са свим осталим комбинацијама тако да се свакодневна активност на санацији оштећења могла састојати од 10 контролних и 10 осталих експерименталних комбинација материјала и поступака.

Овакав распоред омогућава директно поређење контролних и експериментално санираних оштећења, тј. не допушта разноликост утицајних фактора као што су температура, саобраћај или време

уграђивања. У идеалном случају, требало је разматрати уградњу свих коришћених материјала са свим предвиђеним поступцима. Разматрајући буџетске могућности, а на инсистирање институција које су учествовале, да се ограничи број санираних површина, одлучено је да се само један материјал, хладна маса посебних својстава, може користити у комбинацији – поређењу са свим примењеним поступцима. Такав приступ омогућава поређење између три поступка и допушта процену својстава свих коришћених материјала уграђених најгрубљим поступком – по систему "бази масу и увалај".

III.2. Санација пукотина

Циљ експеримента санације пукотина био је да се омене карактеристике различитих материјала за заливање и/или испуну пукотина с гледишта више чинилаца, као што су:

- клима;
- саобраћај;
- временски услови за време поступка заливања;
- тип материјала;
- конфигурација, тј. облик у који се маса заиспуну убацује;
- припрема пукотина.

Опитне деонице лоциране су у сва четири климатска региона с циљем да се истражи утицај климе на карактеристике поправки. Ниво саобраћаја подељен је у три категорије: саобраћајни ток у спољној траци, унутрашњој траци (транзитној) и на зауставним тракама. Временски услови за време израде опитних деоница, категорисани су као идеални или супротни томе.

Примењено је 6 комбинација различитих поступака и материјала, чије су конфигурације и ознаке дате по абecedном реду и одговарају следећем:

- A Жљебање и испуна (19 mm x 19 mm);
- B Жљебање и профил за заптивање (19 mm x 19 mm);
- C Жљебање и профил за заптивање (38 mm x 5 mm);
- D Профил за заптивање без жљебања;
- E Жљебање/Гестерисање и удубљивање (13 mm x 13 mm или 19 mm x 19 mm);
- F Испуна без жљебања.

Испуњавању пукотина претходило је пет видова припрема чије ознаке одговарају следећем:

1. Употреба шприцаљке с топлим ваздухом под притиском
2. Употреба жичане четке са ваздухом под притиском
3. Ваздух под притиском и профил за заптивање ("backer rod"),
4. Ваздух под притиском;
5. Ништа.

На опитним деоницама рађене су две целине од по 10 узастопних санација пукотина. У оквиру једне целине рађени су парови са свим комбинацијама материјала и конфигурације; у оквиру друге целине рађени су такође парови са свим комбинацијама материјал-поступак у истом поретку као код прве целине.

IV. ПЛАН ОЦЕЊИВАЊА

Одмах по изградњи опитне деонице, отпочињао је процес оцењивања понашања санираних оштећења. План оцењивања спроводио се у два правца: процена понашања на терену и оцена резултата лабораторијског испитивања. Подаци о понашању на терену подељени су на две основне области: трајност санираних површина и развој оштећења у току времена.

Подаци о трајности санираних оштећења коришћени су у анализи трошкова и добити за сваку комбинацију коришћених материјала и поступака и то при различитим околностима, што доносиоцима одлука може помоћи око избора рационалне комбинације за сваки локалитет.

Подаци о развоју оштећења у комбинацији са резултатима лабораторијских испитивања коришћени су за одређивање својстава материјала која имају највећи утицај на понашање поправки на терену.

У оквиру SHRP-ове Н-106 студије, идентификовани су почетни типови оштећења и узроци њиховог настајања код оба типа експеримента.

За оба типа експерименталног осматрања на терену, одређени су типови и интензитети оштећења.

Описи типова и интензитета оштећења дати су у следећем тексту.

IV.1. Поправка оштећења типа ударних рупа

Четири основна типа оштећења на основу којих је оцењено стање санираних површина су:

- Набирање – Деформисање материјала уграђеног у санирану површину настаје услед дејства саобраћаја. Појава набора може бити резултат вишка везива или сувише ниског вискозитета везива употребљеног у региону с топлим климом;

- Сегрегација – Испадњање зрна агрегата из уграђене масе за испуну резултат је недовољне кохезије мешавине. Сегрегација може такође настати и због вишка финих минералних честица у битуменском марту, скидања везива са површине зрна агрегата, неодогавајуће прионљивости агрегата и везива или слабе збијености;

- Улегнућа – Настанак улегнућа унутар саниране површине зависи од збијања под дејством саобраћаја. Улегнућа могу бити такође резултат неоодогавајућег збијања при уграђивању или нестабилности мешавине;

- Одвајање уграђене масе – Одвајање настаје услед губитка адхезије због заостале воде или нечистоћа приликом полагања масе за испуну у припремљену ударну рупу.

У пројекту, санирана површина на којој се поново појавила ударна рупа, третирана је као пропала, и спремна за поновну санацију.

IV.2. Санација пукотина

Проблеми који настају на опитним деоницама са санираним пукотинама, подељени су у четири основне групе:

- Недостаци материјала за испуну – неоодогавајућа кохезија и адхезија су два основна проблема. Мањак адхезије се јавља услед губитка веза матери-

јала за испуну и околног асфалтног застора. Губитак кохезије настаје када затезна чврстоћа материјала за испуну није довољна да се одупре ширењу пукотина.

- Недостаци коловозног застора – стварање прскотина и распадање застора дуж ивица пукотина основни су видови оштећења застора.

- Запуњавање пукотина минералним материјалом – упадање слободног материјала с површине застора у жлеб пукотине обично настаје при хладнијем времену, када су пукотине најотвореније. Међутим, оштећења у пукотинама не настају све до тренутка кад одпочне скупљање пукотина при топлијем времену; тада настаје круњење и стварање прелина.

- Од других оштећења, најчешћа су она, настала извлачењем масе за заливање на површину застора услед дејства саобраћаја, ефектом вакуума, затим појава кљобучања када се уграђује топла маса по кишовитом времену и појава старења које се приписује природним процесима (климатски утицаји у виду ултравиолетног зрачења, отврдњавање материјала, итд.).

Оштећење се сматра критичним од момента када санирана пукотина почне да пропушта воду с површине застора у дубље слојева коловозне конструкције.

V. ЛАБОРАТОРИЈСКА ИСПИТИВАЊА

У оквиру пројекта Н-106, за оба вида експеримента планиран је посебан скуп лабораторијских испитивања с циљем да се одреде карактеристике материјала коришћених за поправке оштећења. Испитивања су обављена углавном према широком спектру ASTM стандарда.

Резултати лабораторијских испитивања коришћени су у комбинацији са подацима о понашању, с циљем да се одреди која својства су од кључног утицаја за постизање добрих карактеристика материјала на терену. Дефинисање тих жељених својстава материјала омогућиће формулисање нових кориснијих спецификација које ће помагати при избору најбољег материјала за поправку оштећења.

Такође је од користи проучавање материјала са slabим својствима и у таквим случајевима спецификације ће спречавати употребу некавалитетних материјала за поправке.

VI. ЗАКЉУЧАК

Основни циљ овог пројекта био је проналажење одговора на питање која комбинација коришћених материјала и поступака за оба типа експеримента даје најбоље резултате под различитим условима климе и саобраћаја.

SHRP-ов пројект Н-106 је најамбициознији експеримент у области одржавања путева, икада обављен. Могуће користи (дефинисане анализом трошкови – добит) које могу имати институције које се баве одржавањем као и учесници у саобраћају, су неизмерне. Комплетирани информације прикупљене у току овог пројекта, представљаће значај-

но унапређење технологије свакодневних активности на одржавању путне мреже.

Низак проценат оштећења после 18 месеци осматрања код оба типа експеримента, приписује се чињеници да су материјали и поступци за овај пројекат бирани селективно. SHRP-ов пројект Н-106 дефинисао је већину материјала и поступака коришћених за различите активности одржавања укључене у овај пројект.

Други чинилац који је утицао на квалитет поправки оштећења у оквиру овог пројекта је тај што је посебно вођено рачуна о поступцима уграђивања и квалитету екипа које су тај посао обављале.

VI.1. Запажања по обављеном експерименту

Поправке ударних рупа

Користећи податке сакупљене за време израде опитних деоница, лабораторијских испитивања, праћење понашања санираних површина у току 18 месечног периода, дошло се до следећих запажања:

- Метода уграђивања по систему "баци масу и уваљај" најпогоднија је за поправку ударних рупа, нарочито при лошим временским условима. Ако се користе хладне масе доброг квалитета попут оних укључених у пројект, постижу се добри резултати код овог вида санација.

- Када се пореде трошкови поступака "крпљења" ударних рупа, требало би узети у разматрање и њихово понашање у току времена, тј. експлоатациони век. У већини случајева, почетни трошкови по тони купљеног материјала безначајни су у поређењу с трошковима лабораторијске опреме и ометања учесника у саобраћају. Употреба некавалитетних материјала додатно увећава трошкове учесника лабораторије, опреме и ометања учесника јер се у великом броју случајева јављају поново оштећења на истом месту, која треба санирати.

- Опрема за убризгавање млазом масе за испуну оштећене површине погодна је, под условом да се користе високо квалитетни и сагласни минерални материјали и везива. Учинак поменуте опреме ограничен је како квалитетом коришћених материјала тако и степеном обучености руковођаца опремом.

- Прекомерна влажност ваздуха и ниске температуре могу отежати стабилизацију материјала за испуну ударних рупа, увећавајући изгледе (нарочито у првих неколико недеља) саниране површине да брзо пропадне.

- Операцију "крпљења" ударних рупа у зимском периоду треба ограничити на поступак "баци масу и уваљај" или на поступку убризгавања у млазу масе за испуну, да би се умањило време које радници на уграђивању проводе на саобраћајници, што смањује ризик како за екипе на одржавању тако и за учеснике у саобраћају.

- На три од осам посматраних опитних деоница локални материјали који су коришћени за санацију показали су се знатно лошијим од оних коришћених у експерименту. Радило се о сегрегирању материјала, а оштећење се развијало практично од првог дана.

- После 18 месеци осматрања само три материјала од свих коришћених у експерименту исказала су знатно слабије карактеристике трајности. Недостатак података о понашању на терену није омогућио нарочито добру корелацију између лабораторијских података о својствима материјала и понашању у експлоатацији.

Предвиђа се да ће сакупљање података у будућности показати више различитости понашања на терену што повлачи разноврснија лабораторијска испитивања, а и вероватно другачије закључке.

Затварање пукотина

На основу информација прикупљених и анализираних у току 18 месечног осматрања опитних деоница изведени су следећи закључци:

- Приближно 18 месеци после израде опитних деоница, већина санираних пукотина понашала се врло добро. Од 82 уобичајена третмана (маса за заливање и пунило), 64 исказују мање од 10% оштећења. Свих осам третмана с пунилом исказују мање од 2% оштећења.

- Облик "резервоарског типа" у који се полаже маса са комплетном испуном или преко профила за заптивање, омогућава боље краткорочне карактеристике него обичан облик са заштитном траком. Међутим, од кључног значаја је могућност опреме за обликовање (раоници и тестере) да блиско следи правац пружања пукотине која се обрађује, уз минимално оштећење ивица.

- Стандардно удубљен облик са уметнутим профилем за заптивање (конфигурација В) исказује нешто боље краткорочно понашање у односу на широко жљебан облик са убаченим профилем за заптивање (конфигурација С). Међутим, шире жљебање у комбинацији са конфигурацијом С омогућава опреми за обликовање да присније следи правац пружања пукотина, што резултира мањом количином ослабљених сегмената.

- Специјална маса – самонивелишући силикон DOW 890-SL уграђује се у облик који не сме бити плићи од 6,4 mm да се маса у току стабилизације не извуче на површину застора услед дејства пнеуматика.

- Маса за испуну на бази битумених емулзија омогућавају задовољавајуће карактеристике, код пукотина са малим дилатацијама. Препоручује се засипање песком, на крају третмана и код средњих и широких пукотина, да би се спречила појава извлачења масе услед дејства саобраћаја, посебно у летњим условима.

- Асфалтне масе с додатком влакана уграђене у обичан облик с уметнутим профилем за заптивање не омогућавају добро дугорочно понашање код пукотина са значајним дилатацијама (> 1,3 mm). Уз то, овај материјал омогућава бољу попуњеност пукотине у поређењу са асфалтним масама са додатком гумених влакана, што утиче на експлоатациони век санације.

- Карактеристике попречних пукотина санираних масом за заливање, са становишта попуњености пукотине, губитка кохезије и ивичних оштећења, значајно су слабије на површинама где је саобраћај-

ни ток каналисан, у односу на средишње и ивичне површине коловозног застора.

Када је у питању губитак адхезије, положај попречне пукотине на површини застора није од утицаја.

– Асфалтне масе ниског модула, са додатком гумених влакана поседују могућност бољег прилагођавања од стандардних асфалтних маса са додатком гуме. Такође, тање траке од маса за испуну често исказују веће губитке кохезије и адхезије када су дилатације пукотина шире.

VII. ПРЕПОРУКЕ

SHRP–ов пројект са ознаком H–106 сматра се првим великим кораком у правцу унапређења нивоа свакодневних активности одржавања путева. Иако је учињен знатан напредак, постоји још доста простора за даље унапређење методологије одржавања. У вези даљег унапређења нивоа активности одржавања по пројекту H–106, дате су неке опште препоруке:

● Наставак осматрања санираних површина

Инвестирање у вези с изградњом опитних деоница треба наставити због продужетка осматрања санираних површина, што ће пружити још одговора на многа питања.

● Формирање регионалних центара за испитивање, због наставка истраживања

Иако је SHRP–ов пројект са ознаком H–106 помешан са задатком да дефинише материјале и поступке

који највише обећавају, многи материјали и поступци који то заслужују, нису испитивани. Формирањем регионалних центара, многи материјали који се појављују на тржишту и нови поступци биће укључивани у истраживања ради примене у свакодневним активностима одржавања. Наставак испитивања ће такође унапредити и критеријуме за оцењивање материјала и поступака с гледишта трошкова и добити.

● Саопштавање резултата истраживања

Подаци прикупљени SHRP–овим програмом доносе уштеде путној привреди једино ако појединачни доносиоци одлука на локалним нивоима буду с њима упознати. Ширење нових сазнања до државних институција (министарства за саобраћај и транспорт) и градских дирекција за путеве, омогућиће уштеду стотина милиона долара годишње.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lynn, D. E. et al.: Inovative Materials Development and Testing – Volume 1: Project Overview, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC 1993.
- [2] Smith, K. L. et al.: Inovative Materials and Equipment for Pavement Surface Repairs – Final Report, Strategic Highway Research Program, Contract No. SHRP–M/UFR–91–504.
- [3] Evans, L. D. et al.: SHRP H–106–Experimental Design and Research Plan, Strategic Highway Research Program, Contract No. SHRP–89–H–106, February 1991, revised October 1991.
- [4] Evans, L. D. et al.: SHRP–H–106–Evaluation and Analysis Plan, Strategic Highway Research Program, Contract No. SHRP–89–H–106, February 1991, revised September 1991. and February 1992.

Историјат примене природних асфалта као грађевинског материјала од преисторије до почетка XX века

Проф. др Душан Светел
Институт за путеве д.д. Београд

Прегледни рад
УДК 691.16.004.14"63/65"

РЕЗИМЕ

У раду је приказана примена природног асфалта у преисторијско доба, када је наш предак пре 40.000 година користио и прерађивао природни асфалт, додуше не као грађевински материјал већ код израде оруђа.

Прва примена природног асфалта, као грађевинског материјала била је код грађења Вавилонске куле и асфалтног пута у Вавилону, 3.500 и 2.000 година пре И.Х. Сем приказа ових објеката дат је и опис обалног зида у Assur грађеног у исто време. У нововавилонском добу, око 700. година пре И.Х. извршена је реконструкција овог обалног зида и уграђени подови у храмовима Nabopalasse-a и богиње Ishtar, као и путеви у Вавилону и Assur. Сем описа ових конструкција дати су и први писани документи о примени природног асфалта и особинама природног битумена, око 70. година после И.Х.

У Средњем веку природни асфалт се није користио у грађевинарству, већ у друге сврхе и у мањем опсегу.

У Новом веку откривено је асфалтно језеро на острву Тринидад и више налазишта асфалтних стена, тако да је започела шира примена природног асфалта у грађењу путева.

УВОД

Већ у преисторијско доба, 40.000 година пре И.Х., наш први предак, Homo Sapiens, не само да је користио природни асфалт, већ га је и прерађивао. Додуше не као грађевински материјал, већ као везиво – лепак код израде оруђа.

Природни асфалт се као грађевински материјал употребљавао пре више хиљада година и његова одлична својства била су позната већ Вавилонцима и Асирцима, па и ранијим културама. Чак и примена природног асфалта за коловозе била је позната пре више од 4.000 година – најстарији асфалтни пут у свету изграђен је у Вавилону око 2.000 године пре И.Х. Вавилонска кула код које је природни асфалт био коришћен као малтер, подигнута је један миленијум раније. Као хидроизолациони материјал природни асфалт примењује се већ око 6 миленијума.

На подручју Европе и Средњег истока примена природних асфалта престала је у Средњем веку и искуства у погледу његове примене скоро су потпуно заборављена. Природни асфалт и битумен су коришћени само у магији и делимично у квамедицини.

Почетком XIX века поново се почело са употребом природног асфалта у грађењу путева и грађевинарству и његова примена се све више ширила све до данашњег дана.

нарству и његова примена се све више ширила све до данашњег дана.

ПРИМЕНА ПРИРОДНОГ АСФАЛТА У ПРЕИСТОРИЈСКО ДОБА

Најстарији нама познати грађевински објекти, код којих се као везиво употребио природни асфалт, су Вавилонска кула, саграђена око 3.500 године пре И.Х. и асфалтни пут у Вавилону изграђен око 2.000 године пре И.Х.

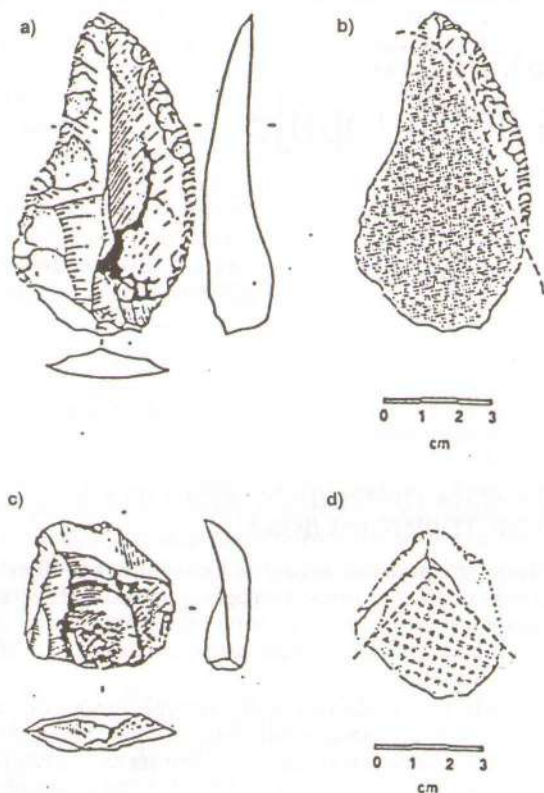
Нађене су такође разне скулптуре, оруђа, оружја итд. код којих се природни асфалт користио као везиво, лепак, намаз или премаз. Ови налази датирају такође око 3500 године пре И.Х. Међутим, преисторијско доба, односно доба од када немамо никаквих писаних или других сличних података, рачуна се раније од 5500 година пре И.Х.

До скоро најстарији налаз, кога је описао Verthoven [1], [2] и код кога је примењен природни асфалт, датира од 6.300 године пре И.Х. (налазиште код Tell Sabi Abyad-a) и између 8.200. и 7.500. година пре И.Х. (налазиште код Netiv Hagdud-a у близини Мртвог мора.

Међутим, Eric Boëda са Универзитета у Паризу, - Jacques Connant и Daniel Dessort из предузећа ELF Aquitaine из Париза, Sultan Muhesen из Министарства за културу у Дамаску – Сирија и Norbert Mercier, Hélène Valladas и Nadine Tisnérat из Центра за радиоактивност у Gif-sur-Yvette у Француској [2] дошли су до сензационалног открића, да је наш предак у средњем палеолитском добу не само користио, већ и прерађивао природни битумен за своје потребе.

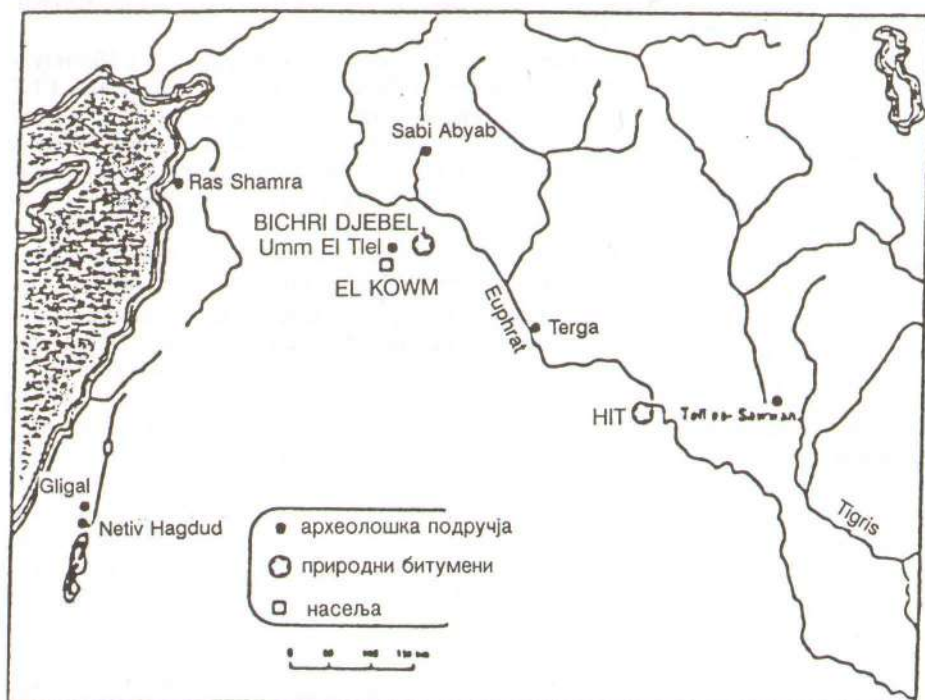
Треба да занемаримо податак да су Meri и Luis Liki [3] пронашли оруђе у клисури Olduvai у Танзанији чија је старост процењена на 1,8 милиона година да је, Klerk Houvel са Универзитета у Берклију пронашао оруђе у Етиопији, старо 2,3 милиона година а Sileši Semov на граници Етиопије и Кеније оруђе старо 2,5 милиона година [4]. Слажемо се са Bernad Wud-ом са Ливерпулског универзитета да поменуте алатке нису правили или користили директни преци данашњих људи [4]. Уопште сва бића која су личила на мајмуне или људе и која су живела пре 200.000 година изумрла су и нису наши претци.

Најстарији наш предак је Homo Sapiens који се појавио око 40.000 година пре Христа. Boëda и сарадници [2] су утврдили да је тај наш најстарији предак користио и прерађивао природни битумен за своје потребе.



Слика 1. Камени клинови са површинама природног битумена

Воџда и сарадници су у слојевима који одговарају левалоазјенској палеолитској култури, односно



Слика 2. Места где су откривени камени клинови са траговима природног битумена и места одакле су узети узорци природног битумена

ближе, мустерјенској култури, која одговара средње палеолитском добу, нашли два обрађена клина приказана на слици 1 на којима су се налазиле црне површине. Претпоставили су да су то остаци природног битумена који је служио као средство за повезивање каменог клина са дрвеном облогом. На слици 1–6 приказано је како је вероватно тај клин изгледао и да је био по целој површини залепљен природним битуменом са дрвеном облогом, сем оштре ивице са стране, ширине 1 cm.

Камени клинови нађени су у Umm el Tiel-у у Сирији. За упоредно испитивање трагова битумена на површини клинова, узети су узорци природног битумена из Abu Gir-a у околини Bichri Djebel-a у Сирији и из Hit-a поред реке Еуфрат у Ираку, (слика 2).

Извршена су детаљна испитивања старости слоја и утврђено је да износи око 40.000 година. Извршена су најсавременија детаљна испитивања трагова битумена на каменим клиновима и између осталог гас хроматографском масеном спектроскопијом.

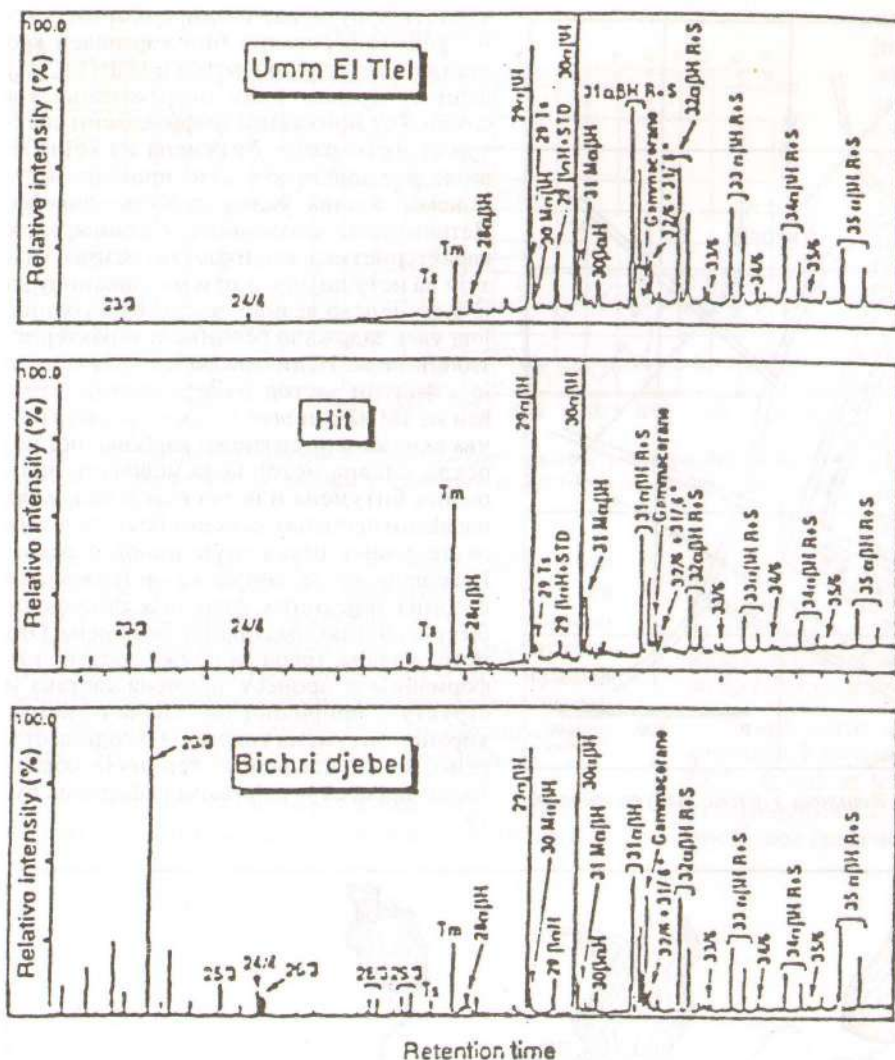
На слици 3 приказани су резултати ГЦ-МС анализе издвојених C_{15} алкана и C_{15} аромата из природног асфалта који се налазио на каменим клиновима и природних асфалта из поменута два налазишта.

На слици 3 приказани су резултати истраживања, из којих се може утврдити садржај појединих органских једињења у испитиваним узорцима. Резултате приказујемо у оригиналној верзији, без детаљног разматрања хемизма. Поједини пикови указују на присуство одређених једињења и група једињења. Може се закључити да природни асфалт, који је нашим прецима пре 40.000 година служио за лепљење дрвене облоге за камене клинове, одговара

природним асфалтима са оба налазишта, с тим што је претрпео промене услед процеса старења и других утицаја.

Оно што је најбитније у овим истраживањима је чињеница да промене које су настале на природном битумену током 40.000 година нису настале само услед процеса старења, него су узроковане и услед излагања природног битумена екстремно високим температурама, што се закључује из чињенице да је у њима нађен садржај флуорантена и пирена.

Значи, наш предак је пре 40.000 година, када се и појавио, на неки начин загревао битумен како би га довео на потребну конзистенцију, што указује на чињеницу да је био паметнији и интелигентнији но што се до сада мислило.



Слика 3. ГЦ-МС анализа C_{15} алкана и C_{15} аромата издвојених из природних асфалта са каменог клина и два налазишта

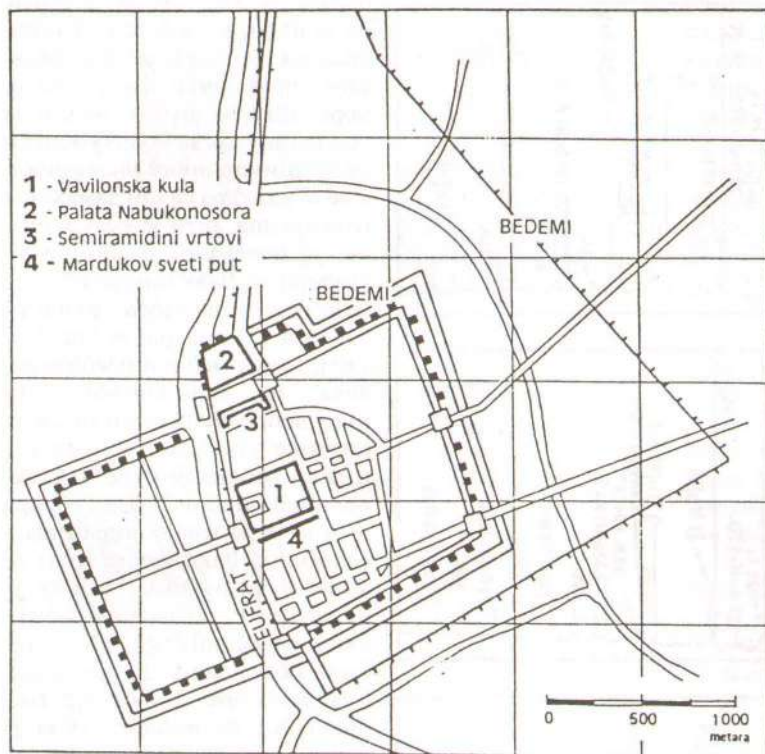
ПРИМЕНА ПРИРОДНОГ АСФАЛТА У СТАРОМ ВЕКУ

Најстарија нама позната грађевина, код које се за повезивање цигала користио малтер на бази природног асфалта је несумњиво Вавилонска кула. "Породице синова Нојевих рекоше међу собом: Хајде да правим плоче и да их у ватри печемо. И бјеху им опеке мјесто камена и смола земљана мјесто креча" [5]. Тако пише у Библији и тако је и било. 3.500 године пре И.Х. У то доба у старим градовима Уру, Еуриду, Вавилону и другим, за изградњу бедема, кула, стамбених насеља и других грађевинских објеката, користиле су се такозване "плано-конвексне" цигле, димензије 10 x 40 x 40 cm, које су имале само једну равну површину, док је горња површина била неравна, а остале димензије променљиве. Температура на којој су цигле печене кретала се од 550 до 600°C. Цигле су, према томе, биле порозне и неједнаких димензија. Из тог разлога су фуге између цигала биле дебљине између 3 и 6 cm, услед чега су грађевине имале смањену стабилност [6]. С друге

стране, с обзиром да су цигле биле порозне, дошло је до упијања малтенске и смолене фракције природног битумена у поре цигала, што је имало за последицу то да је битуменски малтер имао вишу вискозност, а веза малтера са циглама била изванредна, што је резултирало у повећаној стабилности грађевина. Вавилонска кула се међутим више пута рушила. Paulman [7] сматра да "пројектант, инвеститор и извођач радова" на Вавилонској кули нису добро проценили карактеристике уграђеног материјала и да су димензије куле биле непропорционалне, без обзира што је кула имала пирамидални облик. Вавилонска кула се више пута рушила, или су је рушили. У доба Хамурабија, око 2.000 године пре И.Х. она је била обновљена. За време Набукодоносора II (605-562 год. пре И.Х.) Вавилонска кула је била опет из основа обновљена. Била је то импозантна грађевина, висока око 90 метара, на исто толико широј квадратној основи. Кула је могла да има седам спратова и за њено грађење је било потребно око 85 милиона опека. Вавилонска кула – кула Етаменаки, је споља била обложена модрим глеђосаним плочама и златом. Ову кулу је Ксеркс разорио готово до темеља. Александар Велики је хео да поново сагради ову кулу, али га је рана смрт у томе спречила [8]. На слици 4 је приказан план реконструкције града Вавилона у време Набукодоносора, са Вавилонском кулом.

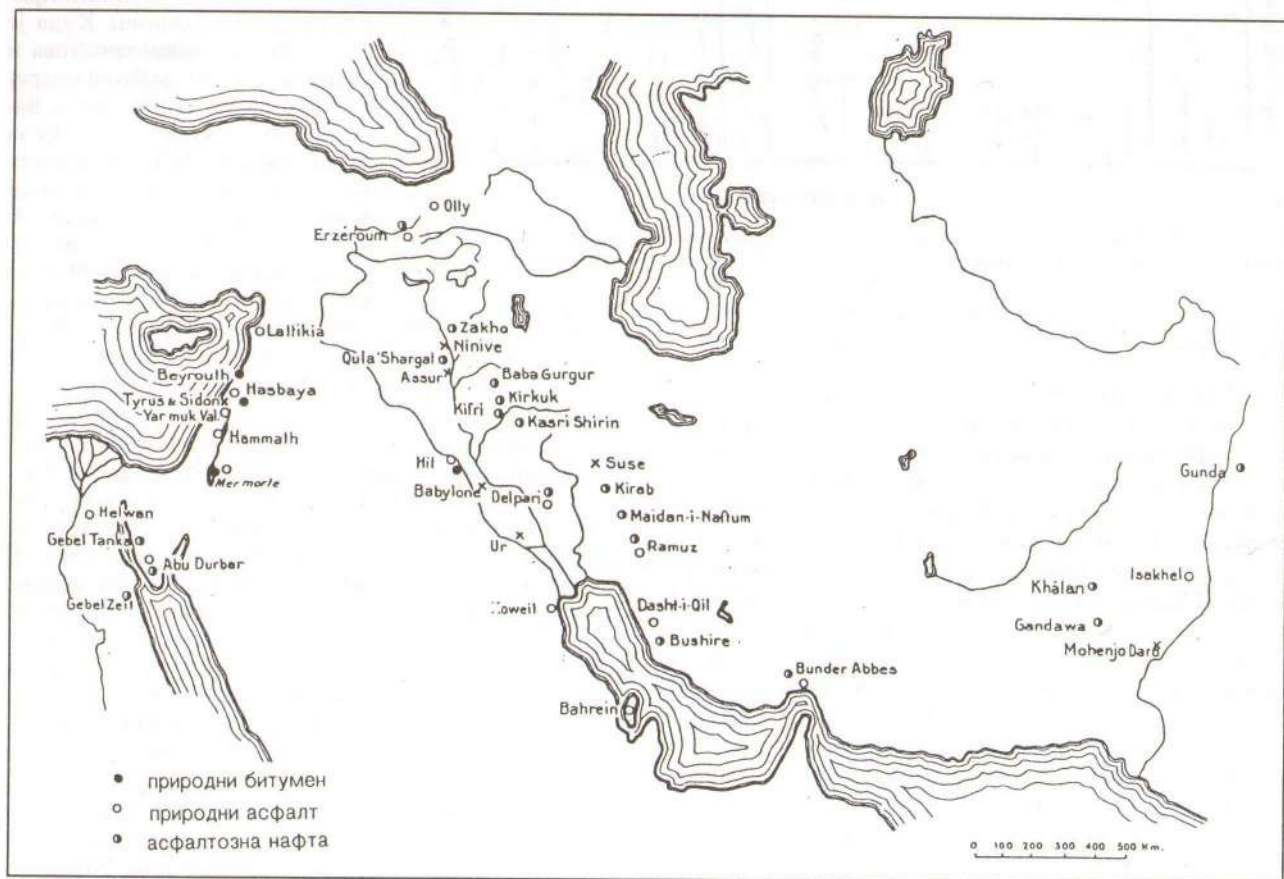
У Месопотамији су се на много места налазиле појаве природног асфалта и природног битумена. На слици 5 приказана су налазишта природног асфалта, природног битумена и асфалтозне нафте на подручју Средњег истока. Природни асфалти и битумени су били различите конзистенције и градитeljима није било тешко да одаберу погодну везиву или да га прерадом, односно загревањем, доведу до жељеног квалитета. Нажалост, нисмо нашли ниједан податак о особинама и квалитетима малтера који је коришћен код изградње Вавилонске куле. Било би пожељно да знамо промене у особинама битуменског малтера за време од 5.500 година.

Поред остатака Вавилонске куле данас се налази и најстарији нама познати асфалтни пут на свету, уграђен око 2.000. године пре Христа. Koldewey је 1898. године откопао рушевине Вавилона, Вавилонске куле, Мардуков свети пут и вероватно и асфалтни пут (слика 4). Детаљно су испитани узорци

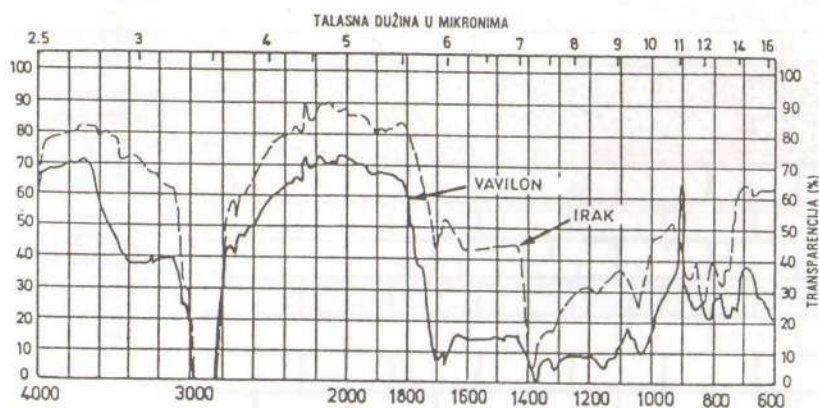


Слика 4. План реконструкције града Вавилонa у време Набукодoносopа (605–562. пре И.Х.)

асфалтног пута, као и природног битумена, који је вероватно био коришћен као везиво. Светел [9] и Светел и Пап [10], [11] дали су приказ ових истраживања. На слици 6 су приказани инфрацрвени спектри екстрахираног битумена из којих се види да је дошло до знатне промене битуменског везива услед процеса старења. Истраживања реолошких и стандардних карактеристика, као и састава везива, указују на исту појаву, али и на чињеницу да је битуменско везиво, после 4000 година, још увек задржало особине и карактеристике везива. Испитивања су показала да је асфалтни застор највероватније уграђен на тај начин што је преко разасртје и уваљане камене ситнежи карбонатног порекла, сипана истопљена мешавина природног битумена и песка која је садржала одређени проценат каменог брашна, уз додатак речног песка еруптивног порекла. Извршена су и допунска истраживања особина појединих фракција природног битумена и екстрахираног битумена. Ова истраживања треба да пруже додатне информације о процесу промена састава и структуре природног битумена и екстрахираног битумена током 4.000 година старења, као и последице термичке обраде током процеса уграђивања асфалтног пута.



Слика 5. Налазишта природног асфалта и битумена на подручју Средњег истока



Слика 6. Инфрацрвени спектри 10% угљен-дисулфидног раствора битумена екстрахованог из асфалтног застора у Вавилону и битумена из Ирака у околини Мосула

Природни асфалти су се у то доба (2.000 до 3.000 године пре И.Х.) у облику асфалтног мастика, са претежним садржајем природног асфалта, односно природног битумена, користили и као хидроизолациони материјали у грађевинарству и код изградње речних обалних заштитних зидова. Интересантну конструкцију речног обалног заштитног зида, представља зид у Assuru [12] приказан на слици 7.

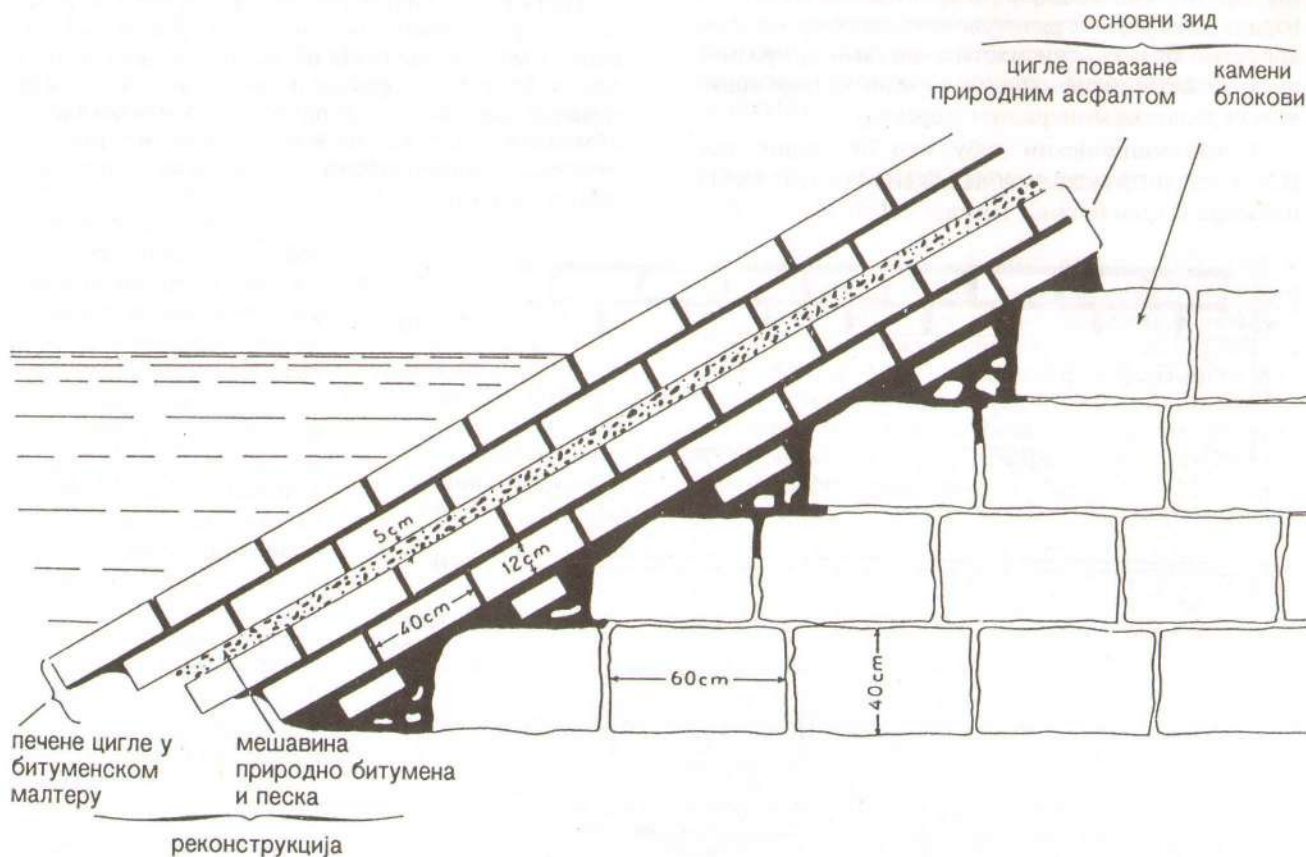
Основни зид изграђен је од каменних блокова 40 x 40 x 60 сантиметара. Преко тих блокова уграђен је

мастикс од природног асфалта у који су утопљени мањи комади камена, а преко овако изведене хидроизолације постављене су цигле димензије 40x40x12 сантиметара, међусобно повезане мастиксом од природног асфалта.

Међутим, у такозваном нововавилонском добу, око 700. године пре И.Х. тадашњи неимари имали су на расположењу цигле дефинисаних димензија које су имале равну површину са обе стране и биле су далеко отпорније јер су печене на вишим температурама. Фуге између цигала, уграђених у различите објекте, износиле су око 1,0 до 1,5 см. Као везиво није се више употребљавао мастикс на бази природног асфалта, већ битуменски

малтер који је сем природног асфалта садржавао и различита пунила. Запањујућа чињеница је и то да су тадашњи грађевински стручњаци као везиво користили и мешавину битуменског малтера и малтера на бази хидрауличних везива.

Данас, после око 2.700 година, позната светска фирма COLAS износи на тржиште производ "STABICOL", le noir et le blanc", везиво на бази мешавине угљоводоничног и хидрауличног везива, које користи код грађења путева и које има, између оста-



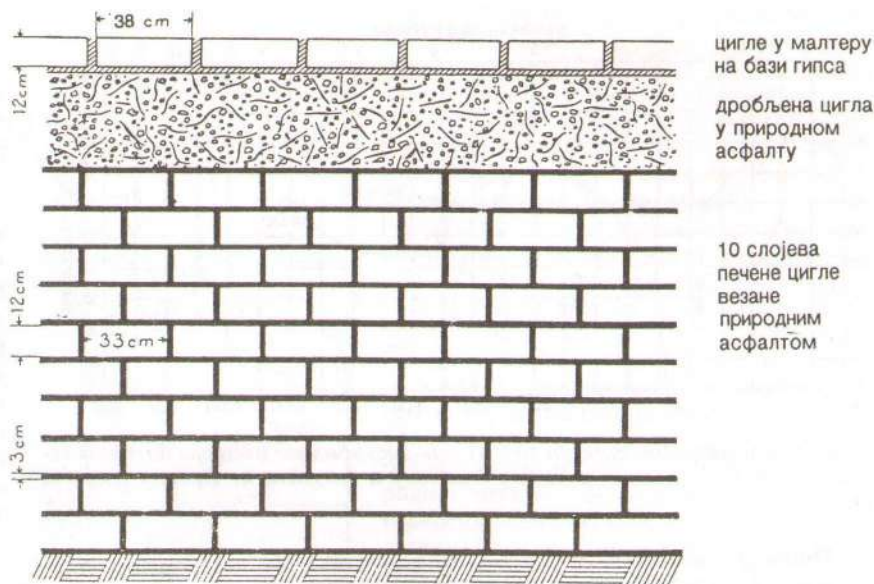
Слика 7. Обални заштитни речни зид у Assuru

лог, далеко мању промену модула крутости у функцији температуре, од мешавина на бази угљоводоничних везива. Мања промена модула крутости и вискозности у функцији температуре од великог је значаја у подручјима са екстремним променама температуре, као у Вавилону.

Да се вратимо на обални заштитни зид у Assur. Знајући све напред наведено, грађевински стручњаци тог доба, нововавилонског доба, извршили су реконструкцију заштитног зида негде око 700-те године пре И.Х. Постављен је слој битуменског малтера, односно мешавине природног битумена и песка, а преко тога два слоја цигли из тог периода, заливане битуменским малтером.

Код грађења кула, бедема, заштитних зидова, зграда од посебне важности, од 700-те године као везиво се није више користио мастикс на бази природног асфалта, већ битуменски малтер, мешавина битуменског и малтера на бази хидрауличног везива, а на крају периода, око 500 године пре И.Х. скоро искључиво малтер на бази хидрауличног везива. Међутим, за израду подова и хидроизолација још се са успехом користио битуменски мастикс на бази природног асфалта, без или евентуално са минималном количином додатака минералног порекла.

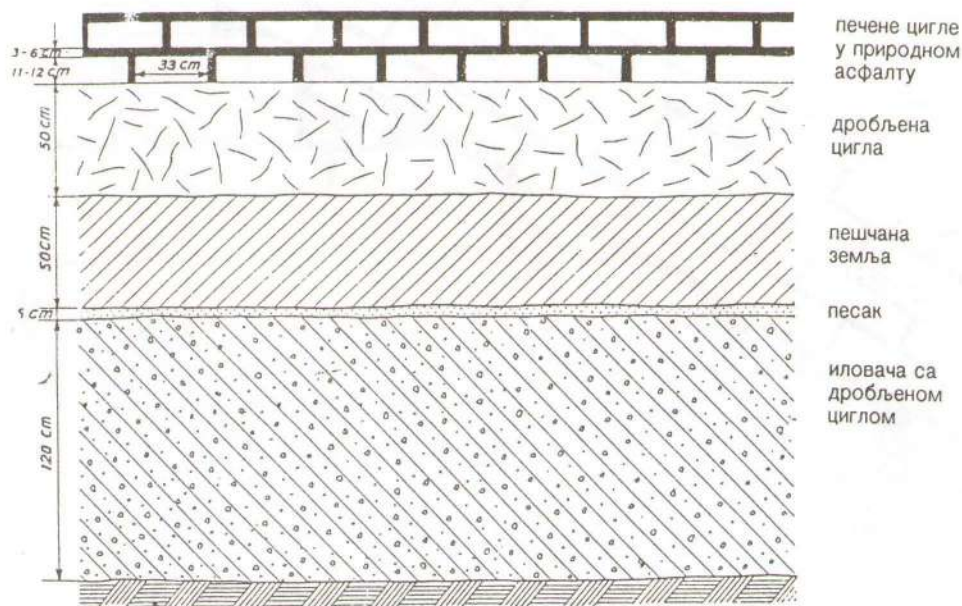
У нововавилонском добу, око 700 година пре И.Х., подигнута су два храма у Вавилону, храм Набопаласера и храм богиње Иштар.



Слика 8. Под у храму Набопаласера

Под у храму Набопаласера има за подлогу 10 слојева печене цигле димензија 33 x 33 x 12 cm, хоризонтално и вертикално повезане природним асфалтом дебљине слоја 3 cm. Преко ове конструкције уграђен је слој дробљене цигле повезане природним асфалтом, дебљине око 40 cm. Завршни слој састоји се од цигала повезаних малтером на бази гипса (слика 8).

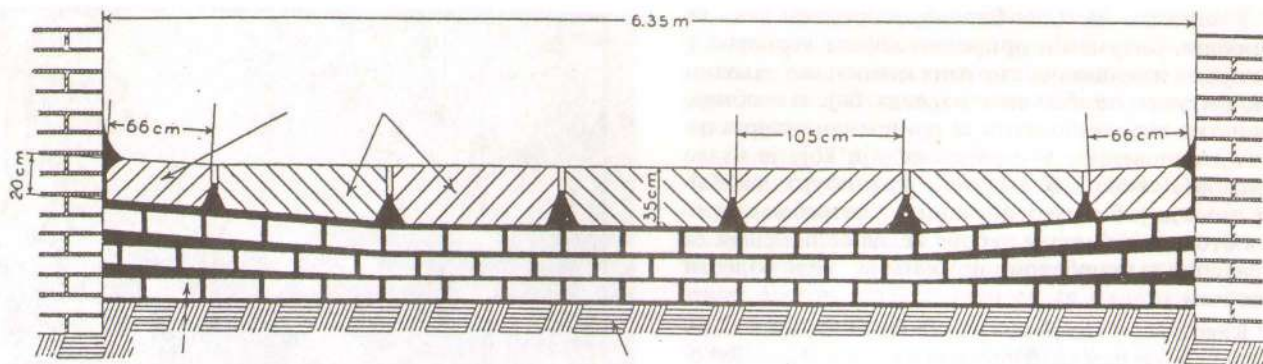
Под у храму богиње Иштар састоји се од 10 cm дебелог слоја иловаче помешане са дробљеном циглом, 5 cm дебелог слоја песка, 50 cm слоја печене земље, 50 cm слоја дробљене цигле, а преко тога је изведен завршни застор од два слоја печене цигле димензије 33 x 33 x 12 cm хоризонтално и вертикално повезане битуменским мастиксом на бази природног асфалта (слика 9).



Слика 9. Под у храму богиње Иштар

У нововавилонском добу природни асфалт се као асфалтни мастикс користио, упоредо са асфалтним малтером, и код грађења путева.

На слици 10 приказан је Мардуков свети пут у Вавилону [13], [14]. Асфалтни слој није на површини као код "најстаријег асфалтног пута" у Вавилону [9], већ је он представљао неку врсту доњег строја испод каменних плоча. Овај асфалтни слој био је израђен од два или три реда цигала повезаних асфалтним малтером. Преко овог слоја биле су постављене камене плоче од кречњачког материјала дебљине 35 cm и дужине и ширине 105 cm. Фуге



Слика 10. Структура каменог пута у Вавилону

између плоча заливане су природним асфалтом и биле су шире са доње стране плоча. При врху су фуге биле веома уске и нису се попуњавале природним асфалтом како би се избегло његово "изнојавање". Одводњавање је било посебно изведено и пут је пружао висок конфор при вожњи.

Камени пут испред храма богинје Иштар у Assuru је сличне конструкције и приказан је на слици 11. Преко два реда цигли димензије 33 x 33 x 12 cm, које су биле повезане са три слоја природног асфалта дебљине 3 cm и повезане вертикалним фугама дебљине 3 cm, заливане природним асфалтом, постављени су камени блокови димензије 70 x 70 cm и дебљине 20 cm. Фуге у каменим плочама изведене су као и код каменог пута у Вавилону. У камене плоче су на површини урезани канали, како би се свечане кочије равномерно кретале.

У Старој Грчкој и Риму природни битумен и природни асфалт су широко коришћени за израду хидроизолација и за битуменске малтере у грађевинарству. Постоје многи изведени објекти, канали, купатила, кејови, зидови кровови, код којих је коришћен природни асфалт. Наравно природни битумен је широко коришћен и за хидроизолацију бродова.

Из тог доба, око 40 година пре И.Х. имамо и први нама познати запис у коме Diodor ho Sikeliotes [15] описује појаву и добијање природног асфалта из Мртвог мора у равници Tel Siddim, на граници Јордана и Израела, у депресији дубокој око 400 метара. Мртво море се у оно доба називало "Lacus Asphaltites". Diodor пише да је Мртво море "велико језеро дугачко 500 стадиума (1 стадиум = 160 до 190 метара) и широко 60 стадиума. У њему се сваке године појављује

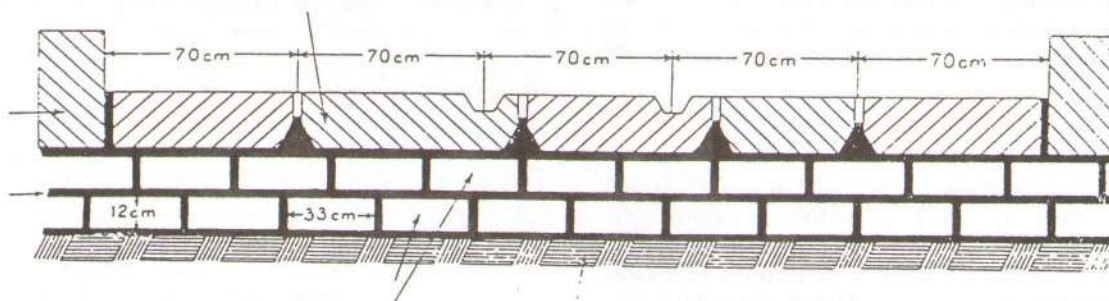
велика количина природног асфалта у комадима од 3 плетре (око 100 метара). Непријатан мирис 20 дана раније најављује појаву природног асфалта". Комади природног асфалта се под тешким условима довлаче на обалу, секу на мање комаде, суше и користе у разне сврхе.

Plinius Secundus [16] је негде око 70. године после И.Х. дао први стручни запис о особинама и квалитету битумена.

Запис гласи: "Bitumium sequax ac lenta natura non quit sibi avelli ad omnem contactu ad haereus" (Битумен је жилав, густ – "високовискозан" – и не може да се одвоји од материјала за који је залепљен). Значи, грађевинским инжењерима и путарима у то доба (23–79 година после И.Х.) биле су познате пластичне, вискозне и реолошке карактеристике, као и лепљивост битумена, које су од највећег значаја за грађење путева и других грађевинских конструкција.

ПРИМЕНА ПРИРОДНОГ АСФАЛТА У СРЕДЊЕМ ВЕКУ

Према подацима из литературе, [17], [18] у земљама западне Европе, у средњем веку, веку који за те земље значи период мрачњаштва и назадњаштва, изгубљена су скоро сва искуства о примени природног асфалта у грађевинарству. Да ли се у то време, у земљама које су тада доживеле просперитет, користио природни асфалт у грађевинске сврхе није нам познато, јер не располажемо литературним и другим подацима.



Слика 11. Структура каменог пута у Assuru

У земљама Западне Европе, у средњем веку се природни битумен и природни асфалт користио у магији, за извршавање смртних казни и као наводни лек. Битумен се због свог изгледа, боје и особина, користио као компонента за припремање најразличитијих напитака. У енциклопедији коју је издао Eucharius Rosselin 1540. године у Франкфурту на Мајни, пише да је битумен лек који се употребљава против отока, кијавице и зубобоље, да се помешан са мошусом и сирћетом примењује код болести крвотока.

Како су се у то време градили путеви, 1475. године, приказује нам графика дата од стране Klein-Rebour [19], (слика 12).



Слика 12. Грађење "путне мреже" у средњем веку

Ипак нам Агрикола [20] даје приказ како се у то време, додуше примитивно (око 1550. године), вршила дестилација природног битумена ниске вискозности и асфалтозне нафте (слика 13) као и топлење битумена из асфалтних стена богатијих битуменом (слика 14). Количина добијеног битумена била је мала и Агрикола не даје податке у које је сврхе коришћен овај природни битумен.

ПРИМЕНА ПРИРОДНОГ АСФАЛТА У НОВОМ ВЕКУ ДО ПОЧЕТКА XX ВЕКА

Колумбо је 1492. године, на свом првом путовању стигао до Америке, а већ на трећем путовању 1498. године искрцао се на острву Тринидад. Међутим, тек око 100 година касније, 1595. године, истраживач и авантуриста Sir Walter Raleigh, тражећи злато на острву Тринидад, открива асфалтно језеро на ос-

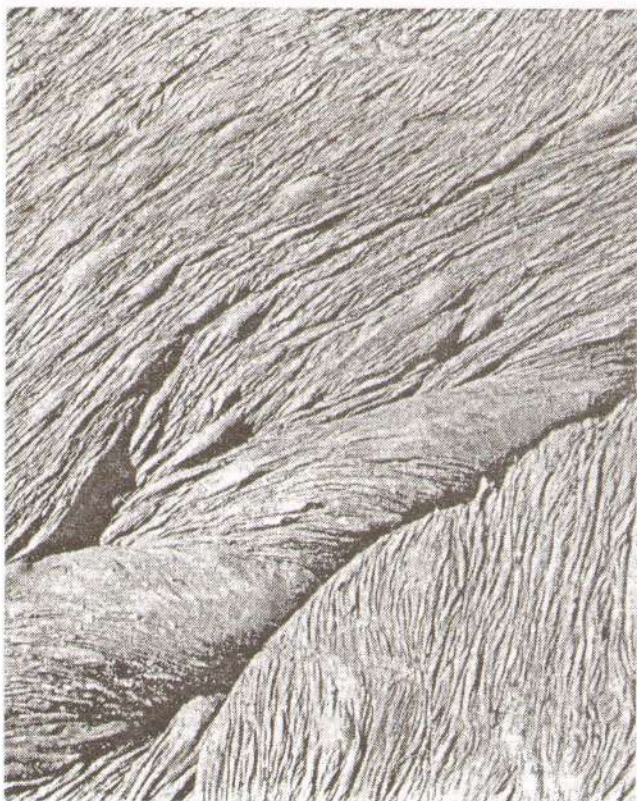


Слика 13. Дестилација битумена



Слика 14. Топлење битумена из асфалтних стена

трву, највеће налазиште природног асфалта на свету. Острво Тринидад налази се на југоисточном делу Карибског мора, северно од ушћа реке Ориноко и обухвата површину од 4.828 км² и са острвом Тобаго представља самосталну државу у оквиру Британске заједнице. На целом острву налазе се већа или мања налазишта природног асфалта, али је најважније такозвано Тринидадско асфалтно језеро – Pitch Lake, које се налази на око 40 метара надморске висине и заузима простор од око 40 хектара. Језеро има у пречнику око 600 метара и дубоко је око 40 метара. Целокупна маса природног асфалта је у сталном покрету услед дотицања нових количина приро-



Слика 15. Површина асфалтног језера у Тринидаду

дног асфалта у средини језера (слика 15). У асфалтном језеру има око 10 до 15 милиона тона природног асфалта [21]. Међутим, експлоатација природног асфалта почела је много касније, 1851. године, у време када се на тржишту појавио битумен добијен дестилацијом и прерадом нафте. Питање примене природног асфалта са Тринидада биће разматрано у следећој студији.

Стотинак година после откривања огромних количина природног асфалта на Тринидаду, откриве-

не су и не мање количине асфалтних стена, код којих преовладава камени материјал, а битумен се налази у импрегнираном стању, или се налази у протканим жилама, у количини од десетак процената.

Године 1711. у Val de Travers-у, у данашњој Швајцарској, грчки лекар Eyrinus открио је велико налазиште природних асфалтних стена. У то доба је ово подручје припадало кнежевини Neuchatel-Neuenburg. Чувени филозоф Лајбниц и архитекта и неимар Andreas Schüller, који су се налази на двору краља Фридриха I, изборног кнеза овог подручја, имали су врло строги критеријум за издавање дозвола за истражне радове [7], тако да је Eyrinus ову дозволу добио тек 1717. године. Eyrinus је природне асфалтне стене прерађивао на тај начин што је исте загревао, грубо иситнио и топио на слабој ватри уз додатак катрана. Овако прерађен природни асфалт користио се у грађевинарству за израду подова и слично. Eyrinus је из области истражних радова и примене природног асфалта из Val de Travers-а 1721. године одбрани Докторску тезу на Сорбони [22] али је његов рад објављен од стране Spognu-а [22] тек век и по касније, 1878. године, у Санкт Петербургу.

Године 1785. откривена су налазишта природног асфалта у Лобсану и Клибургу, а 1799. на Сејшелима, при чему су особине природних асфалтних стена биле приближно исте као и у Вал де Траверсу. Године 1802. дата је концесија фирми Comte de Sassenay која је пустила на тржиште мастиксне плоче на бази природног асфалта са Сејшела, које су коришћене за постављање асфалтних застора на подовима, мостовима и пешачким стазама, као и за израду хидроизолационих система.

Први асфалтни пут изграђен је у Паризу 1846. године [6]. Према карикатури, приказаној на слици 16 која је објављена у париским новинама, не би се рекло да је овај први асфалтни застор у Новом веку, био добро примљен. Уосталом, у то доба су све улице у Паризу биле изведене са ситном коцком која је често коришћена и у друге сврхе, јер то је било доба великих превирања у Француској, две године пре но што је срушен краљ Луј Филип и проглашена Друга Република. Било би од интереса ако би могли да се нађу остаци овога пута, како би се утврдило да ли је уопште дошло до промене у особинама екстрахираног битумена за време од 150 година, с обзиром да је коришћен природни асфалт.



Слика 16. Карикатура објављена у париским новинама у вези "особина" првог асфалтног застора у Новом веку

Средином XIX века, 1859. године, у САД у Пенсилванији, чувени Drake је избушио прву бушотину из које се појавила нафта у великој количини и под притиском. Производња нафте је енормно порасла као и број нових бушотина. Појавиле су се велике рафинерије нафте и убрзо су се на тржишту појавиле скоро све врсте и типови потребних битумена, што је довело и до нагле примене асфалтних застора на путевима.

Природни асфалти су се употребљавали, и данас се употребљавају, заједно у мешавинама са битуменом добијеним прерадом сирове нафте. Природни асфалти при томе уносе компоненту стабилности и отпорности на процесе старења.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕПОРУКЕ

Човек је природне асфалте и природне битумене користио од кад постоји, а и данас их користи у великој мери. У односу на битумене добијене прерадом нафте, природни битумени су отпорнији и мање подложни променама услед процеса старења. И данас постоје многи објекти, путеви, обалоутврде и грађевински објекти код којих је пре више хиљада година коришћен природни асфалт као везиво.

Када је 1973. године избила прва петролејска криза, у свим развијеним земљама обновљена су истраживања могућности широке примене природног асфалта у грађењу путева и у грађевинарству.

У нас се већ пре II Светског рата користио природни асфалт. Фирма Срборит из Београда (данас Грмеч) и Рес из Загреба (данас Катран) производили су мастиксне плоче од природног асфалта из Вргорца, које су се користиле за израду путева, стаза и хидроизолација. По завршетку II Светског рата фирма Грмеч из Београда производила је више типова мастика и хидроизолационих материјала који су се са успехом користили и код грађења путева и у неким специјалним системима асфалтних застора.

У периоду од 1957. до 1981. године, Светел [23], [24], [25], [26], [27], [28] је извршио опсежна испитивања налазишта природних асфалта у Србији и Црној Гори, као и могућност њихове примене у асфалтним слојевима коловозне конструкције. Светел и Пап [29] су испитали и могућност примене природног асфалта "Селеница" у ливеним асфалтима.

Резултати ових истраживања нису искоришћени, између осталог и из тог разлога, што су рафинерије у Југославији располагале квалитетним сировинама за производњу битумена.

Данас то није случај и сматрамо да би требало обновити истраживања могућности примене како домаћих природних асфалта, тако и оних који се широко примењују у свету. Напомињемо и податак да су наша истраживања [23], [24] природних асфалта из Врањског басена указала и на евентуалну могућност да у том региону има и налазишта нафте.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Verthoven, M., (1994) M. Orient Express, pp. 9–12, према реф. 2
- [2] Boëda, E., all, (1996) Bitumen as a hafting Material on Middle Paleolithic artefact, *Nature*, 380, pp. 336–338.
- [3] Јесуп, Р., (1971) Тхе нондерфул Њорлд оф Археологи, Албус Боокс, Лондон.
- [4] N.N., Orude staro dva i po miliona godina, dnevni list "Politika" od 4.02.1997.
- [5] Библија, Стари завет, превео Даничић, Ђ., (1974) Прва књига Мојсијева, Постајање – Генесис, 11.А.3, Британско и инострано библијско друштво, Београд, пп. 9.
- [6] Forbes, R. J., (1934), Aus der ältesten Geschichte des Bitumens VII Internationale Strassenkongress in München, Strassenbau und Bitumen, Arbeitsgemeinschaft der Bitumen-Industrie, Berlin pp. 1–32. Reprint: Die Geschichte des Bitumens (1960) Shell, pp 3–67.
- [7] Paulman, G., Vorträge an der Technischen Hochschule Darmstadt.
- [8] Препрек, Г., (1985) На трагу ране културе – предговор епу о Гилгамешу, "Веселин Маслеша", Сарајево, пп. 5–47.
- [9] Светел, Д., (1995) Асфалтни пут у Вавилону – Најстарији асфалтни пут на свету, Институт за путеве Д.Д. и Друштво за путеве Србије, Београд, пп. 1–82.
- [10] Svetel, D., Pap I., (1995) Bitumen Features as Binder within Asphalt Surfacing in Babylon of the age of 4500 years, BITUMEN 2000 – International Conference, Hungary, pp.
- [11] Светел, Д., Пап, И., (1997) Особине битумена као везива у асфалтном застору у Вавилону старом 4500 година, Пут и саобраћај.
- [12] Andrae, W., (1913) Die Festugswerke von Assur, 23 Wiss. Veröf. der D. Or. Ges. – према реф. 6.
- [13] Meissner, B., (1920) Babylonien und Assyrien Heidelberg – према реф. 6.
- [14] Новаковић, Р., алл, (1974) Школски историјски атлас, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд.
- [15] Diodoros ho Sikeliotes, (oko 40 pre I.H.) Biblioteke historike, – према реф. 6.
- [16] Plinius Secundus, (oko 70) Historia Naturalis, 4 kwiga, 13 glava, – према реф. 6.
- [17] Forbes, (1934) Aus der ältesten Geschichte des Bitumens, Bitumen 3 (4).
- [18] Великовски, И., (1982) Светови у судару, "Југославија", Београд, пп. 62–66, 350–351.
- [19] Klein-Rebour, F., (1971), La route au Moyen-Age, Route et aerodrome, 471, pp. 81.
- [20] Agrikola, G., (1556) De re metallica, Opera 1657, pp. 468–469, према реф. 6.
- [21] Minkovskii, (1954) Vom Asphaltsee in Trinidad, Bit. Tree Pechе 10, pp. 322.
- [22] Eyrins, (1878) Dissertation sur l'asphalte naturel decouvert au Val de Travers, Paris – cobrawena 1721, publikovana u: Sporny, J., Der Asphalt und die Bitumina, St. Petersburg 1878.
- [23] Светел, Д., (1957), Природни асфалти из Врањског басена, Пут и саобраћај, 3 (4), пп. 6–12, 3 (5–6) пп 39–47, 3 (7), пп 24–38.
- [24] Светел, Д., (1959), Природни асфалти у НР Србији, Саопштења Института ИМ.СРС 7 (9) пп 27–31.
- [25] Светел, Д., (1959), Могућности примене природног асфалта из околине Врања (1962), Саопштења Института ИМ.СРС 10 (17) пп 23–26.
- [26] Светел, Д., (1962), Природни асфалти из околине Улциња, Саопштења Института ИМ.СРС 10 (17) пп 28–35.
- [27] Светел, Д., (1962), Могућности примене природног асфалта из ревира Гоч-Врање, Саопштења Института ИМ.СРС, 10 (17) пп 35–40.
- [28] Светел, Д., (1981), Могућност примене природних асфалта с подручја Југославије у асфалтним мешавинама, Други Југословенски симпозијум о битумену и асфалту Пореч, Грађевински институт у Загребу и Знанствени савјет за нафту ЈАЗУ, пп. 123–132. Пут и саобраћај 28 (1–2), пп 30–34.
- [29] Светел, Д., Пап, И., (1984), Употреба природног асфалта "Селеница" и старог асфалтног материјала у мешавинама ливеног асфалта, Часопис Института за путеве 15 (14), пп 33–39.

ВИСИНА НАКНАДЕ ЗА ОДВОДЊАВАЊЕ ПУТЕВА И ПУТНОГ ЗЕМЉИШТА

Дужи низ година трају неспоразуми између водопривреде и путне привреде око оправданости накнаде за одводњавање путева и путног земљишта.

Ти неспоразуми вероватно не би постојали да није у питању висина стопе за одводњавање путева, која је 20 пута већа од стопе за пољопривредно земљиште, а чак 40 пута већа од стопе за шумско земљиште.

Законски основ за ову разлику у стопи је у водама (10 до 20 пута, а водопривреда користи максималну могућност), док је техничко оправдање за разлику у стопи такозвана брзина отицања са изграђених површина. Брзина отицања као оправдање за већу стопу за путно земљиште не спомиње се у законским актима, али немајући друго образложење, корисници накнаде то истичу као разлог 20 пута веће стопе, јер је приближно такав однос коефицијената брзине отицања са пољопривредног земљишта и изграђених површина (бетон, асфалт, кровне површине и сл.).

После детаљног упознавања са техничким питањима из области мелиорација, као и са законском регулативом из те области, уз консултације са више инжењера хидротехничког смера путна служба ће у следећем излагању покушати да докаже супротно, тј. да нема оправдања за наплату накнаде за одводњавање путева:

Методе пројектовања мелиорационих система се базирају на принципима хидротехнике, педологије, агрономије, економије и других дисциплина. С обзиром на бављење мелиорација од најстаријих времена, та област је научно (емпиријски и теоретски) врло детаљно обрађена. Због тога се не може сматрати да је учињен превид у свим прихваћеним начинима пројектовања појединих елемената мелиорационих система, тиме што се коловозне површине не обухватају рачуницом приликом грађевинско-хидрауличког димензионисања ових система. Одмах да напоменемо да путеви нису "заборављени", јер у комплексном пројекту система заузимају видно место у економском делу пошто мелиорисано подручје даје пун ефекат тек изградњом путева у склопу осталих мера које захтева интензивна пољопривреда.

Та чињеница да се приликом пројектовања мелиорационих система за одводњавање не узима у обзир дужина, односно површина изграђених путева,

доказује да се већа или мања изграђеност путне мреже не одражава ни у трошковима изградње и одржавања објеката мелиорационих система. Теоретски посматрано, сигурно да савремене коловозне конструкције дају далеко веће количине воде по јединици површине од ограничених површина, али је исто тако чињеница да су путне површине у односу на оранице, величине нижег реда које мање утичу на функционисање система од апроксимација које се у прорачунима чине приликом усвајања нагиба земљишта, упијања обрадивих површина, количина падавина, растојања сабирне мреже и сл.

Није потребно бити специјалиста за послове мелиорације, него је довољно познавање основа ове интердисциплинарне области па инжењерским расуђивањем закључити да изградњу и одржавање мелиорационих система практично не поскупљује изграђеност путева на тим подручјима. Ако поћемо од следеће дефиниције: "Хидротехничке мелиорације представљају скуп водопривредних мера којима се условљава одржавање одређеног водног режима у земљишту ради постизања вишег облика пољопривредне производње (Ж. Владисављевић), јасно произилази да и трошкове тих мера треба да подноси пољопривреда. Међутим, да би све површине једног мелиорационог подручја биле "покривене" и због принципа солидарности свих власника парцела на мелиорисаном подручју прихватљиво је да и путна привреда учествује у трошковима мелиорација, али у истој висини по јединици површине као и суседно пољопривредно или шумско земљиште.

Може се стећи утисак да се у обради ове материје изоставља егзактан поступак поткрепљен математичким доказом. Међутим, мора бити јасно да би једини такав доказ био следећи: Протицајни профил тог и тог одводног канала због толико m^2 путева повећава се за $n\%$, главни канал се због путева повећава за $m\%$, а капацитет црног постројења се повећава за $k\%$ у односу на потребне димензије да нема путева.

Како је пројектима мелиорационих система занемарен утицај путева на количину воде коју треба одвести, ови подаци се не могу преузети из техничке документације постојећих система, а не постоји ни усвојена метода за срачунавање. Обрасци у којима фигуришу коефицијенти отицања примењују се у

хидротехници, али приликом пројектовања кишних канализација за насеља, индустријске комплексе и сл. а не за димензионисање објеката мелиорационих система.

Тако на пример, коефицијенти отицања (дати према Брозу) примењују се приликом пројектовања канализација за насеља, а у таквим приликама узимају се апроксимативне величине тих коефицијената када се односе на "вртове, паркове, ливаде, оранице", шумске површине које се одводњавају према градском подручју" што је и разумљиво, јер вода са тих површина чини мање значајне количине у односу на воде са поплочаних и кровних површина у грађевинској структури.

Када би се за пројектовање мелиорационих система неког подручја примењивали коефицијенти по Брозу, где је рецимо за оранице дат распон од 0,05 до 0,25 системи би били у распонима могућих димензија у истом односу (1:5), тј. предимензионисани или подимензионисани, а само случајно би димензионисање било одговарајуће. Због тога се код мелиорација највећа пажња поклања што тачнијем утврђивању овог коефицијента, јер да ли је рецимо он 0,07 или 0,08, далеко већег утицаја има од изграђености или неизграђености путне мреже. Ово објашњење је због ограничености простора дато упрошћено, јер је утврђивање количина воде коју треба одвести са мелиорационих површина и количина које треба одвести са градских и сличних површина врло сложено у прорачуну и представља најделикатнији део посла приликом пројектовања.

Поред тога, методе за утврђивање количина воде са пољопривредног земљишта и са изграђених градских или сличних површина су различите, што је очигледно упоређењем, може се рећи класичних поступака пројектовања обрађених код Броза (за канализацију насеља) и код Владисављевића (за мелиорације).

Чак ако би постојале изузетно велике површине путног земљишта лево и десно од коловозне траке, или ако би у склоп мелиорационог подручја ушао неки насељен или привредни комплекс мора се истаћи да је појам "грађевинско земљиште" па и "изграђено грађевинско земљиште" правни, а не технички појам. Грађевинско земљиште је парцела која је у интер вилану и може представљати и ораницу, а изграђено

грађевинско земљиште је цела парцела али на којој постоји изграђени објекат на колико малом делу те парцеле. Према томе, у случају да грађевинско земљиште не представља занемарљиву површину, мора се раздвојити стварно изграђена површина од земљаних делова парцела.

Једноставније речено, нема техничког оправдања да се законом регулише плаћање накнаде у износу који је одређен у члану 101 Закона о водама, а нарочито не стоји "...зависно од намене земљишта, количине воде која се са њега слива".

Управо да се и прихвати став да мелиорациони системи прихватају сав вишак воде која је последица различитости отицања са асфалта и са пољопривредних површина, потребно би било доказати да тај вишак и ако је двадесетоструко већи, изазива стварно и двадесетоструко веће трошкове водопривреде при изградњи и одржавању система за одводњавање. Сматрамо да се то без детаљне студије не може доказати из следећег разлога: Време које је потребно да се вода са ораница процеди до сабирне мреже је неупоредиво веће од времена која је потребно да се вода када падне на асфалтне површине улије у путне јаркове. Вода са коловоза ће због тога бити брже евакуисана кроз канале вишег реда од воде која се слива са ораница, те би требало за сваки конкретан случај у зависности од трајања междодавне кише, положаја пута и осталих делова мреже, кроз елаборат утврдити да ли брже отицање са путева и ако даје веће количине воде, може да има чак и повољан ефекат на димензије каналске мреже, тј. да ублажи "шпицеве". Као што висок коефицијент отицања са коловозних површина због безначајне површине путева нема практичног утицаја на димензионисање мелиорационих система, и овај утицај различитог времена евакуације вода нема практично значај, али ако се узима у обзир прво, морало би се узети и ово друго. Што се тиче трошкова одржавања каналске мреже, где је осетна ставка измљивање, највећи део муља остаје у путним каналима, које путна привреда и одржава.

Могуће је да су аутори закона сматрали да путеви имају одређену корист од пољопривредних мелиорационих система.

Тим поводом морамо нагласити да пресудну улогу приликом пројектовања путева има геомеханички састав тла, те се на основу тога и могуће дубине продирања мрза, утврђује дебелина коловозне конструкције. Утицај мрза за климу нашег поднебља је редовно већи од нивоа на коме се мора одржавати вода због пољопривредне производње, те је тај моменат за путну привреду иреле-

вантан. Одвођење воде са површине коловоза решава се путним јарковима које копа и одржава путна привреда, тако да се не може сматрати да се услугом одводњавања од стране водопривреде смањују трошкови одржавања и изградње путева.

Међутим, треба узети у обзир и обрнут случај, тј. корист мелиорационих система од путне мреже. Према руским ауторима (Кременски: "Приручник за мелиорације и хидротехнику"), минимум површина које треба обезбедити за саобраћај за нормално функционисање мелиорационих система износи 2,00%, а само за главне путеве, изузев пољских и експлоатационих треба 0,70% површине мелиорационих система.

Код нас се у мелиорисаним подручјима изградњом главних путева не оптерећује инвестициона маса намењена за мелиорације, а такође трошкови одржавања путева не оптерећују експлоатационе трошкове мелиорационих система. Водопривреда је растерећена трошкова за путеве зато што јавне путеве користи уједно као и своје главне путеве кроз мелиорационе системе.

Када се површина предвиђена за путну мрежу претвори у дужину путева (према наведеном аутору потребне ширине путног земљишта главних путева мелиорационих система су приближне ширине путног земљишта наших категоријских путева), излази да изграђени путеви на пример у Војводини заузимају свега око 0,40% површине. Из овог се може извући закључак да нема јавних путева који би били "вишак" у односу на потребне путеве да би мелиорисана подручја могла успешно да се експлоатишу.

Према томе, да би се утврдило ко од кога има више користи, требало би утврдити висину трошкова када би се градила путна мрежа само за потребе мелиорација или систем одводњавања само за потребе путева.

Сматрамо да је у једном привредном подручју бесмислено утврђивати узајамне користи међу масом испреплетаних привредних делатности и њихових инфраструктурних система, тим пре, што су сви ти системи у суштини национално добро, односно у државном власништву.

Уколико досадашња образложења нису довољна да представници водопривреде одустану од вишеструког износа накнаде изнећемо још два могућа правца резоновања, а оба иду у прилог томе да је досадашња накнада нереално разрезана. Намерно је употребљен овај термин из фискалне праксе (разрез) јер се за досадашњу висину накнаде за путно земљиште и путеве не може рећи да је утврђена као накнада за

одређену услугу, већ баш као фискални намет.

1. Накнада за одводњавање наплаћује се за целокупну мрежу путева, а чињеница је да се не одводњава цела површина републике, па се тако не одводњавају ни сви путеви. На принципу солидарности, прихватљиво је да и путне површине учествују у накнади, али кад нема одводњавања уопште, онда је бесмислено и помињати вишеструки износ због одвођења већих количина воде кад се не одводе никакве количине.

2. На подручјима где постоје мелиорациони системи, путеви се у односу на њих налазе у два могућа положаја:

а) Деонице које се стварно одводњавају, тј. из путних канала вода отиче у одводне канале мелиорационог система и

б) Због конфигурације терена и нивелете пута, путни канали су практично ретенције из којих вода не отиче већ се упија и испарава.

Колико километара путева има у првој групи, а колико у другој, не постоји евиденција, а ако би се установила за деонице путева које се не одводњавају, логика је иста као и за деонице које се налазе на подручјима која нису мелиорисана.

За деонице под а) ситуација је мало сложенија. Ако путни јаркови одводе воду са пута до одводног канала вишег реда, они сигурно одводе и воду са ораница лево и десно од пута, тј. два путна јарка замењују један сабирни канал мелиорационог система. С обзиром да путне канале гради и одржава путна привреда, питање је ко коме треба да плаћа накнаду.

Из свега изложеног проистиче закључак да би егзактно утврђивање висине накнаде био обиман посао који би се могао обрадити само у виду студије од стране специјализованих стручних институција.

Крајњи резултат тог обимног посла би само утврдио правичнију прерасподелу манег износа путних и водопривредних система, а не би ни за динар повећао укупна средства за путеве и мелиорације. Како су једна и друга средства део једног истог националног дохотка, на нивоу примарне расподеле тог дохотка треба повећати или смањити приходе водопривреде или путева, а тиме смањити администрирање везано за решење о висини накнаде, исплате – уплате, књижења, дописе, сравњења и сл.

Ако баш тога мора да буде, онда да би била "покривена" укупна површина мелиорационог подручја, наплаћивати накнаду за путно земљиште исто као и за суседно пољопривредно.

Богдан Ђурђевић, дипл. грађ. инж.

ОДРЖАНА ЈЕ ХЛІ СКУПШТИНА ДРУШТВА ЗА ПУТЕВЕ СРБИЈЕ

Четрдесетпрва Годишња скупштина Друштва за путеве Србије одржана је 1. јула 1997. године у сали "Србијапут" у Београду. Присуствовало је 56 чланова, председавао је председник ДПС Др. Петар Митровић.

У процедури отварања Скупштине, одата је почаст преминулим члановима ДПС, међу којима је и досадашњи велики ентузијаста – главни уредник часописа "Пут и саобраћај" проф. др Здравко Јоксич.

После тога је прочитано поздравно писмо Министра саобраћаја Светолика Костадиновића а затим су поздраве и жеље за успешан рад Скупштине упутили проф. др Милан Максимовић испред Грађевинског факултета у Београду и Јован Липовац у име путара Црне Горе.

У току радног дела Скупштине усвојени су извештаји о раду ДПС за период јуни '96 – јуни '97., финансијски извештај о пословању ДПС у 1996., години, План рада за 1997. годину и Финансијски план за 1997. годину.

Годишња награда "Радојица Јакуовић" за најбоље урађен дипломски рад из области путева у школској години 1996/97 додељена је Милици Мајсторовић за дипломски рад одбрањен на Грађевинском факултету у Београду под насловом "Уређење колосека на путним прелазима у нивоу".

У наставку радног дела Скупштине спроведена је дискусија о раду ДПС и уопште о стању путне привреде, уз учешће више истакнутих чланова Друштва. У закључцима који следе, обухваћени су најважнији елементи спроведене дискусије.

Стручни део Скупштине се састојао у обиласку радова на изградњи аутопутева Добановци-Бубањ поток. Домаћин "Нови аутопут" је пружио задовољство

учесницима Скупштине да се увере да се коначно кренуло са наставком радова на обилазници Београда – саобраћајници значајној колико за Београд, толико и за СР Југославију.

ЗАКЉУЧЦИ СКУПШТИНЕ

1. Путна привреда Србије још није обезбедила сталне изворе финансирања пројектовања, одржавања и грађења путева. Од 1992. године, кад је укинута приход путне привреде везан за проценат од малолитражне продаје течних горива, путна привреда Србије нема стабилних извора за финансирање одржавања и надградње своје путне мреже која износи око 17.000 km магистралне и регионалне путне мреже, као и око 25.000 km локалне путне мреже. Сада се путеве финансирају једним малим делом из буџета Републике Србије и већим делом од наплате путарине. Такав начин финансирања апсолутно је недовољан да подмири трошкове просвете репродукције путева. Овај проблем је више пута, на Скупштинама Друштва за путеве Србије и Југославије, као и на многим путарским семинарима и саветовањима био истицао. Током 1997. године уредбом Владе Србије од малолитражне продаје течног горива одваја се 0,50 динара за изградњу аутопутева (око 14% од продајне цене). Ово је значајан потез који користи путној привреди, јер своју мрежу надграђује и увећава. Коришћење ових средстава је строго наменско, па се прикупљена средства, на овај начин, не могу користити за одржавање, реконструкцију и изградњу локалних, регионалних и магистралних путева који нису аутопутеви. На тај начин широко поље потреба путне привреде, као што је одржавање, реконструкције, рехабилитације и изградња путева,

сем аутопутева, остаје необезбеђено.

За наведене потребе путне мреже као што су одржавање, реконструкција и грађење путева који нису аутопутеви, неопходно је обезбедити додатне изворе финансирања. Предлажемо да се потребна финансијска средства за те потребе обезбеде преко малолитражне продаје течних горива. Сматрамо да тај проценат буде минимум 0,80 динара или 22% од малолитражне продајне цене једног литра течног горива. Тако би целокупно одвајање за потребе путне привреде изнело 1,30 динара од продајне цене једног литра течног горива ($0,50 + 0,80 = 1,30$ d), што у процентима износи 36% од продајне малолитражне цене течног горива.

На овај начин скупила би се средства у вредности око 1,8 милијарди динара, која би била довољна за студије, пројектовање, грађење, одржавање и реконструкцију путева и аутопутева на територији Србије. Наведена сума, издвојена за путну привреду, била би довољна да се путна мрежа одржава и гради према светским стандардима и буде способна за ефикасно и безбедно одвијање саобраћаја. Оваква улагања у путну привреду, вишеструко би била враћена и постигла би се корист значајна за целу привреду.

2. Неопходно је спровести организованост путне привреде Србије у смислу специјализације. Потребно је прописима дефинисати делатности предузећа тако да се она специјализују за одређене послове (одржавање, грађење, итд.). На тај начин би се добило у квалитету, а лиценцијом и конкурсима би се одабирала најефикаснија предузећа за обављање радова.

Државна управа би требало да се ослободи како послова на гра-

ђењу тако и послова на одржавању путева. Она би задржала искључиво инвеститорске и надзорне послове. На овај начин повећала би се ефикасност улагања у путеве.

3. Услед санкција и ембарга путна мрежа Србије је доста оштећена. Цени се да је оштећење путне мреже у просеку око 70%, што је изузетно велики проценат. Зато је неопходно да се наредних неколико година, поред градње путева обрати пажња и на одржавање. Одржавање путева је неопходно обављати у складу са постојећим законским прописима.

Однос улагања финансијских средстава у одржавање и грађење

путева, у наредних неколико година треба да буде приближно 50%:50%.

4. Квалитетан путарски часопис "ПУТ И САОБРАЋАЈ", који издаје Друштво за путеве Србије, има традицију преко 60 година, у годинама санкција је излазио три пута годишње. Потребно је у наредној 1998. години повећати његову едицију на четири пута годишње.

5. Рад и проблематику, као и програме и планове путне привреде потребно је више афирмисати преко јавних гласила, како би јавност била упозната са тачном ситуацијом у путарству. Исто тако, потребно је успостављати бо-

ље контакте и сарадњу са Савезним, Републичким и Локалним властима, како би им се непосредно предочили планови и пројекти, као и проблематика путне привреде.

6. Да би се квалитет рада на изградњи и одржавању путева повећао и стандардизовао, неопходно је на нивоу Србије или Југославије донети опште техничке услове и спецификације. Ово је неопходно за униформност и уједначење квалитета рада.

Наши технички услови и спецификације треба да буду усаглашене са европским стандардима, како би се наша путна мрежа прилагодила европској.

11000 Београд, Поштански факс 834
Булевар војводе Мишића 43
Тел. (011) 650 322
Факс: (011) 650 568



11000 Beograd, Yugoslavia, POB 834
Bulevar vojvode Mišića 43
Tel. (3811) 650 322
Fax: (3811) 650 568

ИНСТИТУТ ЗА ИСПИТИВАЊЕ МАТЕРИЈАЛА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ, Д.Д.

АКТИВНОСТИ

- Научно истраживачки рад, пројектовање, надзор, контрола, технологија градње и санационих радова за објекте нискоградње и високоградње.
- Развој нових технологија и опреме, примена рачунара у грађевинарству – пројектовање, базе података, системи специјалне намене.



ИМС ВИДЕО СИСТЕМ

АКВИЗИЦИЈА ПОДАТАКА О ПУТНОЈ МРЕЖИ ЗА
БАЗУ ПОДАТАКА О ПУТЕВИМА – БПП

SUMMARY

SYSTEM OF QUALITY IN FUNCTION OF ELIMINATION OF ERRORS IN GEODETIC MEASUREMENTS FOR ROAD DESIGN AND CONSTRUCTION

Prof. Mitar Čvorović, B.Sc., Ph.D.
Civil Engineering Faculty, Podgorica

This report suggests introduction of System of Quality in all operations performed by geodesists during geodetic survey for design purposes, for marking routes and for marking road elements during construction. System of Quality includes creation of procedures for every particular operation, issuing licenses for their realization and control system for correct processing, in order to achieve better quality of works and elimination of possible errors in measuring and their negative impacts on costs and quality of road in construction.

A CONTRIBUTION TO METHODOLOGY FOR THE EVALUATION OF ALTERNATIVES AT THE RURAL ROAD LOCATION STAGE

Lidija Pašalić-Veljković, C.E., M.Sc.

The paper presents a review of M.Sc. thesis, submitted under the same title at Civil Engineering Faculty, University of Belgrade in October 1995. This thesis formulates one of the possible accesses to the problem of evaluation of alternatives at the rural road location stage, through defining methodological bases and procedures for the evaluation of alternatives.

LEVEL OF SERVICE ESTIMATION FOR SIGNALIZED INTERSECTIONS USING HCM 94 METHOD

Prof. Smiljan Vukanović, Transport Engineering Faculty, Belgrade, Dragana Mitić, Hamilton Assoc. Vancouver, Canada

Design of signalized intersections for predicted volume means finding an optimal solution (step by step procedure) to minimize vehicle delays or to maximize capacity.

There are several procedures throughout the world. One of the well known is HCM procedure (versions 85 and 94). The paper deals with the procedure given in "HCM 94" manual. The vehicle delay model is too complicated and not very useful for highest degree of saturation.

The question of definition of the progression factor is still without a reliable answer. Some local investigations are necessary.

CONCRETE REINFORCED WITH METAL FIBERS

Petar Mitrović, B.Sc. (C.E.), M.Sc., Ph.D.
Highway Institute, Inc., Belgrade

It is a well-known fact that concrete, as a building material, is highly resistant to load by pressure, but its resistance to tensile forces is very low. For better resistance to tensile forces, concrete is being reinforced. This procedure has been known for more than 100 years and today is classical. By reinforcing concrete by addition of metal fibers, an attempt is being made to advance, modernize and replace the classical reinforcing procedure in order to modernize and rationalize reinforcing of concrete and improve mechanical characteristics of concrete for resistance to tensile forces. This article presents the basic approach to reinforcing concrete by addition of metal fibers, not only in the physical aspect of reinforcement, but also in the aspect of static balance principal and procedures for producing and building in concrete with metal fibers. This is an informative article with aim to present our C.E. professionals this innovation which is expected to become a widely used technology.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL BASES OF ASPHALT MIXTURE DESIGN METHOD USING "SUPERPAVE" SYSTEM

Prof. Zoran G. Radojković, Ph.D., M.Sc., B.Sc. (C.E.)
Faculty of Technical Sciences, Novi Sad

The "Superpave" system, based on results of theoretic and experimental research and powerful and expensive laboratory devices formulated under SHRP research project A 003-A, is implemented in a program package. It enables asphalt mixtures design as a function of local conditions. By resolving the well-known necessity for a direct relation between mixture design results and exploitation criteria in a real pavement structure, this system enables the creation of database

on design parameters, pavement structure specifications and control of construction works. This paper presents analysis of proposed asphalt mixtures investigation methods, specific for "Superpave" system, the results interpretation and possibility for implantation of these results in pavement design process, originated from author's experience, opinions of numerous investigators from European research centers and conclusions from the meeting of Technical Committee C-6 AIPCR-PIARC in Italy.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF APP- AND SBS-POLYMER BITUMEN ONTO RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ASPHALT MIX

Imre Pap, B. Sc. Ph.D., Milorad Smiljanić, B. Sc. Ph.D.
The Highway Institute, Inc., Belgrade

Asphalt mix characteristics such as: resistance to fatigue, resistance to occurrence of thermal cracks and resistance to permanent deformations, depend greatly on rheological characteristics of binders. By application of polymer-bitumen, the rheological characteristics of asphalt change considerably in the dependence of polymer type being used for modification.

This paper presents the results of investigation of influence of polymer bitumen based APP, APP-E and SBS-polymers onto the rheological properties of asphalt mixes of type asphalt-concrete 0/11mm. The analyses of rheological characteristics of asphalt mixes: stiffness module (E^*), elasticity module (E'), viscosity module (E''), shifting module (aT_{Fr}), phase angle (δ), with temperature range from -20 to 30°C and with frequency from 1 to 100 Hz, depending on the applied binder, have been carried out through application of software package PRADO (Program for Road Asphalt Design and Optimization) of Belgian Institute CRR.

NEW MATERIALS, PROCEDURES AND INVESTIGATIONS ON ROUTINE MAINTENANCE OF ROADS

Miodrag Jocić, C.E., M.Sc.
Jovanka Đuran, C.E., M.Sc.

As a part of the Strategic Highway Research Program (SHARP) there is the H-106 project, actually in development, dealing with analysis of cost-benefits concerning to materials, equipment and methods used for routine pavement maintenance activities as: pot-hole repairs and crack repairs in asphalt pavements, joint refilling and repairing damaged surfaces on cement-concrete pavements. All four maintenance activities were investigated on test sections all over USA and Canada as planned in the project. Data collected during the forming of test sections and data on initiation and development of damages during the research period are stored in a large databank formed under this project. This paper presents results of field and laboratory analysis applied during an 18 month period of observation of flexible pavements test sections.

Data on behavior of test section in forthcoming period will be collected under the project of FHWA.

NATURAL ASPHALT APPLICATION HISTORY FROM PREHISTORY TO THE BEGINNING OF XX CENTURY

Prof. Dušan Svetel, Ph.D.,
Highway Institute, Inc., Belgrade

This report presents the usage of natural asphalt in prehistoric period, when 40,000 years ago, our ascendant used and refined natural asphalt, but for the purpose of weapon forging, not as a building material. The first application of natural asphalt as a building material was the construction of Babylon tower and asphalt road in Babylon, 3,500 and 2,000 BC. Beside the review of these objects, the paper also brings descriptions of the coast wall in Assur, constructed in the same time. In neo-Babylonian period, around 700 BC, the mentioned coast wall was reconstructed, floors were built into the temples of Nabopolasse and goddess Ishtar, and roads in Babylon and Assur were constructed. Beside the descriptions of these buildings, the first written documents on usage of natural asphalt and natural bitumen characteristics (around 70 AD) are also presented. In Middle Ages, natural asphalt was not used in civil engineering. In New Era, an asphalt lake on the island of Trinidad and several deposits of asphalt rocks were discovered and wide use of natural asphalt in road construction began.

izolirka

industrija izolacionog materiala

60 godina kvalitete

**Jednoslojni hidroizolacijski sistem premostitvenih objekata
sa bitumenskom hidroizolacijskom trakom IZOTEKT P5-M**

- Izraz premostitveni objekat uključuje:
- mostove,
- nadvožnjake,
- viadukte i
- parkirališta

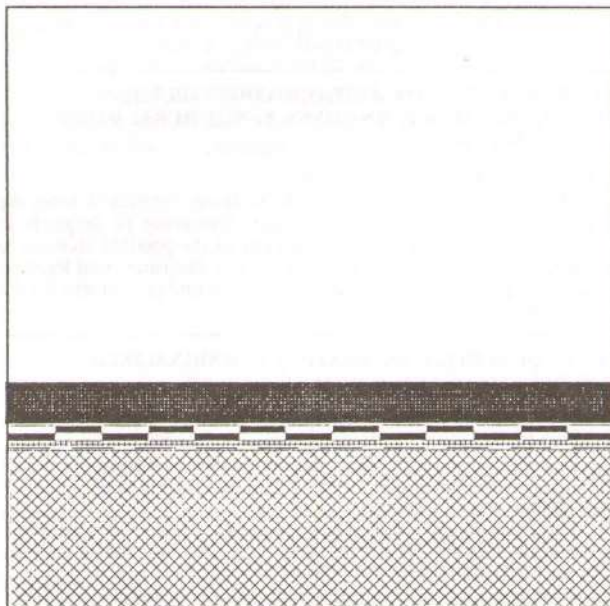
Sistem uključuje visokokvalitetnu traku IZOTEKT P5-M sa uloškom od poliestarskog filca. Dugogodišnje iskustvo i upotreba na mnogim objektima dovela je do razvoja jednoslojnog sistema premostitvenih objekata u sastavu:

- betonska konstrukcija, dobro očišćena i razmašćena
- **IBOTOL E5**
hladan bitumenski osnovni prednamaz (potrošnja 0.3–0.5 kg/m²)
- **IZOBIT B 65**
bitumenska masa za lepljenje, nanosi se na celu površinu (potrošnja 2.0–2.5 kg/m²)
- **IZOTEKT P5-M**
visokokvalitetna bitumenska traka sa uloškom od poliestarskog filca, slepljena sa bitumenskom masom na podlogu (potrošnja trake 1.105 m²/m², pakiranje 7.5 m²/rolnu). Debljina trake je na mestu preklopa (tj. 8 cm) zbog mogućnosti kvalitetne ugradnje stanjena cca. 5 mm na ~ 3 mm.

Kod razvoja sistema koristili smo važeće evropske norme. Sistem u celini kao i pojedinačni materiali u potpunosti odgovaraju propisima ZTV BEL-B1/87.

Za sve naše proizvode nudimo 10-godišnju garanciju.

Nudimo Vama tehničke informacije, savetujemo pravilnu upotrebu i ugradnju naših proizvoda kao i rešenja za detalje. Na sva postavljena pitanja i probleme spremni smo Vam sa zadovoljstvom odgovoriti putem telefona, faksa ili poštom.



- zaštitni sloj vozišta (asfalt, liveni asfalt, asfalt beton...)
- **IZOTEKT P5-M**
visokokvalitetna bitumenska traka sa armaturom od poliestarskog filca, slepljena sa bitumenskom masom na podlogu (potrošnja trake 1.105 m²/m², pakiranje 7.5 m²/rolnu). Debljina trake je na mestu preklopa (tj. 8 cm) zbog mogućnosti kvalitetne ugradnje stanjena sa cca. 5 mm na ~ 3 mm.
- **IZOBIT B 65**
bitumenska masa za lepljenje, nanosi se na celu površinu (potrošnja 2.0–2.5 kg/m²)
- **IBITOL E5**
hladan bitumenski osnovni prednamaz (potrošnja 0.3–0.5 kg/m²)
- betonska konstrukcija, dobro očišćena i razmašćena



ДЕОНИЧКО ДРУШТВО

ВОЈВОДИНАПУТ

21000 Нови Сад, Јована Ђорђевића бр. 2/3

Телефони: централа 021/56-988

Генерални директор 56-108, 56-677; Факс 021/56-195

Технички сектор 57-704; Финансијски сектор 56-989

Комерцијални сектор 56-677; Општи сектор 56-990.

"ВОЈВОДИНАПУТ", ДД предузеће за изградњу и одржавање путева, аутопутева и свих путних објеката, бави се следећим:

- изградња, реконструкција, одржавање путева и аутопутева, тунела, улица, скверова, путних и аутопутских мостова и других путних објеката;
- производња песка, шљунка и агрегата и њихов транспорт;
- дробљење материјала (укључујући и кречњак) у сопственом каменолому и производња ивичњака и других профила;
- пројектовања путева и путних објеката;
- геодетски радови;
- геомеханичка испитивања, претходна и контролна испитивања асфалта и бетона;



- производња и постављање хоризонталне и вертикалне сигнализације.

"ВОЈВОДИНАПУТ" ДД предузеће регистровано је за обављање радова у земљи и иностранству.

"ВОЈВОДИНАПУТ" има пословне односе са Војвођанском банком ДД, Нови Сад, Југобанком ДД Београд, Панонском банком ДД Нови Сад, Беобанком, Главном филијалом и Привредном банком Панчево.

ДД "ВОЈВОДИНАПУТ" сарађује са следећим кооперантима:

- ГДП "Мостоградња", Београд
- ГДП "Канал", Нови Сад
- ДП "Херој Пинки", Нови Сад

ДРУШТВА У САСТАВУ

Д.Д. "ВОЈВОДИНАПУТ":

Д.Д. "ВОЈВОДИНАПУТ-БАЧКАПУТ"
Нови Сад, Ј. Ђорђевића 2/1, тел.: 021/56-933

А.Д. "ВОЈВОДИНАПУТ"
Суботица, Ђ. Ђаковића 10, тел.: 024/25-759

Д.Д. "ВОЈВОДИНАПУТ-ЗРЕЊАНИН"
Зрењанин, Ж. Зрењанина 75, тел.: 023/36-249

Д.Д. ВОЈВОДИНАПУТ-ПАНЧЕВО"
Панчево, Ж. Зрењанина 12-15, тел.: 013/45-812

Д.Д. "ВОЈВОДИНАПУТ-СРЕМПУТ"
Рума, Трг ослобођења 12, тел.: 022/424-108

Д.П. "РУДНИЦИ НЕМЕТАЛА", РАКОВАЦ
Нови Сад, Ј. Ђорђевића 2/1, тел.: 021/57-428

Д.Д. "ЗАВОД ЗА ПУТЕВЕ, МОСТОВЕ И
САОБРАЋАЈ ВОЈВОДИНЕ"
Нови Сад, Ј. Ђорђевића 2, тел.: 021/57-625

Д.Д. "БОЈА"
Сомбор, Б. Кидрича 16, тел.: 025/36-172



СРБИЈА ПУТ

СЛОЖЕНО ПРЕДУЗЕЋЕ ЗА ЗАШТИТУ, ОДРЖАВАЊЕ, РЕКОНСТРУКЦИЈУ И ИЗГРАДЊУ ПУТЕВА И ПУТНИХ ОБЈЕКТА, СА НЕОГРАНИЧЕНОМ СОЛИДАРНОМ ОДГОВОРНОШЋУ

11000 БЕОГРАД

Булевар револуције 282

Телефони: централа

011/417-955

директор

411-735

техн. директор

413-694

факс

413-936

Телефакс 12093

Телефакс 011/413-936

Поштански преградак 64



Основна делатност СП "Србијапут", Београд је:

- одржавање, реконструкција, грађење путева и објеката везаних за пут;
- производња грађевинског материјала и опреме пута и путне сигнализације за путеве и објекте на њима;
- комерцијални послови на обезбеђењу репроматеријала за обављање основних делатности предузећа.

СП "Србијапут", Београд располаже савременом механизацијом и опремом за грађење путева и објеката и запошљава велики број стручних радника и инжењерско-техничког кадра.

Са својим стручним, инжењерско-техничким кадром и механизацијом са којом је опремљен, може самостално да изводи радове на грађењу: ауто-путева, магистралних и регионалних путева, свих објеката за потребе пута (мостови, тунели и др.), да изврши опремање путева сигнализацијом и опремом потребном за пут.

УДРУЖЕНА ПРЕДУЗЕЋА ЗА ПУТЕВЕ

Предузеће за путеве "Београд"

11000 Београд, Видска 24

Телефон: централа 011/4440-722

Директор 4442-769

Техн. директор 4447-829

Факс 455-793

ЈКП "Београдпут" Београд

11000 Београд, Доситејева 21

Телефон: централа 011/763-966

Директор 625-361

Комерцијала 752-440

Факс 763-277

Предузеће за путеве

"Београд-одржавање"

11050 Мали Мокри Луг,

29. новембра 1

Телефон: централа 011/4440-722

Директор 4441-757

Техн. директор 438-226

Факс 4441-757

Предузеће за путеве "Пожаревац"

12000 Пожаревац,

Трг Ратка Вујовића бр. 1

Телефон: централа 012/222-170

Директор 222-170

Факс 222-257

Предузеће за путеве "Ваљево"

14000 Ваљево, М. Глишића 94

Телефон: централа 014/21-486

Директор 21-485

Факс 22-325

Предузеће за путеве "Крушевац"

37000 Крушевац

Телефон: централа 037/24-999

Директор 24-999

Факс 23-896

Предузеће за путеве "Врање"

18500 Врање,

Боре Станковића 21

Телефон: централа 017/22-567

Директор 23-427

Техн. директор 22-765

Факс 21-752

Предузеће за путеве "Нови Пазар"

36300 Нови Пазар, Шабана Коче 19

Телефон: централа 020/24-911

Директор 25-692

Комерцијала 23-721

Факс 23-794

Предузеће за путеве "Путеви"

Пожара

31210 Пожега

Телефон: централа 031/814-098

Директор 814-098

Факс 814-098

Предузеће за путеве "Путеви" Ужице

31000 Ужице, Хероја Дејовића 38

Телефон: централа 031/23-822

Директор 24-090

Комерцијала 25-971

Факс 48-096

"Магистрала" Приштина

38000 Приштина

Телефон: централа 038/23-437

Директор 23-437

Факс 22-481

Предузеће за путеве "Крагујевац"

34000 Крагујевац, Илићево бб

Телефон: централа 034/69-520

Директор 60-515

Комерцијала 67-283

Факс 69-524

Предузеће за путеве "Ниш"

18000 Ниш, Владимира Назора 13

Телефон: централа 018/46-699

Директор 47-160

Набав служба 46-699

Факс 44-245

Предузеће за путеве "Зајечар"

19000 Зајечар, Бориса Кидрича 68

Телефон: централа 019/22-548

Директор 21-251

Наб. служба 25-264

Факс 21-130

Предузеће за путеве "Путеви" Чачак

32000 Чачак

Телефон: централа 032/24-580

Директор 24-580

Факс 24-582

Предузеће за путеве "Путеви"

Ивањица

32250 Ивањица

Телефон: централа 032/831-820

Директор 831-820

Факс 831-820

Предузеће за путеве "Путеви"

Ужице РЈ Пријеполје

Телефон: централа 033/22-335

Факс 22-335

"Косметпут" Приштина

38000 Приштина

Телефон: централа 038/40-018

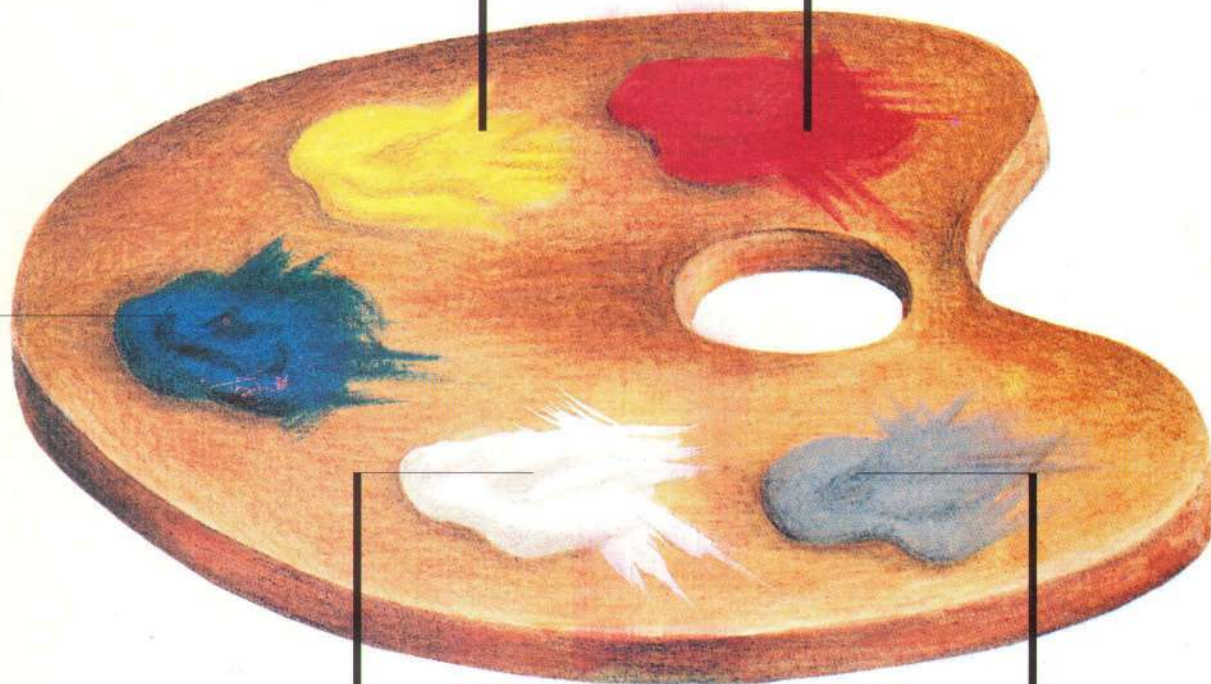
Директор 40-011

Факс 40-416

Duga

Premazna sredstva
za industriju saobraćajnih
sredstava, mašingradnju
i metaloprerađivačku
delatnost

Sintetski polimeri
za industrijsku preradu



Dekorativna
premazna
sredstva

Premazna sredstva
za proizvodnju finalnih
proizvoda od drveta
i rezanu grada

Premazna sredstva
različitih namena

**MI NE PRODAJEMO PROIZVODE
MI NUDIMO SISTEME ZAŠTITE**



Jugoslavija, 11000 Beograd, Viline vode 6, tel: 381 11-753255. fax: 381 11-766147, 764064, telex: YU 11128